4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

6 - 8 Οκτωβρίου 2005

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΛΗΨΕΩΝ

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ε.Γ.Μ.Ε.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας (Ε.Γ.Μ.Ε.) διανύει τον 13^{ο} χρόνο ύπαρξής της. Ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1993 με έδρα την Αθήνα και είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωργικών Μηχανικών (EurAgEng). Η επωνυμία της αποδίδεται στην αγγλική ως "Hellenic Society of Agricultural Engineers" (HelAgEng). Τα τακτικά μέλη της υπερβαίνουν τα 100.

Το παρόν τεύχος των πρακτικών περιέχει 87 επιστημονικές ανακοινώσεις που παρουσιάστηκαν στο 4^{ο} Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, το οποίο έλαβε χώρα στην Αθήνα στις 6 και 7 Οκτωβρίου 2005. Για την κρίση των εργασιών αυτών τόσο για ανακοίνωση όσο και για δημοσίευση στα Πρακτικά, εργάστηκαν μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής καθώς και άλλοι ειδικοί επιστήμονες. Το συνέδριο οργανώθηκε υπό την αιγίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Το Συνέδριο δίνει την ευκαιρία στο Επιστημονικό δυναμικό της χώρας μας να παρουσιάσει την Επιστημονική πρόοδο και τις νέες μεθόδους προσέγγισης που αφορούν τη διαχείριση των εδαφικών και υδάτινων πόρων, τα γεωργικά μηχανήματα, τις αγροτικές κατασκευές, τη συντήρηση και επεξεργασία των γεωργικών προϊόντων, την ενέργεια και ειδικά τις ανανεώσιμες πηγές της, νέες τεχνολογίες και ως επιστέγασμα όλων το περιβάλλον. Απευθύνεται σε πτυχιούχους θετικών επιστημών, οι οποίοι είτε λόγω μεταπτυχιακής εκπαίδευσης, είτε λόγω μακράς ενασχόλησης απέκτησαν γνώσεις και εμπειρία σε ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω γνωστικά αντικείμενα.

Η συζήτηση και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από το Συνέδριο πιστεύουμε ότι θα εδραιώσουν το ρόλο του Γεωργικού Μηχανικού στη χώρα μας. Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες προς τα μέλη της Οργανωτικής και της Επιστημονικής Επιτροπής του συνεδρίου, τους συγγραφείς και τους κριτές των εργασιών που αφιέρωσαν πολύτιμο χρόνο για την επιστημονικά αρτιότερη εμφάνιση του συνεδρίου.

Προς την Πρυτανεία του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών καθώς και τους άλλους χορηγούς και εκθέτες απευθύνονται ειλικρινείς ευχαριστίες για την οικονομική ενίσχυση που προσέφεραν ώστε να πραγματοποιηθεί με επιτυχία το παρόν συνέδριο.

Αθήνα, Οκτώβριος 2005

Καθηγητής Γρηγ. Π. Λαμπρινός

Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή

Γρ. Λαμπρινός Πρόεδρος Ε.Γ.Μ.Ε.
Γ. Παπαδάκης Γεν. Γραμματέας Ε.Γ.Μ.Ε.
Λ. Γερονικολού Ταμίας Ε.Γ.Μ.Ε.
Γ. Κυριακαράκος Μέλος Ε.Γ.Μ.Ε.
Γ. Παπαγεωργίου Μέλος Ε.Γ.Μ.Ε.
Γ. Ξανθόπουλος Μέλος Ε.Γ.Μ.Ε.

Επιστημονική Επιτροπή

Αγγελίδης Σ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής 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.
Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.
Γεωργακάκης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κερκίδης Π., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.
Κόλλια Β., Καθηγήτρια Γ.Π.Α.
Κοσμάς Κ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κυρίτσης Σ., Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Λιακατάς Α. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μαυρογιαννόπουλος Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Παναγάκης Π. Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαδάκης Γ. Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παρισόπουλος Γ., Δ/ντης Ι.ΓΕ.Μ.Κ., ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
Συγριμής Ν., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Τζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Φραγκουδάκης Α. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Χαϊντούτη Κ., Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Ευχαριστίες

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος εκφράζει τις θερμές της ευχαριστίες της στους πενήντα περίπου συναδέλφους που ανέλαβαν το δύσκολο και όχι τόσο ευχάριστο έργο της κρίσης και διόρθωσης των Επιστημονικών Εργασιών του Συνεδρίου, μέσα στο κατακαλόκαιρο θυσιάζοντας πολύτιμο χρόνο και από τις διακοπές τους.

Γρ. Λαμπρινός
Πρόεδρος ΕΓΜΕ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΣΗΓΗΤΩΝ

Blackmore S.	Ζαβάκος Γ.	Μπαρτζάνας Θ.
Griepentrog H.	Ζαλίδης Γ.	Μπελεσιώτης Β.
Kurstjens D.	Ζήσης Θ.	Μπουροδήμος Γ.
Mohamed E.	Ζουμπανιώτης Α.	Μπόχτης Δ.
Mueller J.	Θεοχάρης Μ.	Μπριασούλης Δ.
Pedersen S.	Ιωσηφίδης Α.	Μυγδάκος Ε.
Vahdati M.	Καβαλάρης Χ.	Νάνος Γ.
Wembe-Foba-Kue F.F.	Καλαβρουζιώτης Ι.	Νάτσης Α.
Αγγελίνας Π.	Καλαμπίδης Δ.	Νικήτα- Μαρτζοπούλου Χ.
Αγγελοπούλου Α.	Καλλιτσάρη Χ.	Νικολαΐδης Χ.
Ακριτίδης Κ.	Καλύβας Δ.	Ντιούδης Π.
Αλεξάνδρου Α.	Καλφούντζος Δ.	Ξανθόπουλος Γ.
Αλεξίου Ι.	Καραγιάννης Ε.	Ξένος – Κοκολέτσης Π.
Αμπατζίδης Γ.	Καραγιάννης Κ.	Οικονόμου Ν.
Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε.	Καραμούτης Χ.	Σούλης Κ.
Αναστασίου Α.	Καραντούνιας Γ.	Πανώρας Α.
Αντωνόπουλος Β.	Καραρίζος Π.	Παπαγιαννοπούλου Α.
Αραβαντινός Ε.	Κάργας Γ.	Παπαδάκης Γ.
Αρβανίτης Κ.	Κατέρης Δ.	Παπαθανασίου Ι.
Αργυροκαστρίτης Ι.	Κατσούλας Ν.	Παπαϊωάννου Χ.
Αργυροπούλου Κ.	Καυγά Α.	Παπαμιχαήλ Δ.
Αρχοντούλης Σ.	Κερκίδης Π.	Παρισόπουλος Γ.
Ασημακόπουλος Α.	Κίττας Κ.	Παστρωμάς Γ.
Βαβουλίδου Ε.	Κλάδης Γ.	Πατεράκη Π.
Βαλιάντζας Ι.	Κόκκορα Μ.	Ράππος Ε.
Βάλμης Σ.	Κόκκορας Ι.	Ράπτης Ι.
Βαρλάγκας Η.	Κόλλια Β.	Ρήγκου Μ.
Βασιλάρου Α.	Κουκλίδης Χ.	Ροζάκης Σ.
Βαφειάδης Δ.	Κούρτης Α.	Σάββας Δ.
Βελιώτης Ι.	Κουτσοφίτης Ζ.	Σακελλαρίου-
Βουγιούκας Σ.	Κουφάκη Α.	Μακραντωνάκη Μ.
Γέμτος Θ.	Κρικοριάν Α.	Σακκάς Χ.
Γερονικολού Λ.	Κυριακαράκος Γ.	Σαπουνάς Α.
Γεωργακάκης Δ.	Κυριακίδης Ν.	Σεραφείμ Γ.
Γεωργακόπουλος Γ.	Κυρίτσης Σ.	Σερσελούδης Χ.
Γεωργίου Π.	Κωτσόπουλος Θ.	Σιώμος Α.
Γεωργούσης Χ.	Κωτσόπουλος Σ.	Σουλιώτης Μ.
Γιαλαμάς Θ.	Λαμνάτου Χ.	Σταυρινός Ε.
Γιαννόπουλος Σ.	Λαμπρινός Γ.	Συγριμής Ν.
Γιαννοπούλου Ι.	Λάμπρου Δ.	Συκιώτης Ι.
Γιαννούλας Β.	Λόντρα Π.	Ταμβακίδης Σ.
Γκαγκάκη Α.	Λύχνος Γ.	Τερζίδης Γ.
Γκούμας Κ.	Μαθιουλάκης Ε.	Τζιμόπουλος Χ.
Γράβαλος Ι.	Μαλάμος Ν.	Τριαντακωνσταντής Δ.
Δαναλάτος Ν.	Μαλέτσικα Π.	Τρυπαναγνωστόπουλος Ι.
Δεδούσης Α.	Μανώλης Κ.	Τσάκαλος Α.
Δέρκας Ν.	Μανωλοπούλου Ε.	Τσατσαρέλης Κ.
Δημητριάδης Α.	Μαρίτσα Ι.	Τσιτσιπής Ι.
Δημοπούλου Κ.	Μαρτζόπουλος Γ.	Φασουλή Β.
Διαμαντοπούλου Μ.	Μητρόπουλος Δ.	Φιλίντας Α.
Δουλγέρης Χ.	Μισοπολινός Ν.	Φουντάς Σ.
Δραγοΐδου Κ.	Μπαλτάς Ε.	Χαλούλης Ι.
Δρόσος Β.	Μπαμπατζιμόπουλος Χ.	Χατζής Ε.
Ελμαλόγλου Σ.	Μπαμπίλης Δ.	Χατζησπύρογλου Ι.
	Μπαντή Μ.	Χριστοπούλου Ν.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΝΟΤΗΤΑ 1:
ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ
Θ. Μπαρτζάνας, Κ. Κίττας…… 1

ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL
Μ. Σουλιώτης, Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος, Α. Καυγά…… 10

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ
Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας……... 19

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΧΑΜΗΛΩΝ ΤΟΥΝΕΛ ΜΕ ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ ΦΥΛΛΑ ΚΑΛΥΨΗΣ
Δημήτρης Μπριασούλης…… 28

ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ
Νικόλαος Κατσούλας, Κωνσταντίνος Κίττας……... 38

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΥΡΒΗΣ.
Α. Σαπουνάς, Θ. Μπαρτζάνας, Χ. Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Κ. Κίττας…….. 48

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΟΛΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ
Ν. Οικονόμου, Γρ. Λαμπρινός……..... 57

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΡΠΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ
Π. Μαλέτσικα, Χ. Παπαϊωάννου, Α. Σιώμος, Κ. Κίττας…….. 65

ΕΝΟΤΗΤΑ 2:
ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ
Ι. Γράβαλος, Ι. Ράπτης, Δ. Κατέρης, Ι. Βελιώτης, Γ. Σεραφείμ...…… 71
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ
Θ.Α. Γιαλαμάς, Ι.Γ. Γράβαλος, Α.Θ. Φιλίντας, Ζ.Ι.Κουτσοφίτης…… 80
ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟ-ΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
Σ. Φουντάς, S. Pedersen, S. Blackmore, Θ. Γέμτος…….. 89
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ Ν. ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Γ. Παστρωμάς , Ι. Καλαβρουζιώτης, Α.Νάτσης…… 98
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΘΩΡΙΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
Χ. Καβαλάρης, Ε. Μυγδάκος, Θ.Α. Γέμτος…….. 107
ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΕΔΑΦΟΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Θ.Α. Γέμτος……..... 116
ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΝΤΕ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ
Α. Αγγελοπούλου, Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Ε. Βαβουλίδου, Θ. Γέμτος……..... 125
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΑΠΛΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΘΡΑΥΣΤΩΝ
Γεώργιος Α. Καραντούνιας, Γεώργιος Δ. Κυριακαράκος……..... 134
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΤΗΣ ΣΠΟΡΟΚΛΙΝΗΣ
Χ. Καβαλάρης, Α. Αλεξάνδρου, Θ.Α. Γέμτος……... 142
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ
Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Δ. Παπαμιχαήλ, Θ.Α. Γέμτος…… 151
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΣΤΟ ΔΕΙΚΤΗ Β ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
Κρικοριάν Α., Νάτσης Α, Αργυροκαστρίτης Ι ,Βάλμης Σ…… 159
ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
Α.Π. Δεδούσης, D. Kurstjens, J. Mueller…….. 167
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΛΩΡΙΔΕΣ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ
Θ.Α. Γέμτος, Χρ Καβαλάρης, Χρ. Καραμούτης…….. 176
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΦΘΑΡΜΕΝΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Ι. Ράπτης, Δ. Κατέρης…….…….. 185

ΕΝΟΤΗΤΑ 3:
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΩΝ
Ταμβακίδης Στέλιος, Κουκλίδης Χαράλαμπος, Μαρτζόπουλος Γεράσιμος…….... 194
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ CO_2
Βαφειάδης Δ., Κωτσόπουλος Θ., Νικήτα- Μαρτζοπούλου Χ…….. 203
ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΩΝ
Χρυσοβαλάντου Λαμνάτου, Γεώργιος Παπαδάκης, Στυλιανός Ροζάκης…… 211
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΤΟΥ H_2 ΩΣ ΜΕΣΟ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Γ. Κυριακαράκος, Γ. Παπαδάκης…….. 220
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ
Essam Sh. Mohamed, Γ. Παπαδάκης, Ε. Μαθιουλάκης, Β. Μπελεσιώτης…….. 231
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΛΥΜΑΤΑ ΑΓΕΛΑΔΩΝ
Κωτσόπουλος Θ., Βαφειάδης Δ., Μαρτζόπουλος Γ……. 240
ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΥΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ-ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ
Γ. Κυριακαράκος, Γ. Παπαδάκης…….. 248
ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ
Λουκία Γερονικολού, Σπύρος Κυρίτσης…… 258
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΑΔΙΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
Λ. Γερονικολού, Ν. Δαναλάτος, Σ. Αρχοντούλης, Γ. Παπαδάκης…… 268
ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ
Γ. Λύχνος, Γ. Λαμπρινός, Μ. Μ. Vahdati……..... 279
Ο ΝΟΜΟΣ 3175/2003 ΩΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Α. Στοϊμενίδης, Γ. Μαρτζόπουλος…… 289

ΕΝΟΤΗΤΑ 4:
ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ- ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ - ΑΣΦΑΛΕΙΑ

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ-ΝΕΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ
Α. Παπαγιαννοπούλου, Χ. Σακκάς, Γ. Κλάδης, Γ. Παρισόπουλος…….. 296
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ 6 ΤΟΥ OECD ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΑΣΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ
Α. Ζουμπανιώτης, Α. Νάτσης, Γ.Παπαδάκης, Χ. Σερσελούδης…….. 305
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ
Θ.Α. Γιαλαμάς, Ι.Λ.Χαλούλης, Ζ.Ι. Κουτσοφίτης, Α.Θ. Φιλίντας, Κ.Α. Τσατσαρέλης, Α.Η. Τσάκαλος, Κ.Η. Μανώλης…….. 318
ΨΕΚΑΣΤΙΚΑ: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ 327
Νικολαΐδης Χ.Π, Θ.Α.Γέμτος, Ι.Α. Τσιτσιπής……..
ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ – ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ & ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ
Χ. Σακκάς, Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος……. 336
ΤΟ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ
Γ. Γεωργακόπουλος…….. 346
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙΝΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Γ. Μπουροδήμος, Α. Παπαγιαννοπούλου, Π. Αγγελίνας, Χ. Σακκάς, Γ. Παρισόπουλος…… 350

ΕΝΟΤΗΤΑ 5:
ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ ΤΗΣ ΔΑΔΙΑΣ ΕΒΡΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Π.Σ.
Δ. Π. Τριαντακωνσταντής, Β. Ι. Κόλλια, Δ. Π. Καλύβας…… 359
ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΩΝ ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Κ. Αργυροπούλου, Νικολ. Χριστοπούλου,F.F. Wembe-Foba-Kue, Δ. Γεωργακάκης……..... 369
Η ΕΚΠΛΥΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ Π. ΣΤΡΥΜΩΝΑ- ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ
Ε. Σταυρινός…….. 380
Ο ΤΑΡΑΤΣΟΚΗΠΟΣ ΩΣ ΜΕΣΟΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
Δ. Ι. Μπαμπίλης, Π. Λόντρα……. 388
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ G.P.S. ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ
Καραγιάννης Ευάγγελος, Καραρίζος Πλούταρχος, Δρόσος Βασίλειος, Γιαννούλας Βασίλειος……. 394
ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ
Ε. Ράππος, Α. Αγγελοπούλου, Ι. Παπαθανασίου, Θ.Α Γέμτος, Γ. Νάνος…… 403
ΑΚΡΙΒΗΣ ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΟΥ KALMAN
Αμπατζίδης Γ., Βουγιούκας Σ., Blackmore B.S…… 412
ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ
Καραρίζος Πλούταρχος Καραγιάννης Ευάγγελος, Δρόσος Βασίλειος, Γιαννούλας Βασίλειος…….. 421
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ - ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΔΡΟΜΩΝ
Βασίλειος Κ. Δρόσος, Βασίλειος Ι. Γιαννούλας, Ευάγγελος Α. Καραγιάννης, Πλούταρχος Β. Καραρίζος…… 429
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
Βουγιούκας, Σ., Blackmore, Σ., Griepentrog, Η., Φουντάς, Σ…….. 438
ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ
Ευάγγελος Μπαλτάς…….. 447
HORTIMED-DSS ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
Α. Αναστασίου, Δ. Σάββας, Κ.Αρβανίτης, Ν. Συγριμής…….. 457
ΠΟΛΥΠΡΑΚΤΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Δ. Λάμπρου, Α. Αναστασίου, Η. Βαρλάγκας, Κ. Αρβανίτης, Ν. Συγριμής…… 467
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟ Γ.Π.Σ.
Δ. Π. Τριαντακωνσταντής, Β. Ι. Κόλλια, Δ. Π. Καλύβας…… 476

ΕΝΟΤΗΤΑ 6:
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΙΣΟΔΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ
Δ. Μπόχτης, Σ. Βουγιούκας, Κ. Ακριτίδης…….... 489
ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΚΛΥΟΜΕΝΟ CO_2, ΜΗΛΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ
Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός……. 499
ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΟΥ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΑΚΧΑΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA.
Δ. Μητρόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου, Γρ. Λαμπρινός……. 508
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΟΜΜΕΝΟΥ ΕΤΟΙΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ
Ι. Μαρίτσα, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Λαμπρινός…… 516
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA ΚΑΙ GRANNY SMITH ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥΣ.
Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός, Ε. Αραβαντινός…… 526
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΥΚΩΝ ΣΕ ΜΟΝΗ ΣΤΡΩΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
Γ. Ξανθόπουλος, Ν. Οικονόμου, Ε. Μανωλοπούλου, Γρ. Λαμπρινός……. 535
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΜΩΛΩΠΙΣΜΟ ΤΡΙΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ 545
Χ. Παπαϊωάννου, Μ. Κόκκορα, Π. Ντιούδης, Ι. Κόκκορας…….
ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΛΩΡΙΟΥΧΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΕ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΨΥΞΗ ΠΙΠΕΡΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ
Α. Κουφάκη, Ε. Μανωλοπούλου…….. 552
Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΑΝΤΑΡΙΝΙΟΥ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ "ENCORE"
Γ. Λύχνος, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Ι. Συκιώτης……. 561
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ

ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΥΚΩΝ
Ν. Οικονόμου, Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός…… 571
ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ
Ε. Χατζής, Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός, Α. Κούρτης…… 580
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΥ ΑΤΜΟΥ
Αυγερινός Ν. Δημητριάδης…… 588
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΛΕΜΟΝΙΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ “ΜΑΓΛΗΝΟ”
Α.-Μ. Βασιλάρου, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Λαμπρινός…….... 598
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΟΛΥΔΥΝΑΜΟΥ ΨΥΓΕΙΟΥ
Ε. Χατζής, Π. Ξένος – Κοκολέτσης, Γρ. Λαμπρινός…… 606
ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΡΕΠΤΟΥ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ
Μ. Ρήγκου, Δ. Μητρόπουλος, Π. Πατεράκη, Γ. Λαμπρινός…… 614

ΕΝΟΤΗΤΑ 7η
ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΟΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΚΛΙΝΗ ΕΔΑΦΗ
Ι.Δ.Βαλιάντζας, Α.Ασημακόπουλος, Ν.Δέρκας, Κ.Σούλης……. 624
ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
Μ. Θεοχάρης, Χ. Τζιμόπουλος, Σ. Γιαννόπουλος, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη…… 640
ΑΡΔΕΥΣΗ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΤΑΓΟΝΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΝΕΡΟΥ
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Κ. Δημοπούλου ……. 650
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ.
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Κ. Δημοπούλου ……. 658
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΤΟΜΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ ΕΔΑΦΩΝ
Κάργας Γ., Αργυροκαστρίτης Ι., Π. Κερκίδης…….. 667
ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΛΙΒΑΔΙΟΥ Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
Δ. Καλφούντζος, Γ. Ζαβάκος, Ι. Καλαβρουζιώτης, Ι. Αλεξίου, Σ. Κωτσόπουλος , Κ. Γκούμας, Κ Δραγοΐδου……. 677
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΥΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΗΓΗ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ, ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΠΝΟΗ
Νικόλαος Μαλάμος, Σταμάτης Ελμαλόγλου……. 687
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΛΛΟΓΙΚΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ-ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ ΗΛΕΙΑΣ
Αικ. Γκαγκάκη, Ν.Δέρκας, Γ.Καραντούνιας……. 700
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
Χ. Καλλιτσάρη, Χ. Γεωργούσης, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος,Α.Πανώρας, Δ.Καλαμπίδης……. 711
ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΕΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΛΩΡΙΔΕΣ
Ιωάννης Ι. Χατζησπύρογλου, Ευαγγελία Αναστασιάδου-Παρθενίου……... 721
ΡΗΤΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΥΖΥΓΩΝ ΒΑΘΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΛΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ
Γεώργιος Α. Τερζίδης, Μαρία Δ. Μπαντή…… 731
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΟΛΒΗΣ
Ι. Γιαννοπούλου, Δ. Παπαμιχαήλ, Β. Αντωνόπουλος……... 740
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ Β. ΕΛΛΑΔΑΣ

Μαρία Ι. Διαμαντοπούλου, Βασίλειος Ζ. Αντωνόπουλος…… 750
ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΥ ΚΑΘΕΣΤΩΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
Κυριακίδης Ι.Ν., Γ. Ζαλίδης, Β. Ζ. Αντωνόπουλος, Ν. Μισοπολινός…….. 760
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΙΑΙΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ ΜΙΑΣ ΡΑΓΔΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Δ. Ν. Καραμούζης…….. 773
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΠΙΣΥΜΒΑΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΑΛΥΣΙΔΩΝ MARKOV
Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Μ. Παπαμιχαήλ…….. 782
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΚΡΟΗΣ ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ
Χ. Δουλγέρης, Θ. Ζήσης…… 792
ΕΝΔΟΔΑΣΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΣΕ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΑ ΕΔΑΦΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ
Καραγιάννης Κωνσταντίνος…….. 801
ΤΟ ΥΣΤΕΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PARLANGE . ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ
Κάργας Γ., Φασουλή Β., Κερκίδης Π., Ι. Αργυροκαστρίτης……. 810

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ

Θ.Μπαρτζάνας και Κ.Κίττας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος.
Οδός Φυτόκου Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38334 Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνάται αριθμητικά η επίδραση του τύπου των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στις ροές ενέργειας και μάζας στο εσωτερικό θερμοκηπίου που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία αφύγρανσης του. Εξετάζονται δύο τύποι ανοιγμάτων φυσικού αερισμού (α) κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού και (β) παράθυρα αερισμού ανοιγόμενα υπό γωνία προς την κατακόρυφο. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι ο (α) τύπος ανοιγμάτων ήταν ενεργειακά αποτελεσματικότερος από το τύπο (β). Ανάλογα με τον τύπο των ανοιγμάτων αερισμού η θερμοκρασία και υγρασία του αέρα μειωνόταν σε διαφορετικά σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

EFFECT OF VENT TYPE ON GREENHOUSE MICROCLIMATE DURING DEHUMIDIFICATION

T. Bartzanas and C. Kittas
University of Thessaly, School of Agriculture Production and Agricultural Environment, Laboratory of Agriculture Constructions and Environmental Control, Fytokou St., N. Ionia Magnisias, 38334 Volos

ABSTRACT

The efficiency of two different types of ventilation openings on greenhouse microclimate during dehumidification was numerically analysed using a CFD code. With the first ventilation configuration (roll-up type) temperature and humidity decreased initially near the greenhouse floor and afterwards in the rest greenhouse volume during dehumidification process, whereas the exactly opposite pattern was observed with the second configuration (pivoting door type), where air temperature and humidity initially decreased in the region near the greenhouse roof during dehumidification process. Energetically the first configuration was proven to be better since the ratio of latent to sensible heat exchanges during dehumidification process was higher than the first configuration.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο φυσικός αερισμός είναι το μοναδικό σύστημα κλιματισμού των περισσοτέρων θερμοκηπίων της Μεσογειακής λεκάνης [1]. Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου το σύστημα του φυσικού αερισμού χρησιμοποιείται για τη μείωση των υψηλών θερμοκρασιών ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το σύστημα θέρμανσης για την αφύγρανση του θερμοκηπίου. Λόγω της μεγάλης του σημασίας ο φυσικός αερισμός αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης αρκετών ερευνητών [2, 3, 4] οι οποίες όμως εστιάστηκαν στον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και στη μείωση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου. Απευθείας μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα στα ανοίγματα αερισμού [5] καθώς και στο εσωτερικό του θερμοκηπίου [6] πραγματοποιήθηκαν επίσης για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν το φυσικό αερισμό. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας χρησιμοποιήθηκαν και προσομοιώματα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) για την ανάλυση των ροών ενέργειας και μάζας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων [7, 8].

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 [9] 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 [10], ενώ επηρεάζει σημαντικά και την ποιότητα και εμπορική αξία των προϊόντων μετά τη συγκομιδή [11].

Για την μείωση των υψηλών επιπέδων υγρασίας στα θερμοκήπια έχουν δοκιμαστεί διάφορα συστήματα, όπως: χρησιμοποίηση υγροσκοπικών υλικών [12], χρησιμοποίηση αντλιών θερμότητας [13] και εξαναγκασμένη εναλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου με τη χρήση συνήθως ενός εναλλάκτη θερμότητας [14]. Η χρήση των συστημάτων αυτών δε διαδόθηκε για οικονομικούς, κυρίως, λόγους με αποτέλεσμα η συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού να παραμένει η κυριότερη μέθοδος αφύγρανσης των θερμοκηπίων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του τύπου των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης με τη χρήση ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD). Εξετάστηκαν δύο ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι ανοιγμάτων αερισμού (α) κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού και (β) παράθυρα αερισμού ανοιγόμενα υπό γωνία προς την κατακόρυφο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Μαθηματικό προσομοίωμα

Η αριθμητική μέθοδος επιτρέπει τον υπολογισμό του πεδίου ταχύτητας μιας ροής λύνοντας αλγεβρικά τις αντίστοιχες εξισώσεις μεταφοράς. Η εξίσωση που περιγράφει τα φαινόμενα μεταφοράς στις τρεις διαστάσεις έχει την εξής μορφή:

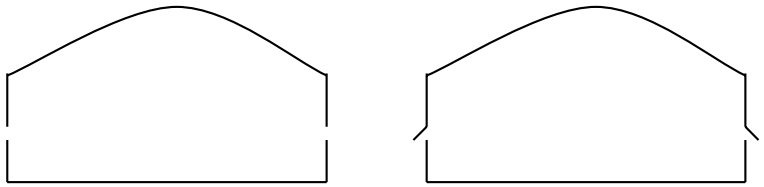
$$\frac{\partial(U\Phi)}{\partial x}+\frac{\partial(V\Phi)}{\partial y}+\frac{\partial(W\Phi)}{\partial z}=\Gamma\nabla^2\Phi+S_\Phi \qquad (1)$$

όπου U , V , W είναι οι μέσες χρονικές ταχύτητες, Φ η εξαρτημένη μεταβλητή η οποία απεικονίζει τα διάφορα μέσα μεγέθη, όπως τρεις συνιστώσες ταχύτητας, ενθαλπία, κινητική ενέργεια της τύρβης κ.τ.λ., Γ είναι ο συντελεστής μεταφοράς και S_Φ ο πηγαίος όρος. Η διακριτοποίηση των εξισώσεων έγινε με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων [15] ενώ η επίδραση εξωτερικών παραγόντων στη ροή, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία, και η θερμοκρασία, ενσωματώνονται στις αντίστοιχες οριακές συνθήκες. Η τυρβώδης δυναμική περιγράφεται με το standard k – ε προσομοίωμα τύρβης [16]. Η καλλιέργεια προσομοιώθηκε ως πορώδες υλικό σύμφωνα με την εξίσωση των Darcy – Forcheimer [17], ενώ για την υγρασία χρησιμοποιήθηκε το species-model. Αναλυτική περιγραφή του αριθμητικού προσομοιώματος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία δίνεται από τους Bartzanas et al. [8]

2.2 Επιβεβαίωση του αριθμητικού προσομοιώματος και εξεταζόμενοι τύποι ανοιγμάτων αερισμού

Η πειραματική επιβεβαίωση του αριθμητικού προσομοιώματος έγινε σ' ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με συνεχή πλαϊνά κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού. Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου υπήρχε καλλιέργεια τομάτας το ύψος της οποίας κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν 1.5 m. Αναλυτική περιγραφή του τύπου του θερμοκηπίων, των μετρήσεων και της πειραματικής επιβεβαίωσης του αριθμητικού προσομοιώματος δίνονται από τους Bartzanas et al. [8].

Εκτός των ανοιγμάτων αερισμού που εξετάστηκαν στην πειραματική επιβεβαίωση του αριθμητικού προσομοιώματος (συνεχόμενα κατακόρυφα πλαϊνά ανοίγματα τύπος (α)) εξετάστηκε και η περίπτωση συνεχόμενων πλαϊνών ανοιγμάτων που ανοίγουν σχηματίζοντας γωνία με τις πλευρές του θερμοκηπίου (τύπος (β)). Και στις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις διατηρήθηκε η ίδια επιφάνεια ανοιγμάτων αερισμού έτσι ώστε τα αποτελέσματα των δύο διαφορετικών συνδυασμών να είναι συγκρίσιμα. Καθώς αυτό που ενδιέφερε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ήταν η αποτελεσματικότητα των ανοιγμάτων αερισμού κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης των θερμοκηπίων επιλέχθηκε μια σχετικά μικρή επιφάνεια αερισμού ίση με το 25% της συνολικής επιφάνειας των ανοιγμάτων αερισμού αφού το άνοιγμα των παραθύρων αερισμού για σκοπούς αφύγρανσης γίνεται με τη μικρότερη δυνατή επιφάνεια για τον περιορισμό των απωλειών θερμότητας. Σχηματικά και οι δύο τύποι ανοιγμάτων αερισμού παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση των δύο τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού που μελετήθηκαν

Οι οριακές συνθήκες (Πίνακας 1) προέρχονται από πειραματικές τιμές οι οποίες ελήφθησαν σε πειραματικό θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου Θεσσαλία, ο τύπος του οποίου αντιστοιχεί στην πρώτη εξεταζόμενη περίπτωση. Καθώς διεύθυνση του εξωτερικού ανέμου επιλέχθηκε κάθετη στα ανοίγματα αερισμού χρησιμοποιήθηκε

δισδιάστατο μοντέλο. Οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν σε δύο στάδια: α) αρχικά εξαγόταν μια λύση του προβλήματος σε σταθερές συνθήκες (steady – state) και β) θεωρώντας ότι η σχετική υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν 95% και η θερμοκρασία του αέρα 20 °C, η λύση μετατρεπόταν σε χρονικά μεταβαλλόμενη (unsteady), οριζόταν ένα χρονικό βήμα (time-step) και καταγραφόταν χρονικά η μεταβολή της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Καθώς ο εξωτερικός αέρας ήταν πιο ξηρός και πιο ψυχρός (Πίνακας 1) του εσωτερικού ανάλογα με την αποτελεσματικότητα των ανοιγμάτων αερισμού μεταβαλλόταν η υγρασία και θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του.

Πίνακας 1. Οριακές συνθήκες.

Παράμετροι	Τιμή
Διεύθυνση του εξωτερικού αέρα	*Κάθετη με τον άξονα του θερμοκηπίου*
Θερμοκρασία	
του καλύμματος της οροφής, °C	12.00
του εσωτερικού εδάφους, °C	22.00
του εξωτερικού εδάφους, °C	15.00
του εξωτερικού αέρα, °C	12.00
Εξωτερικός αέρας	
ταχύτητα (σε ύψος 10m), m s^{-1}	2.50
σχετική υγρασία, %	50.00
πυκνότητα, kg m^{-3}	1.22
επιτάχυνση της βαρύτητας, m^2 s^{-2}	9.81
ειδική θερμότητα, J kg^{-1} °C	1004.00
θερμική αγωγιμότητα, W m^{-2} $°C^{-1}$	0.0263
Καλλιέργεια	
διαπερατότητα	0.395
συντελεστής απώλειας ορμής	0.20

Για την ενεργειακή αξιολόγηση των δύο διαφορετικών τύπων ανοιγμάτων αερισμού υπολογίστηκαν οι ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας που ανταλλάσσονταν μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης καθώς και ο λόγος της λανθάνουσας προς την αισθητή θερμότητα ο οποίος αποτελεί και δείκτη ενεργειακής αξιολόγησης ενός συστήματος αφύγρανσης [18]. Η αισθητή θερμότητα, Q_{sen} σε Wm^{-2}, που χάνεται κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού (T_i σε °C) και εξωτερικού αέρα (T_o σε °C) και το ρυθμό ανανέωσης του αέρα (G σε m^3 s^{-1} m^{-2}) και υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Q_{sen} = \rho\, C_p\, G\, (T_i - T_o) \qquad (2)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg m^{-3} και C_p είναι η ειδική θερμότητα του αέρα σε J kg^{-1} K^{-1}.

Η λανθάνουσα θερμότητα Q_{lat} σε Wm^{-2} είναι ανάλογη της διαφοράς περιεκτικότητας των υδρατμών σε υγρασία μεταξύ εσωτερικού (x_i σε kg m^{-3}) και εξωτερικού αέρα (x_o σε

kg m^{-3}) και του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Q_{lat} = \lambda G (x_i - x_o) \quad (3)$$

όπου λ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού σε J kg^{-1}.

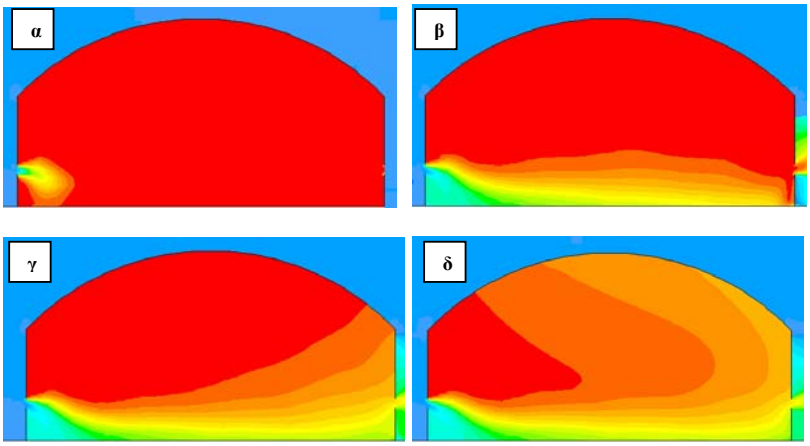
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού

Στην περίπτωση αυτή το κύριο ρεύμα του αέρα εισερχόμενο από το προσήνεμο άνοιγμα αερισμού διασχίζει το χώρο του θερμοκηπίου και εξέρχεται από το απέναντι, με μια μικρή ανακυκλοφορία του αέρα στην οροφή του θερμοκηπίου [8]. Το μέτρο της ταχύτητας του αέρα είναι ιδιαίτερα μεγάλο στην περιοχή όπου βρίσκεται η καλλιέργεια (0.2 – 0.5 ms^{-1}), ενώ αντίθετα μειώνεται σημαντικά στο χώρο του θερμοκηπίου και συγκεκριμένα πάνω από τα ανοίγματα αερισμού και κοντά στην επιφάνεια της οροφής.

Το Σχήμα 2 παρουσιάζει τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε διάφορες χρονικές στιγμές για την πρώτη (α) εξεταζόμενη περίπτωση. Από το σχήμα 2 προκύπτει πως η μεταβολή της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ακολουθεί την κατανομή των διανυσμάτων της ταχύτητας του αέρα. Έτσι σε περιοχές με μεγάλες τιμές της ταχύτητας του αέρα (κοντά στην επιφάνεια του εδάφους) η σχετική υγρασία μειώνεται πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με τις περιοχές στις οποίες η ταχύτητα του αέρα είναι μικρή (οροφή του θερμοκηπίου).

Παρόμοια ποιοτικά είναι και η μεταβολή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό η οποία μειώνεται πολύ γρήγορα στις περιοχές του θερμοκηπίου όπου η ταχύτητα του αέρα έχει υψηλές τιμές,. Αντίθετα κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου (όπου επικρατούν μικρές τιμές της ταχύτητας του αέρα) η θερμοκρασία μειώνεται πολύ πιο αργά.

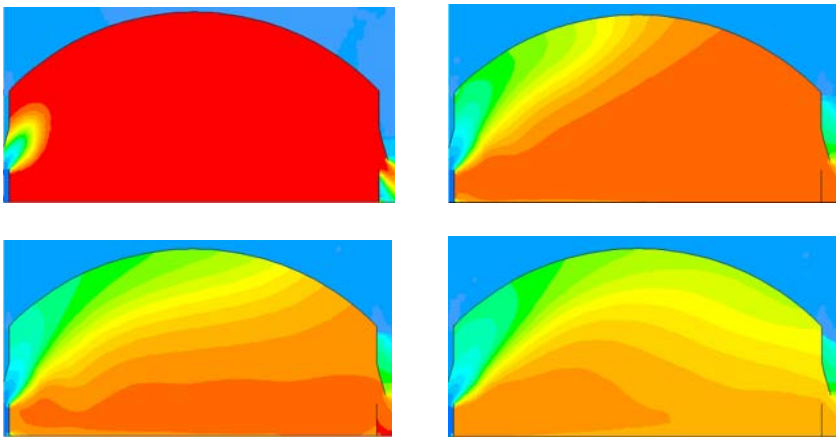


Σχήμα 2. Μεταβολή της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό θερμοκηπίου με κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού σε διάφορες χρονικές στιγμές (time-steps). α = 10s, β = 20s, γ = 30 s, δ = 40 s

3.2 Παράθυρα αερισμού ανοιγόμενα υπό γωνία προς την κατακόρυφο

Στην περίπτωση αυτή ο εισερχόμενος αέρας από το προσήνεμο άνοιγμα μετακινείται απευθείας προς την οροφή του θερμοκηπίου οδηγούμενος από το άνοιγμα αερισμού, και ακολουθεί κυρίως την εσωτερική πλευρά των τοιχωμάτων του

θερμοκηπίου. Στην περιοχή όπου βρίσκεται η καλλιέργεια παρατηρείται μια δευτερεύουσα κίνηση ανακυκλοφορίας του αέρα, ενώ το μέτρο της ταχύτητας του αέρα είναι σημαντικά μικρότερο από το μέτρο της ταχύτητας του αέρα στο χώρο πάνω από την καλλιέργεια. Η χρονική μεταβολή της σχετικής υγρασίας για αυτήν την εξεταζόμενη περίπτωση παρουσιάζεται στο Σχήμα 3 όπου παρατηρούμε πως η υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μεταβάλλεται χωρικά με τελείως διαφορετικό τρόπο από ότι στην πρώτη εξεταζόμενη περίπτωση. Έτσι, λόγω της κίνησης του αέρα προς την οροφή του θερμοκηπίου, η υγρασία μειώνεται αρχικά κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου και κατόπιν στην περιοχή την οποία καταλαμβάνει η καλλιέργεια και όπου το μέτρο της ταχύτητας του αέρα έχει μικρότερη τιμή.



Σχήμα 3. Μεταβολή της σχετική υγρασίας στο εσωτερικό θερμοκηπίου με παράθυρα αερισμού ανοιγόμενα υπό γωνία με την κατακόρυφοο σε διάφορες χρονικές στιγμές (time-steps). α = 10s, β = 20s, γ = 30 s, δ = 40 s

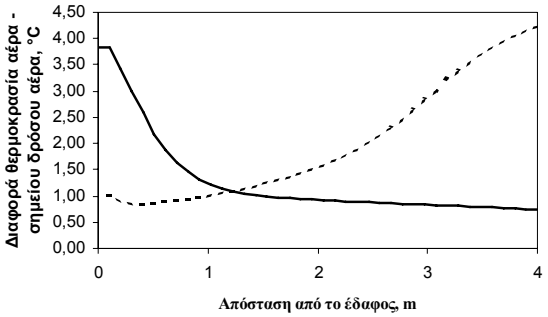
Και σε αυτήν την εξεταζόμενη περίπτωση η μεταβολή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι ποιοτικά παρόμοια με αυτήν της υγρασίας. Σε κατακόρυφο επίπεδο στο μέσο του θερμοκηπίου η θερμοκρασία του αέρα παραμένει σταθερή σε ένα ύψος έως και 3m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ πάνω από αυτό το ύψος η θερμοκρασία μειώνεται λόγω των υψηλότερων τιμών της ταχύτητας του αέρα σε εκείνο το επίπεδο.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα ανοίγματα φυσικού αερισμού ενός θερμοκηπίου κατασκευάζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζουν έναν ικανοποιητικό αριθμό εναλλαγών αέρα με στόχο την αποφυγή υπερθερμάνσεων στο εσωτερικό του. Κατά συνέπεια δε λαμβάνεται καμία μέριμνα σχετικά με την επίδραση του σχήματος και του μεγέθους των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στην κατανομή της ροής του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Ο κυριότερος λόγος της αφύγρανσης των θερμοκηπίων είναι η αποφυγή συμπυκνώσεων στο εσωτερικό του. Προκειμένου να δημιουργηθούν συμπυκνώσεις σε οποιαδήποτε επιφάνεια στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θα πρέπει η θερμοκρασία της επιφάνειας να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η κατανομή της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της

θερμοκρασίας του αέρα και της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του αέρα σε κατακόρυφο επίπεδο στο μέσο του θερμοκηπίου για τις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις.



Σχήμα 4. Κατανομή της διαφοράς μεταξύ θερμοκρασίας του αέρα και θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του αέρα σε κατακόρυφο επίπεδο στο μέσο του θερμοκηπίου. —— τύπος (α) — — — τύπος (β)

Από το Σχήμα 4 φαίνεται πως και για τις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις δεν παρατηρήθηκαν συμπυκνώσεις, αφού η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα και του σημείου δρόσου του αέρα είχε πάντα θετικές τιμές. Για την πρώτη εξεταζόμενη (α) περίπτωση ενώ η διαφορά αυτή είναι 4 °C κοντά στο έδαφος του θερμοκηπίου στη συνέχεια μειώνεται στον ένα βαθμό. Αντιθέτως για τη δεύτερη εξεταζόμενη (β) περίπτωση η διαφορά του ενός βαθμού υφίσταται μόνο στο 1m από την επιφάνεια του εδάφους ενώ στη συνέχεια η διαφορά αυξάνεται σταδιακά για να φθάσει στην τιμή των 4 °C κοντά στη οροφή του θερμοκηπίου.

Για την ενεργειακή αξιολόγηση των δύο διαφορετικών τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού προσδιορίστηκε ο λόγος λανθάνουσας προς αισθητή θερμότητα από τις ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας που ανταλλάσσονταν μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης σύμφωνα με τις εξισώσεις (2) και (3). Σημειώνεται πως όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος λανθάνουσας προς αισθητή θερμότητα τόσο περισσότερο αποδοτικό είναι το σύστημα αφού απομακρύνει την λανθάνουσα θερμότητα με τη μικρότερη δυνατή απώλεια σε αισθητή θερμότητα. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας καθώς και ο λόγος τους για τους δύο διαφορετικούς τύπους ανοιγμάτων αερισμού στο τέλος της διαδικασίας αφύγρανσης (75% σχετική υγρασία του εσωτερικού αέρα). Η αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δεν υπολογίστηκαν με βάση τις τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας στο κέντρο του θερμοκηπίου αλλά με ολοκλήρωση τους σε ολόκληρο τον όγκο του θερμοκηπίου

Πίνακας 2. Ενεργειακή αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ως προς την αφύγρανση των δύο διαφορετικών τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού

Κατακόρυφα ανοίγματα (α)			*Παράθυρα αερισμού (β)*		
Αισθητή θερμότητα W m^{-2}	Λανθάνουσα θερμότητα W m^{-2}	Λανθάνουσα / Αισθητή	Αισθητή θερμότητα W m^{-2}	Λανθάνουσα θερμότητα W m^{-2}	Λανθάνουσα / Αισθητή
603	1850	3.07	550	1437	2.61

Συγκρίνοντας τα ποσά αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας που ανταλλάχθηκαν μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης διαπιστώνουμε ότι με τον (α) τύπο ανοιγμάτων τα ποσά τόσο της αισθητής όσο και της λανθάνουσας θερμότητας είναι μεγαλύτερα απ' ότι με τον (β) συνδυασμό λόγω του μεγαλύτερου ρυθμού ανανέωσης που επιτυγχάνεται με αυτόν τον τύπο (4.7 $m^3 s^{-1}$ έναντι 3.1 $m^3 s^{-1}$ για τον δεύτερο τύπο, [8]). Αυτό σημαίνει πως με τον πρώτο συνδυασμό απομακρύνεται μεγαλύτερο ποσό υδρατμών από το εσωτερικό του θερμοκηπίου και ταυτόχρονα χάνεται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας, ποσό το οποίο θα πρέπει να αναπληρωθεί από το σύστημα θέρμανσης. Ο λόγος όμως λανθάνουσας προς αισθητή θερμότητα είναι μεγαλύτερος για τον (α) τύπο ανοιγμάτων, ο οποίος και αποδεικνύεται ενεργειακά αποτελεσματικότερος κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης.

Με τον πρώτο συνδυασμό η περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία μειώνεται πολύ πιο γρήγορα στο κατώτερο τμήμα του θερμοκηπίου (περιοχή που βρίσκεται η καλλιέργεια), ενώ με το δεύτερο συνδυασμό η μείωση της περιεκτικότητας του αέρα σε υγρασία είναι μεγαλύτερη στο ανώτερο τμήμα του θερμοκηπίου (κοντά στην οροφή του). Σε θερμοκήπια στα οποία η θέρμανση προέρχεται από επιδαπέδιους σωλήνες είναι μάλλον απίθανο η θερμοκρασία της καλλιέργειας να είναι κατά πολύ χαμηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος αέρα, με αποτέλεσμα η πιθανότητα δημιουργίας υγροποιήσεων στην επιφάνεια της καλλιέργειας είναι πολύ μικρή. Υγροποιήσεις όμως μπορούν να δημιουργηθούν στην οροφή του θερμοκηπίου που μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, όταν πλέον δεν θα μπορούν να συγκρατηθούν από την επιφάνεια της οροφής, θα πέσουν με τη μορφή σταγόνων στην καλλιέργεια. Σε αυτήν την περίπτωση ο δεύτερος συνδυασμός των ανοιγμάτων αερισμού είναι προτιμότερος αφού η υγρασία θα απομακρυνθεί πολύ πιο γρήγορα από την περιοχή που μας ενδιαφέρει (οροφή του θερμοκηπίου). Σε θερμοκήπια όμως που είναι εξοπλισμένα μόνο με αξονικά αερόθερμα η κατανομή των κλιματικών παραμέτρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι διαφορετική. Σ' αυτά τα θερμοκήπια η καλλιέργεια θα είναι σίγουρα ψυχρότερη του περιβάλλοντος αέρα και η δημιουργία υγροποιήσεων πιθανή. Αντίθετα μειώνονται οι πιθανότητες για τη δημιουργία υγροποιήσεων στην επιφάνεια του καλύμματος οροφής τόσο λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας της επιφάνειας του καλύμματος όσο και λόγω της χαμηλότερης περιεκτικότητας του αέρα σε υγρασία στην περιοχή κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου. Στην περίπτωση αυτή ο πρώτος συνδυασμός είναι προτιμότερος αφού η αφύγρανση με εξαερισμό θα μειώσει πρώτα την περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία κοντά στην περιοχή που βρίσκεται η καλλιέργεια.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διερευνήθηκε αριθμητικά η επίδραση του τύπου των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στο μικροκλίμα θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της αφύγρανσης του. Για ταχύτητα εξωτερικού αέρα κάθετη στα ανοίγματα αερισμού τα κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού ήταν ενεργειακά αποτελεσματικότερά από τα παράθυρα αερισμού ανοιγμένα υπό γωνία προς την κατακόρυφο. Κατά τη διάρκεια της αφύγρανσης, με τα κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού η θερμοκρασία και υγρασία του αέρα μειωνόταν πρώτα κοντά στο έδαφος του θερμοκηπίου και κατόπιν στον υπόλοιπο όγκο του θερμοκηπίου ενώ με τα παράθυρα αερισμού η μείωση της θερμοκρασίας και υγρασίας συνέβαινε πρώτα στην περιοχή κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1 Baille, A., 2004. Requirements and constraints in designing Mediterranean greenhouses. *CIGR congress* "New trends in Farm Buildings", Evora, Portugal.

2 Wang, S., 1998. Measurement and modeling of natural ventilation in a large venlo-type greenhouse. *PhD Dissertation* 193pp

3 Kittas. C., Boulard, T., Bartzanas, T., Katsoulas, N., Mermier, M. 2002. Influence of an insect screen on greenhouse ventilation. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1083-1090

4 Shilo, E., Teitel, M., Mahrer, Y., Boulard. T., 2004. Air-flow patterns and heat fluxes in roof-ventilated multi-span greenhouse with insect-proof screens. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122(1-2), 3-20

5 Boulard, T.; Papadakis, G., Kittas, C. and Mermier, M., 1997. Air flow and associated sensible heat exchanges in a naturally ventilated greenhouse. *Agric. For. Meteorol.* 88, 111-119.

6 Boulard, T., Wang, S. and Haxaire, R., 2000. Mean and turbulent air flows and microclimate patterns in an empty greenhouse tunnel. *Agric. For. Meteorol*, 100, 169 – 181.

7 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.

8 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.

9 Hand, D.W., 1988. Effects of atmospheric humidity on greenhouse crops. *Acta Horticulturae* 229:143-158.

10 Bakker, R., 1984. Physiological disorders in cucumber under high humilities conditions and low ventilation rates in greenhouses. *Acta Horticulturae*, 156: 257-164

11 Mortensen, L.M., 1986. Effect of relative humidity on growth and flowering of some greenhouse plants. *Scientia Horticulturae* 29:301-307

12 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

13 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

14 De Hallauxe, D. and Gauthier, L., 1998. Energy consumption due to dehumidification of greenhouses under Northern latitudes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 69: 35–42

15 Patankar, S., V., 1980. Numerical heat transfer. *Hemisphere*, Washington

16 Launder, B., E. and Spalding, D., B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Comp. Meth. App. Mech Eng.* 3, 269-289.

17 Fluent, 1998. FLUENT, v.5. Fluent Europe Ltd, Sheffield, UK.

18 Boulard. T., Baille, A. Les Fortes Hygrométries sous serre. Conséquences sur les cultures et solutions techniques pour leur contrôle. Inra Station de Bioclimatologie d'Avignon, 1989.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL

Μ. Σουλιώτης[1], Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος[1] και Α. Καυγά[2]
[1]Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26504, Ρίο Πάτρας
Τηλ./Fax: 2610 997472, e-mail: msouliot@physics.upatras.gr
[2]Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών και Ανθοκομίας, ΤΕΙ Μεσολογγίου, 30200, Μεσολόγγι, Τηλ.: 26310 58234, e-mail: akavga@tei.mes.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζονται οι πτυχές σχετικά με τον έλεγχο του φωτισμού στα θερμοκήπια με τη χρήση των φακών Fresnel ως διαφανή καλύμματα καθώς και τα αποτελέσματα του συνδυασμού των γραμμικών φακών Fresnel με θερμικά (Τ), φωτοβολταικά (PV) ή υβριδικά φωτοβολταϊκά/θερμικά (PV/T) συστήματα μετατροπής της πλεονάζουσας ηλιακής ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Τα συστήματα αυτά μελετούνται σχετικά με την απόδοσή τους στην κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών μιας χαρακτηριστικής θερμοκηπιακής μονάδας, δίνοντας κατ' εκτίμηση τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή τους.

IRRADIATION AND HEATING CONTROL IN GREENHOUSES USING FRESNEL LENSES

M. Souliotis[1], Y. Tripanagnostopoulos[1] and A. Kavga[2]
[1]Physics Department, University of Patras, 26504, Rio Patras, Greece
Tel./Fax: +302610 997472, e-mail: msouliot@physics.upatras.gr
[2]Department of Greenhouse Crops and Floricultur, Technical Education Istitute of Messolonghi, 30200, Messolonghi, Greece
Tel.: +3026310 58234, e-mail: akavga@tei.mes.gr

ABSTRACT

We present aspects and results concerning irradiation control in greenhouses by using glass type fresnel lenses as transparent covering material. We also present results of the combination of the fresnel lenses with thermal (T), photovoltaic (PV) or hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) type absorbers to convert the surplus of the solar radiation inside the greenhouse into electricity and heat. The suggested systems are studying regarding their performance in covering thermal and electrical needs of a typical greenhouse unit, giving also the estimated benefits.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει την εσωτερική θερμοκρασία των θερμοκηπίων και οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες αποφεύγονται με τον εξαερισμό και την σκίαση, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες αντιμετωπίζονται με τεχνητή θέρμανση. Από την άλλη μεριά το υψηλό επίπεδο φωτισμού δεν έχει πάντα θετικά αποτελέσματα για την παραγωγή επειδή υπερθερμαίνει τα θερμοκήπια και προκαλεί ανωμαλίες στην ανάπτυξη των φυτών. Η καύση βιομάζας, η χρήση διαφόρων τεχνικών αποθήκευσης θερμότητας την ημέρα για υποβοήθηση των θερμικών αναγκών την νύχτα, οι θερμοκουρτίνες οροφής και η γεωθερμία (όπου αυτή είναι διαθέσιμη) είναι ορισμένοι εναλλακτικοί τρόποι για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πηγών την περίοδο του χειμώνα. Για την θερινή περίοδο, οι υψηλές τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και οι αυξημένες θερμοκρασίες του αέρα αντιμετωπίζονται συνήθως με τεχνητή αποφυγή περίσσειας φωτισμού, περιορίζοντας τη διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος, με πλήρη αερισμό του θερμοκηπίου καθώς και με άλλους τρόπους δροσισμού.

Μεταξύ των χρησιμοποιηθέντων υλικών για την κάλυψη των θερμοκηπίων, το γυαλί είναι το σταθερότερο υλικό με ικανοποιητικές οπτικές και θερμικές ιδιότητες παρά το μεγαλύτερο κόστος σχετικά με τα διαφανή πλαστικά καλύμματα. Μια εναλλακτική πρόταση αποτελεί η χρήση γυάλινων φακών fresnel. Η χρήση των φακών fresnel ως διαφανή καλύμματα για τον έλεγχο φωτισμού και ενέργειας έχει εισαχθεί από τους Jirka et al, 1998 [1] και τα ληφθέντα αποτελέσματα σχετικά με την τοποθέτησή τους ως διαφανή καλύμματα στα θερμοκήπια δείχνουν την θετική συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο [2]. Η χρήση των φακών fresnel, αντί των τυπικών υαλοπινάκων στη στέγη των θερμοκηπίων, είναι μια νέα ιδέα και στοχεύει στην αντιμετώπιση των φωτιστικών και ενεργειακών αναγκών των θερμοκηπίων.

Η μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις παραμέτρους που σχετίζονται με το θερμοκήπιο παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον επειδή εκτός από την ρύθμιση του φωτισμού μπορεί να γίνει αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών σε θερμότητα και ηλεκτρισμό. Προς την κατεύθυνση αυτή εξετάζεται η χρήση των γραμμικών ή δύο διαστάσεων (2D) φακών fresnel, οι οποίοι είναι οπτικά συγκεντρωτικά μέσα μικρού πάχους (~5mm), όσο δηλαδή μιας συνήθους γυάλινης πλάκας, τα οποία και συγκεντρώνουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε μια γραμμική εστία μικρού εύρους. Η διάταξη αυτή μπορεί να συνδυαστεί με απορροφητές της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίοι μπορούν να μετακινούνται και να ακολουθούν την συγκλίνουσα δέσμη φωτός και η οποία σχετίζεται με την αλλαγή της θέσης του ήλιου. Όταν υπάρχει πλεόνασμα ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας, θα μπορεί να τίθεται σε λειτουργία ο μηχανισμός συλλογής ενός μέρους της, οπότε θα περιορίζεται η υπερέκθεση των φυτών και θα επιτυγχάνεται έτσι ένας αποτελεσματικός έλεγχος του φωτισμού. Η συλλεγόμενη από τους απορροφητές ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να μετατρέπεται σε θερμότητα, ηλεκτρισμό ή και τα δύο και να εξέρχεται του θερμοκηπίου, για να χρησιμοποιηθεί αργότερα για διάφορες ανάγκες του. Με τη συλλογή και την εξαγωγή από το θερμοκήπιο της πλεονάζουσας συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται και μείωση της θερμοκρασίας εντός του χώρου και του εδάφους του θερμοκηπίου, περιορίζοντας την υπερθέρμανσή του. Στην παρούσα εργασία αναλύεται η καινοτόμος εφαρμογή των φακών fresnel σε θερμοκήπια σε συνδυασμό με απορροφητές κατάλληλους για την θέρμανση νερού, αέρα ή άλλου

ρευστού απολαβής της θερμότητας (Τ), με φωτοβολταϊκά (PV) για παραγωγή ηλεκτρισμού, ή ακόμη και υβριδικού τύπου απορροφητές όπως είναι αυτοί των φωτοβολταϊκών/θερμικών συστημάτων (PV/T), για ταυτόχρονη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό και θερμότητα.

2. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Αρκετές μέθοδοι έχουν προταθεί για τον έλεγχο των περιβαλλοντικών παραγόντων στα θερμοκήπια (ακτινοβολία, θερμοκρασία, υγρασία, κ.λ.π.), ανάλογα με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, την εφαρμογή και τις τεχνικές λεπτομέρειες κατασκευής τους. Κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς έχει επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών χωριστά ή σε συνδυασμό, και μεταξύ αυτών η εισερχόμενη στο θερμοκήπιο ηλιακή ακτινοβολία είναι ο βασικός παράγοντας για την φωτοσύνθεση και την ανάπτυξή τους. Τα διαφανή καλύμματα παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο ως προς την ποσότητα όσο και ως προς την ποιότητα (φάσμα) της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες για τη μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας [3, 4], την επίδραση των διαφανών καλυμμάτων [5, 6], των μεθόδων εξαερισμού [7, 8, 9], της εφαρμογής των καλυμμάτων πολυαιθυλενίου [10], των διαφανών καλυμμάτων zigzag [11] καθώς και για τους παράγοντες που επηρεάζουν την αρχιτεκτονική των θερμοκηπίων στις ευρωπαϊκές χώρες [12].

Στις χώρες μικρού γεωγραφικού πλάτους, όπως η Ελλάδα ή και άλλες Μεσογειακές χώρες, τη θερινή περίοδο αλλά και κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος μεταξύ άνοιξης και φθινοπώρου, η ακτινοβολία καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτών στα θερμοκήπια. Το χειμώνα, η ηλιακή ακτινοβολία που εισάγεται στα θερμοκήπια δεν είναι επαρκής να καλύψει πλήρως τις ανάγκες των φυτών και στην περίπτωση αυτή ο τεχνητός φωτισμός συμβάλει ουσιαστικά σε αυτό. Στη χώρα μας, ακόμη και κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή και η θερμοκρασία αυξάνεται πολλές φορές πέρα από τα βιώσιμα όρια των φυτών. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου, θερμοκρασίες μέχρι περίπου 45 °C έχουν καταγραφεί στα θερμοκήπια, ενώ το καλοκαίρι τέτοιες θερμοκρασίες είναι πολύ κοινές. Ο παθητικός (φυσικός) και δυναμικός (τεχνητός) εξαερισμός, η μείωση των θερμοκρασιών αέρα στο θερμοκήπιο με την εξάτμιση ύδατος και την σκίαση είναι απαραίτητες μέθοδοι για τη μείωση της θερμοκρασίας. Για να αποφευχθεί η υψηλή ποσότητα φωτισμού το καλοκαίρι και σε άλλες περιόδους στη διάρκεια του έτους και για να κρατηθεί η θερμοκρασία των θερμοκηπίων σε ένα βιώσιμο όριο είναι απαραίτητος ο έλεγχος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Έχουν εφαρμοστεί διάφοροι μέθοδοι σκίασης για τη μείωση της προσπίπτουσας εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, μερικοί απλοί και άλλοι που χρειάζονται μηχανισμούς και κατανάλωση υψηλών ποσοτήτων ενέργειας. Η σκίαση μπορεί να συμβάλει στη γενική μείωση της θερμοκρασίας εδάφους και αέρα των θερμοκηπίων επειδή μειώνει την ποσότητα της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας εντός του χώρου του.

Η αυξημένη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας πέρα από το επίπεδο που τα φυτά μπορούν να εκμεταλλευτούν δεν είναι επιθυμητή ενώ συνοδεύεται ταυτόχρονα από μια υψηλή αύξηση στη θερμοκρασία, που όταν ο φωτισμός είναι επαρκής, είναι ο κύριος παράγοντας επηρεασμού της ανάπτυξης των καλλιεργημένων φυτών. Οι πιο κοινές μέθοδοι μείωσης του φωτισμού στα θερμοκήπια είναι η χρήση ειδικών λευκών

χρωμάτων και η χρήση κουρτινών, οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν με το δυναμικό εξαερισμό και ένα σύστημα ψύξης μέσω της εξάτμισης του νερού. Εκτός από την ένταση, η διάρκεια του φωτισμού έχει σημαντική επίδραση στην παραγόμενη ποσότητα και την ποιότητα των προϊόντων. Η μεγαλύτερη διάρκεια του φωτισμού και η υψηλότερη ενεργειακή διαθεσιμότητα για τη φωτοσύνθεση αυξάνουν την παραγωγή. Δεδομένου ότι η διάρκεια του φυσικού φωτισμού διέπεται από χρονικούς και κλιματολογικούς περιορισμούς, η προσθήκη τεχνητού φωτισμού (νυκτερινός φωτισμός) έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην παραγωγή.

Τα διαφανή καλύμματα των θερμοκηπίων καθορίζουν το εσωτερικό μικροκλίμα με κύριες παραμέτρους το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας, το επίπεδο έντασής της και το εσωτερικό επίπεδο θερμοκρασίας. Το γυαλί, σε αντίθεση με το πλαστικό (PC, PMMA, GRP, PVC, RDPE, EVA), θεωρείται κατάλληλο υλικό για διαφανή κάλυψη λόγω των πολύ καλών ιδιοτήτων του σχετικά με τη μετάδοση ακτινοβολίας και τη σταθερότητα. Όσον αφορά το κόστος, το γυαλί έχει σχεδόν το ίδιο κόστος με τα πλαστικά καλύμματα μετά από περίπου δέκα έτη λειτουργίας λόγω αντικατάστασής τους 2-3 φορές. Τα διαφανή καλύμματα απορροφούν μέρος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία εξαρτάται όχι μόνο από την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος της θέσης, αλλά και από το είδος του υλικού και τη γωνία της πρόσπτωσης της ακτινοβολίας.

3. ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Με την προτεινόμενη χρήση των γραμμικών φακών Fresnel επιδιώκεται ο έλεγχος του φωτισμού και της θερμοκρασίας των θερμοκηπίων και επίσης ενεργειακό όφελος από την αξιοποίηση της πλεονάζουσας εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Οι φακοί fresnel έχουν μικρό πάχος, χαμηλό κόστος και μικρό βάρος έναντι των συνηθισμένων συμπαγών φακών. Μεταξύ των εργασιών για τους φακούς Fresnel μπορούμε να αναφέρουμε τη μελέτη για την ελαχιστοποίηση του εστιακού τους βάθους [13] και αυτή των φακών Fresnel ως συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα [14].

Οι φακοί Fresnel συγκεντρώνουν κυρίως την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και ως εκ τούτου μπορούν να ελέγξουν το φωτισμό μέσα στα θερμοκήπια. Το ποσό της ενέργειας που απορροφάται μειώνει την ποσότητα φωτός που προσπίπτει τελικά στα φυτά και το έδαφος και έτσι μπορεί να επιτευχθεί χαμηλότερο επίπεδο φωτισμού και μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου. Οι φακοί Fresnel μπορούν να συνδυαστούν με θερμικά (T), φωτοβολταικά (PV) ή υβριδικά φωτοβολταικά/θερμικά (PV/T) που μετατρέπουν την προσλαμβάνουσα ηλιακή ενέργεια ταυτόχρονα σε θερμότητα και ηλεκτρισμό, χρησιμοποιώντας την αργότερα για την κάλυψη διαφόρων ενεργειακών αναγκών των θερμοκηπίων [15]. Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ως θερμότητα (αποθήκευση ζεστού νερού ή υπόγεια αποθήκευση) και να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της νύχτας ή ως ηλεκτρική ενέργεια (μπαταρίες ή ηλεκτρικό δίκτυο) για να καλύψει τις ηλεκτρικές ανάγκες καθώς επίσης και για την επέκταση της περιόδου φωτισμού των φυτών. Διάφοροι τύποι φακών fresnel έχουν ερευνηθεί. Οι φακοί fresnel 2D (γραμμικοί φακοί) είναι πρακτικότεροι από τον τρισδιάστατο τύπο 3D (κυκλικοί φακοί) και δεδομένου ότι μπορεί να τοποθετηθούν με προσανατολισμό Ανατολή-Δύση χρειάζονται λιγότερες μετακινήσεις προσανατολισμού των συστημάτων στον ήλιο για την αποδοτική λειτουργία τους.

Η εφαρμογή των φακών Fresnel ως διαφανή καλύμματα στα θερμοκήπια έχει δώσει ενδιαφέροντα αποτελέσματα για τις μέσου γεωγραφικού πλάτους χώρες [1, 2] και θα μπορούσε να έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και σε χώρες μικρότερου γεωγραφικού πλάτους όπως η Ελλάδα ή άλλες Μεσογειακές χώρες. Η συλλογή 60 – 80 % [15] της διαβιβασθείσας ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των διαφανών καλυμμάτων στους απορροφητές αφήνει το υπόλοιπο ποσό να διανεμηθεί εντός του θερμοκηπίου για την κάλυψη αναγκών φωτισμού των φυτών. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει απορροφητές μικρού πλάτους (5-10cm), ανάλογα με την συγκέντρωση, οι οποίοι μετακινούμενοι απορροφούν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Όσον αναφορά τη θερμική μετατροπή, η ηλιακή ακτινοβολία που συγκεντρώνεται μέσω των φακών fresnel απορροφάται σε ένα σωλήνα ή απορροφητή τύπου πτερυγίου με σωλήνα, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ενός κυκλοφορούντος ρευστού, το οποίο συνήθως είναι νερό, ενώ το όλο σύστημα συνδέεται με ένα σύστημα αποθήκευσης. Στα θερμοκήπια η εφαρμογή αυτού του συστήματος συνίσταται τις ηλιόλουστες ημέρες της χειμερινής περιόδου και κυρίως κατά τη διάρκεια του μεσημεριού, όταν δηλαδή υπάρχει πλεόνασμα ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο. Το αποθηκευμένο ζεστό νερό μέσω συστήματος σωλήνων μπορεί να κυκλοφορήσει στη διάρκεια της νύκτας συμβάλλοντας στη θέρμανση του θερμοκηπίου. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά (PV) αντί των θερμικών απορροφητών, η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις ηλεκτρικές ανάγκες του θερμοκηπίου είτε με διοχέτευσή της στο ηλεκτρικό δίκτυο είτε μέσω της αποθήκευσής της σε μπαταρίες.

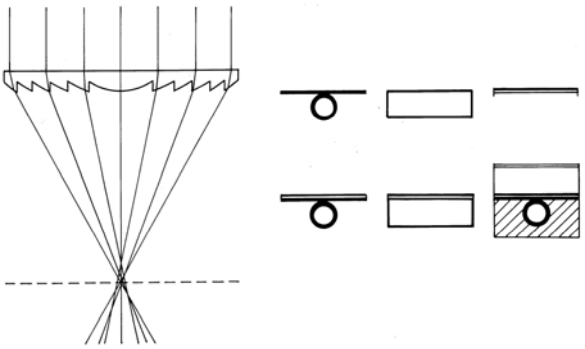
Με τη χρήση των φακών fresnel μπορεί να περιοριστεί η κατανάλωση ενέργειας για τον εξαερισμό των θερμοκηπίων στη διάρκεια της ημέρας, είναι πρακτικά εύκολη η αποθήκευση της θερμότητας για τη θέρμανση του χώρου στη διάρκεια της νύχτας και στην περίπτωση χρήσης φωτοβολταϊκών ως απορροφητή είναι δυνατή η παράταση του χρόνου τεχνητού φωτισμού των φυτών τη νύκτα. Όταν παρατηρείται χαμηλή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, ο απορροφητής τίθεται εκτός της εστίας του φακού, αφήνοντας το φως να εισέλθει στο εσωτερικό και να διατηρήσει το φωτισμό σε αποδεκτό επίπεδο για τα καλλιεργούμενα φυτά. Το πλεονέκτημα των γραμμικών φακών Fresnel είναι ότι διαχωρίζουν την άμεση από τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και είναι κατάλληλοι για τον έλεγχο φωτισμού στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, παρέχοντας φως κατάλληλου επιπέδου έντασης και χωρίς έντονες διακυμάνσεις.

Τα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου (a-Si), πολυκρυσταλλικού πυριτίου (pc-Si) ή κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) είναι οι πιο κοινές περιπτώσεις PV, που παρουσιάζουν ηλεκτρικές αποδόσεις σε εύρος από 5% ως 14%, κατά σειρά. Τα PV λοιπόν μετατρέπουν ένα μικρό μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, με το μεγαλύτερο μέρος αυτής να μετατρέπεται σε θερμότητα. Η ηλεκτρική απόδοσή τους μειώνεται καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας τους αυξάνεται και η απαγωγή θερμότητας του PV είναι απαραίτητη για να κρατηθεί σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο απόδοσης. Τα φωτοβολταικά (PV) και τα θερμικά (T) συστήματα απορροφητών ηλιακής ενέργειας μπορούν να συνδυαστούν σε μια ενιαία συσκευή, που αποτελεί το υβριδικό φωτοβολταικό/θερμικό (PV/T) σύστημα, παρέχοντας ταυτόχρονα ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα και κρατώντας την ηλεκτρική απόδοση σε ικανοποιητικό επίπεδο. Στις εφαρμογές συστημάτων PV/T η ηλεκτρική ενέργεια έχει προτεραιότητα και η λειτουργία των PV σε χαμηλές θερμοκρασίες συμβάλλει να κρατηθεί η ηλεκτρική

αποδοτικότητα κυττάρων σε αποδεκτό επίπεδο [16]. Αυτή η απαίτηση περιορίζει τη λειτουργία της θερμικής μονάδας των PV σε χαμηλή θερμοκρασία και η προσλαμβάνουσα θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για θερμικές ανάγκες σε χαμηλή θερμοκρασία. Όσον αφορά την εγκατάσταση των συστημάτων φακών fresnel – PV/T στη στέγη των θερμοκηπίων είναι απαραίτητο να συνεκτιμηθεί η αποδιδόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια μαζί με τα οφέλη στον έλεγχο του φωτισμού και του εξαερισμού.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ FRESNEL – PV/T ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Στην Εικ. 1 παρουσιάζουμε την αρχή σχεδίασης του φακού Fresnel (αριστερά), που με τις διαθλώμενες ακτίνες να διαμορφώνουν μια διασκορπισμένη εικόνα του ήλιου στο εστιακό μήκος (συγκεντρωτικό σύστημα μη ευκρινούς ειδώλου). Στο ίδιο σχήμα (δεξιά), δείχνουμε έξι τύπου απορροφητών, όπου στην πρώτη γραμμή είναι το πτερύγιο με σωλήνες για τη θέρμανση νερού, ο αεραγωγός για τη θέρμανση του αέρα και το φωτοβολταϊκό. Στη δεύτερη γραμμή υπάρχουν τα υβριδικά συστήματα PV/T για τη θέρμανση νερού, αέρα και επίσης για τη θέρμανση νερού με την πρόσθετη τοποθέτηση διαφανούς καλύμματος και θερμικής μόνωσης. Από την πειραματική μελέτη του φακού fresnel [15] βρέθηκε ότι το βέλτιστο εστιακό μήκος είναι f = 42 cm και υπολογίστηκε η συλλεχθείσα ηλιακή ακτινοβολία με τη χρήση απορροφητών πλάτους 5 και 10 cm στην εστία. Η συλλογή 60-80% της διαβιβασθείσας ηλιακής ακτινοβολίας στους διάφορους τύπους απορροφητή αφήνει το υπόλοιπο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας να διανεμηθεί στο χώρο του θερμοκηπίου για τις ανάγκες φωτισμού των φυτών. Από τα διεξαχθέντα πειράματα με μικρού μεγέθους εξομοιωτή θερμοκηπίου παρατηρήθηκε μια μείωση της θερμοκρασίας εντός του χώρου από 4 °C έως 6 °C στη διάρκεια λειτουργίας των συστημάτων το μεσημέρι [15].

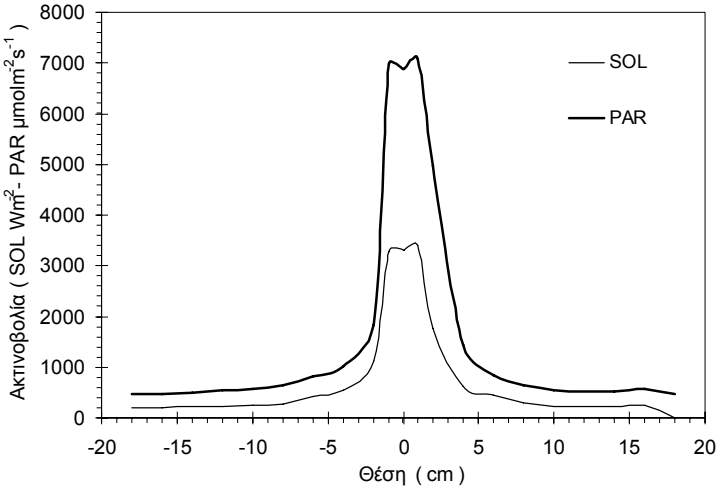


Εικ. 1: Τομή του φακού Fresnel και των διαφόρων τύπων απορροφητών

Πραγματοποιήθηκε πειραματική μελέτη προσδιορισμού της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας (SOL) που διέρχεται από τον φακό fresnel καθώς και του φωτοσυνθετικού φάσματος (PAR) σε δύο περιπτώσεις χρήσης απορροφητών (5 cm και 10 cm). Στην Εικ. 2 παρουσιάζεται η κατανομή της έντασης της ακτινοβολίας (SOL σε $W \cdot m^{-2}$ και PAR σε $\mu \cdot mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) σε διάφορες θέσεις κατά πλάτος στο βέλτιστο εστιακό επίπεδο του χρησιμοποιηθέντος φακού fresnel και για κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας. Στην

Εικ. 3 παρουσιάζονται οι κατανομές της SOL και PAR κάτω από τον απορροφητή για δύο περιπτώσεις, 5 cm και 10 cm. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως ο απορροφητής των 10 cm απορροφά μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας ενώ των 5 cm μικρότερο. Σε απόλυτες τιμές, τόσο οι ποσότητες της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (SOL) όσο και της φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (PAR) είναι σαφώς αποδεκτές για τον απορροφητή των 5 cm, αλλά εντελώς οριακές για τον απορροφητή των 10 cm. Αυτά τα αποτελέσματα είναι ενδεικτικά και δείχνουν τις δυνατότητες ελέγχου φωτισμού στο εσωτερικό χώρο των θερμοκηπίων με την εφαρμογή των φακών fresnel.

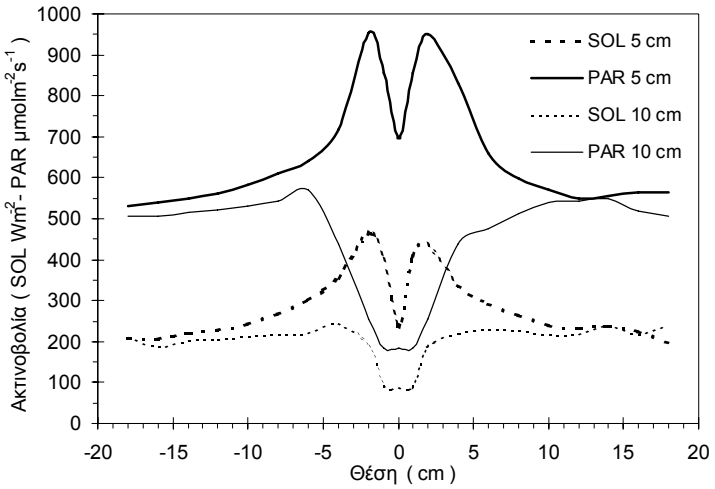
Εξετάζοντας τις ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων, μπορούν να εξαχθούν μερικά συμπεράσματα από τα οφέλη που αποκομίζονται από τη χρήση των γραμμικών φακών fresnel αντί των τυπικών γυάλινων καλυμμάτων. Υπολογίστηκαν έτσι οι ενεργειακές ανάγκες μιας μονάδας θερμοκηπίου, που καλύπτει επιφάνεια 500 m². Το θερμοκήπιο διαθέτει απλές πλάκες γυαλιού ως διαφανές κάλυμμα και λειτουργεί κάτω από τις καιρικές συνθήκες ενός σημείου της Νοτιο–Δυτικής Ελλάδας κοντά στη θάλασσα. Όσον αφορά τις ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου εξετάστηκε η περίοδος από το Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο και υπολογίστηκε ένα φορτίο θέρμανσης 25,9 MWh. Για τον εξαερισμό εξετάστηκε η περίοδος από το Μάρτιο μέχρι τον Οκτώβριο υπολογίστηκε ένα φορτίο 4,5 MWh και για την ψύξη από το Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο με φορτίο 2,2 MWh. Επιπλέον, υπολογίστηκε το φορτίο για τεχνητό φωτισμό του θερμοκηπίου από το Σεπτέμβριο μέχρι τον Απρίλιο σε 3,2 MWh.



Εικ. 2: Κατανομή ακτινοβολίας (SOL) και (PAR) κατά πλάτος στο βέλτιστο εστιακό βάθος του φακού fresnel

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται οι γραμμικοί φακοί fresnel σε συνδυασμό με τους θερμικούς συλλέκτες υπολογίζεται ένα ενεργειακό όφελος 6,5 MWh, που αντιστοιχεί στο 25% του θερμικού φορτίου κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, θεωρώντας ότι οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες έχουν απόδοση 30%. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι θερμικές απώλειες των συλλεκτών είναι προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου,

δεδομένου ότι οι απορροφητές τοποθετούνται κάτω από τη στέγη και έτσι δεν υπάρχει σημαντική απόκλιση στην διακύμανση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο. Επιπλέον, μπορεί να επιτευχθεί όφελος 50% (ή περίπου 3,5 MWh) από την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τον εξαερισμό και ψύξη, κυρίως κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Εάν συνδυαστούν οι φακοί fresnel με τους απορροφητές φωτοβολταϊκών, μπορεί να ληφθεί μια ικανοποιητική κάλυψη 75% των ηλεκτρικών αναγκών (περίπου 7,5 MWh) στον τεχνητό φωτισμό, την ψύξη και τον εξαερισμό. Τέλος, σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται φακοί fresnel σε συνδυασμό με τους υβριδικούς απορροφητές PV/T, τότε μπορούν να προκύψουν συγκεντρωτικά όλα τα ανωτέρω οφέλη.



Εικ. 3: Κατανομή ακτινοβολίας (SOL) και (PAR) κατά πλάτος κάτω από τον απορροφητή σε δύο περιπτώσεις πλάτους απορροφητών (5 cm και 10 cm)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκαν οι πτυχές και τα αναμενόμενα αποτελέσματα σχετικά με την εφαρμογή των γραμμικών φακών Fresnel στα θερμοκήπια. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να συνδυαστεί με θερμικό και φωτοβολταϊκό απορροφητή με σκοπό τη μετατροπή της πλεονάζουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα και ηλεκτρισμό, συμβάλλοντας στον έλεγχο φωτισμού και θερμοκρασίας, τη θέρμανση και άλλες ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων σύμφωνα με τις τοπικές καιρικές συνθήκες και τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτών. Υπολογίστηκε ότι το προτεινόμενο σύστημα με τους θερμικούς απορροφητές μπορεί να μειώσει κατά περίπου 25% τις θερμικές ανάγκες, κατά 50% το φορτίο εξαερισμού και ψύξης των θερμοκηπίων και το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια σε περίπτωση χρησιμοποίησης απορροφητών PV ή PV/T.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Jirka V., Kuceravy V., Maly M., Pokorny J. and Rehor E. 1998. The architectural use of glass raster lenses. In Proc. of WREC V, Part III:1595-1598.
2. Jirka V., Kuceravy V., Maly M., Pech F., Pokorny J. 1999. Energy flow in a greenhouse equipped with glass raster lenses. Renewable Energy 16:660-664.
3. Papadakis G., Manolakos D., Kyritsis S. 1998. Solar radiation transmissivity of a single-span greenhouse through measurements on scale model. J. Agric. Engng. Res. 71: 331-338.
4. Pollet I.V., Pieters J.G. 2000a. Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, part 3: Results for glass plates and plastic films. J. Agric. Engng. Res. 77: 419-429.
5. Kittas C., Baille A., Giaglaras P. 1999. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses. J. Agric. Eng. Res. 73: 341-351.
6. Papadakis G., Briassoulis, Mugnozza Scarascia G., Vox G., Feuilloley P., Stoffers J.A. 2000. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. J. Agric. Engng. Res. 77: 7-38.
7. Tiwari G.N., Sutar R.F., Singh H.N., Goyal R.K. 1998. Performance studies of earth air tunnel cum greenhouse technology. Energy Conv. Mgmt. 39: 1497-1502.
8. Teitel M., Segal I., Shklyar A., Barak M. 1999. A comparison between pipe and air heating methods for greenhouses. J. Agric. Engng. Res. 72: 259-273.
9. Kittas C., Katsoulas N., Baille A. 2001. Influence of greenhouse ventilation regime on the microclimate and energy partitioning of a rose canopy during summer conditions. J. Agric. Engng Res. 79:349-360.
10. Dilara P.A., Briassoulis D. 2000. Degradation and stabilization of low-density polyethylene films used as Greenhouse covering materials. J. Agric. Eng. Res.76: 309-321.
11. Swinkels G.L.A., Sonneveld P.J., Bot G.P.A. 2001. Improvement of greenhouse insulation with restricted transmission loss through zigzag covering material. J. Agric. Eng. Res. 79: 91-97.
12. Von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., Von Zabeltitz Chr., Gratraud J., Russo G., Suay-Cortes R. 2000a. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part I: Designs requirements. J. Agric. Eng. Res. 75: 1-16.
13. Kritchman E.M., Friesem A.A., Yekutieli G. 1979. Efficient Fresnel lens for solar concentration. Solar Energy 22: 119-123.
14. Leutz R., Suzuki A., Akisawa A., Kashiwagi T. 1999. Design of nonimaging Fresnel lens for solar concentrators. Solar Energy 65: 379-387.
15. Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Tonui J.K. and Kavga A. 2004. Illumination aspects for efficient greenhouses. Presented in Greensys2004 Int. Conference, Leuven, Belgium, 12-16 Sep. 2004.
16. Tripanagnostopoulos Y., Nousia Th., Souliotis M. and Yianoulis P. 2002. Hybrid Photovoltaic/Thermal solar systems. Solar Energy 72: 217-234.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνάται πειραματικά η επίδραση του τύπου των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού και των διχτύων εντομοστεγανότητας στο ρυθμό ανανέωσης του αέρα σε ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με υδροπονική καλλιέργεια τομάτας. Οι πειραματικές μετρήσεις αφορούσαν τον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα με τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης αερίου δείκτη (N_2O). Η τοποθέτηση του διχτύου εντομοστεγανότητας μείωσε έως και 33% τον αερισμό του θερμοκηπίου, ενώ ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο τύπο ανοιγμάτων αερισμού βρέθηκε ότι μεταβάλλεται και ο ρυθμός αερισμού του αέρα του θερμοκηπίου με τον συνδυασμό πλαϊνών ανοιγμάτων και ανοιγμάτων οροφής να είναι ο αποτελεσματικότερος.

Effect of Vent Openings and Insect Screens on Greenhouse Ventilation

Kittas C, Katsoulas N, Bartzanas T
University of Thessaly, School of Agricultural Sciences, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Laboratory of agricultural Constructions and Environmental Control, Fytokou St. N. Ionia Magnisias, GR-38446, Greece

ABSTRACT

The objective of this work was to experimentally investigate the influence of vent type (side, roof or both) and of an anti-aphid insect screen, used to prevent insect intrusion, on the ventilation rate of a round arch with vertical side walls, PE covered greenhouse. The results showed that as far as the effect of the anti-aphid screen on ventilation rate is concerned its use in the vent openings caused a greenhouse ventilation rate reduction of about 33%. From the greenhouse ventilation performance point of view, it was found that the most effective vent configuration was the combination of roof and side vents, followed by side vents only (46% less ventilation), while the less effective was the roof vent (71% less ventilation).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά τη θερινή περίοδο είναι πρόβλημα που γίνεται όλο και πιο σοβαρό σε ζώνες μεσογειακού κλίματος όπως η Ελλάδα, Ιταλία, Νότια Γαλλία, Ισπανία και οι χώρες της Βόρειας Αφρικής. Οι περιοχές αυτές τον τελευταίο καιρό γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, χάρη στις κλιματολογικές συνθήκες του χειμώνα, οι οποίες είναι πολύ πιο ευνοϊκές από αυτές που επικρατούν στις βόρειες χώρες, όπως η Ολλανδία. Το μεγαλύτερο πρόβλημα των θερμοκηπίων των περιοχών αυτών είναι ο κλιματισμός τους κατά τη θερινή περίοδο, καθώς αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες συνδυαζόμενες συχνά με χαμηλή υγρασία αναγκάζουν πολλούς από τους καλλιεργητές να διακόπτουν τις καλλιέργειές τους από τις πρώτες κιόλας θερμές ημέρες, ή να τις συνεχίζουν σε συνθήκες που δεν ευνοούν την παραγωγή προϊόντων ποιότητας. Ένα αποτελεσματικό σύστημα κλιματισμού είναι επομένως απαραίτητο για τα θερμοκήπια των περιοχών αυτών προκειμένου να επιτευχθεί παραγωγή προϊόντων ποιότητας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Το πλέον διαδεδομένο σύστημα κλιματισμού των θερμοκηπίων είναι ο φυσικός αερισμός λόγω του μικρού λειτουργικού κόστους και της εύκολης διαχείρισης του. Λόγω της μεγάλης του σημασίας ο φυσικός αερισμός αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης αρκετών ερευνητών. Στις περισσότερες εργασίες διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος φυσικού αερισμού με τον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα [1, 2, 3], την απευθείας μέτρηση της ταχύτητας του αέρα στα ανοίγματα αερισμού [4] αλλά και στο εσωτερικό των θερμοκηπίων [5]. Η πρόσφατη πρόοδος στη μοντελοποίηση των ροών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με τη βοήθεια αριθμητικών μεθόδων (CFD) επέτρεψε την καλύτερη διερεύνηση των μηχανισμών του φυσικού αερισμού [6, 7].

Τα τελευταία χρόνια η απαίτηση των καταναλωτών για προϊόντα απαλλαγμένα από επικίνδυνες ουσίες αλλά και η παρατηρούμενη μείωση της αποτελεσματικότητας των χημικών φυτοπροστατευτικών ουσιών οδήγησαν στην αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων φυτοπροστασίας. Στις φυσικές μεθόδους εντομοπροστασίας συμπεριλαμβάνονται και τα δίχτυα εντομοστεγανότητας, η τοποθέτηση των οποίων στα ανοίγματα φυσικού αερισμού μειώνει την είσοδο των εντόμων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου [8] αλλά παράλληλα, δρώντας ως ένα πρόσθετο εμπόδιο στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μειώνει σημαντικά τον αερισμό τους [9, 10, 11].

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι: (α) η σύγκριση δύο μεθόδων προσδιορισμού του ρυθμού ανανέωσης του αέρα του θερμοκηπίου, (β) η πειραματική διερεύνηση της επίδρασης του τύπου των ανοιγμάτων αερισμού στο ρυθμό ανανέωσης του αέρα του θερμοκηπίου και (γ) ο πειραματικός προσδιορισμός της επίδρασης ενός διχτύου εντομοστεγανότητας στο ρυθμό ανανέωσης του αέρα του θερμοκηπίου.

2. ΘΕΩΡΙΑ

2.1 Ενεργειακό ισοζύγιο του θερμοκηπίου

Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα G σε $m^3\ s^{-1}$ μπορεί να εκφραστεί με τη βοήθεια του ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου, σύμφωνα με την εξίσωση [12]:

$$G = \frac{A_g(R_{net} - F_g) - A_g[K\Delta T_{i\text{-}o} + (\frac{A_c}{A_g})C_h\Delta T_{i\text{-}c}]}{\rho_a[C_p\Delta T_{i\text{-}o} + \lambda\Delta H_{i\text{-}o}]} \quad (1)$$

όπου A_g και A_c είναι οι επιφάνειες του εδάφους και του καλύμματος του θερμοκηπίου, αντίστοιχα, σε m^2, R_{net} είναι καθαρή ακτινοβολία πάνω από το επίπεδο της καλλιέργειας σε $W\ m^{-2}$, F_g είναι η ροή ενέργειας στο έδαφος σε $W\ m^{-2}$, K είναι ο ολικός συντελεστής

απωλειών θερμότητας από την επιφάνεια του καλύμματος σε W m^{-2} ºC, ΔT_{i-o} είναι η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού – εξωτερικού αέρα σε °C, C_h είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού αέρα και της επιφάνειας του καλύμματος σε W m^{-2} ºC, ΔT_{i-c} είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού αέρα και της επιφάνειας του καλύμματος σε °C, ρ_a είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg m^{-3}, C_p είναι η ειδική θερμότητα του αέρα σε J kg^{-1} ºC, λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού σε J kg^{-1}, ΔH_{i-o} είναι η διαφορά απόλυτης υγρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα σε σε kg kg^{-1}.

2.2. Προσομοιώματα φυσικού αερισμού

Η παροχή αερισμού G ενός φισικά αεριζόμενου θερμοκηπίου μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει της επίδρασης του εξωτερικού αέρα και των φαινόμενων άνωσης [13]. Για τον προσδιορισμό του G οι Kittas *et al.,* [14] πρότειναν τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$G = C_d \sqrt{\left(\frac{A_R A_S}{\sqrt{A_R^2 + A_S^2}}\right) * \left(2g \frac{\Delta T}{T_o} h\right) + \left(\frac{A_T}{2}\right) * C_w u^2} \tag{2}$$

για θερμοκήπιο εξοπλισμένο με πλαϊνά ανοίγματα και ανοίγματα οροφής και τη σχέση:

$$G = \frac{A_T}{2} C_d \left(2g \frac{\Delta T}{T_o} \frac{h}{4} + C_w u^2\right)^{0.5} \tag{3}$$

για θερμοκήπιο εξοπλισμένο μόνο με ανοίγματα οροφής, όπου A_R, και A_S, είναι οι επιφάνειες των ανοιγμάτων οροφής και των πλαϊνών, αντίστοιχα, σε m^2, A_T η συνολική επιφάνεια των ανοιγμάτων αερισμού (A_R,+A_S) σε m^2, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m s^{-2}, u είναι η ταχύτητα του εξωτερικού αέρα, σε m s^{-1}, C_d είναι ο συντελεστής αποφόρτισης, C_w είναι ο συντελεστής ανεμοπίεσης, T_o είναι η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, σε K και h είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ του μέσου των ανοιγμάτων οροφής και πλαϊνών, σε m.

Η επίδραση των φαινομένων άνωσης είναι σημαντική σε θερμοκήπια εξοπλισμένα με πλαϊνά ανοίγματα και ανοίγματα οροφής ή όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα είναι μεγάλη. Γενικά η επίδραση των φαινομένων άνωσης στο G πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στα προσομοιώματα αερισμού μόνο σε περιπτώσεις χαμηλής u [15]. Σε περιπτώσεις μη χαμηλών u το G δίνεται από τη σχέση [2]:

$$G = \frac{A_T}{2} C_d \sqrt{C_w}\, u \tag{4}$$

Αν G_0 είναι η παροχή αερισμού όταν το θερμοκήπιο είναι κλειστό (λόγω διαφυγών), η εξίσωση (4) παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$G = \frac{A_T}{2} C_d \sqrt{C_w}\, u + G_0 \tag{5}$$

Ο ρυθμός εναλλαγών του αέρα ανά ώρα N, μπορεί να εκφραστεί σύμφωνα με την εξίσωση:

$$N = 3600 \, G / V_g \tag{6}$$

όπου V_g σε m^3 είναι ο όγκος του θερμοκηπίου.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

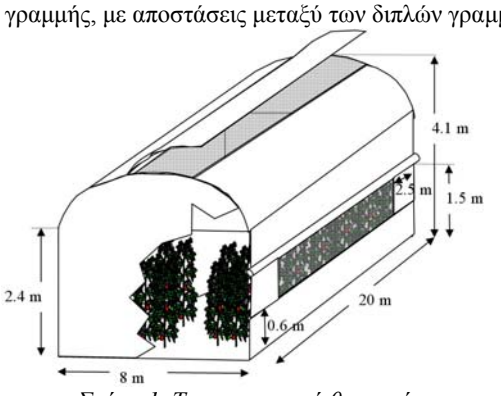
Οι μετρήσεις έγιναν σε ένα πλαστικό απλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο (*Σχήμα 1*), προσανατολισμένο B-N, το οποίο βρίσκεται στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, κατά τη διάρκεια του 2000. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με πλαϊνά παράθυρα (A_S=27 m^2) και παράθυρο οροφής (A_R=18 m^2). Ο

επικρατών άνεμος της περιοχής έχει διεύθυνση B-N, σχεδόν παράλληλη με αυτή του κορφιά του θερμοκηπίου. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν καλυμμένο με πλαστικό φύλλο.

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του τύπου του ανοίγματος στο *G*, μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις όπου ο αερισμός του θερμοκηπίου γινόταν με ανοίγματα: (i) πλαϊνά, (ii) οροφής ή (iii) πλαϊνά & οροφής.

Επιπλέον, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση ενός anti-aphid διχτύου εντομοστεγανότητας (55 * 27 mesh size και 50% πορώδες) στο *G*, εξετάστηκαν δύο διαφορετικές περιπτώσεις όπου σε θερμοκήπιο με πλαϊνά παράθυρα, ο αερισμός γινόταν (i) με δίχτυα και (ii) χωρίς δίχτυα στα ανοίγματα αερισμού.

Στο θερμοκήπιο υπήρχε εγκατεστημένη καλλιέργεια τομάτας, η οποία κατά την περίοδο των μετρήσεων είχε ύψος 1.8 m και δείκτη φυλλικής επιφάνειας (*LAI*) περίπου 2.5. Η καλλιέργεια ήταν εγκατεστημένη σε διπλές γραμμές και η απόσταση των φυτών ήταν 0.33 m επί της γραμμής, με αποστάσεις μεταξύ των διπλών γραμμών 0.75 m.



Σχήμα 1. Το πειραματικό θερμοκήπιο

3.3. Κλιματικές μετρήσεις και μετρήσεις αερισμού

Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καταγραφόταν: η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία και η καθαρή ακτινοβολία στο επίπεδο πάνω από τα φυτά, η ροή ενέργειας προς το έδαφος, η θερμοκρασία των φύλλων και η θερμοκρασία του πλαστικού καλύμματος του θερμοκηπίου. Επιπλέον, για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, καταγραφόταν η ταχύτητα του ανέμου, κοντά στο μέσο των πλαϊνών ανοιγμάτων αερισμού, με τη βοήθεια τρισδιάστατου ηχητικού ανεμομέτρου. Παράλληλα καταγραφόταν οι τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα, της ηλιακής ακτινοβολίας, της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου έξω από το θερμοκήπιο. Όλες οι παραπάνω μετρήσεις συλλέγονταν και καταγράφονταν σε καταγραφικό σύστημα με συχνότητα 1 Hz.

Οι μετρήσεις αερισμού έγιναν με τη βοήθεια της μεθόδου της φθίνουσας συγκέντρωσης αερίου δείκτη χρησιμοποιώντας ως δείκτη το N_2O, ενώ η τιμή του *G* υπολογιζόταν όπως περιγράφεται από πολλούς ερευνητές [3, 13].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον *Πίνακα 1* παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των κλιματικών παραμέτρων έξω από το θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Φαίνεται ότι οι κλιματικές συνθήκες ήταν παρόμοιες εκτός από την περίοδο των μετρήσεων χωρίς δίχτυ, όπου οι τιμές τις θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν μικρότερες και οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου μεγαλύτερες.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές των κλιματικών παραμέτρων έξω από το θερμοκήπιο, κατά την περίοδο των μετρήσεων. Στις παρενθέσεις δίνονται οι τυπικές αποκλίσεις των τιμών.

Άνοιγμα	Δίχτυ	Θερμοκρασία αέρα °C	Σχετική υγρασία %	Ηλιακή ακτινοβολία W m^{-2}	Ταχύτητα ανέμου m s^{-1}	Διεύθυνση ανέμου deg
Πλαϊνό	Όχι	25.2 (0.5)	53.3 (1.5)	284 (112)	4.56 (1.28)	35 (15)
Πλαϊνό	Ναι	35.2 (1.4)	26.1 (3.6)	708 (178)	1.77 (0.66)	33 (12)
Οροφής	Ναι	32.2 (1.4)	34.4 (3.8)	714 (167)	2.94 (0.58)	26 (14)
Πλαϊνό & Οροφής	Ναι	37.1 (2.5)	29.5 (3.4)	850 (69)	2.20 (0.34)	10 (10)

3.1 Σύγκριση των μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού αερισμού

Έγινε γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του ρυθμού ανανεώσεων του αέρα, όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο του αερίου δείκτη $N_{tracer\ gas}$ και του ρυθμού ανανεώσεων του αέρα, όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο του ενεργειακού ισοζυγίου N_{energy}, για την περίπτωση του θερμοκηπίου με δίχτυα στα ανοίγματα αερισμού και για όλους τους τύπους των παραθύρων (πλαϊνά, οροφής, οροφής & πλαϊνά). Η σύγκριση έδωσε για 54 παρατηρήσεις την σχέση:

$$N_{tracer\ gas} = 0.81\ N_{energy} \quad (7)$$

με τιμή για το συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0.76$. Συνεπώς, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι τιμές του $N_{tracer\ gas}$ ήταν μικρότερες από αυτές του N_{energy}. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι το προσομοίωμα του ενεργειακού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του G δεν λαμβάνει υπόψη τη λανθάνουσα θερμότητα που αποθηκεύεται στο θερμοκήπιο, κάτι που μπορεί να εισάγει σφάλματα κατά τον υπολογισμό του G για μικρά χρονικά διαστήματα. Παρόλα αυτά, παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και από άλλους ερευνητές [1, 16]. Επιπλέον, οι Fernandez and Bailey [1] σημείωσαν ότι η ακρίβεια στον υπολογισμό του G αυξανόταν με την αύξηση των διαστημάτων μέτρησης, καθώς επίσης και με την επιφάνεια του ανοίγματος.

3.2 Επίδραση του διχτύου εντομοστεγανότητας στον αερισμό

Σε θερμοκήπια που έχουν ανοίγματα πλαϊνά και ανοίγματα οροφής ή όταν υπάρχει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού – εξωτερικού αέρα $\Delta T_{i\text{-}o}$, ο ρυθμός ανανεώσεων του αέρα δεν επηρεάζεται μόνο από την ταχύτητα και διεύθυνση του εξωτερικού ανέμου αλλά και από τα φαινόμενα άνωσης που παρουσιάζονται, λόγω των μεγάλων τιμών $\Delta T_{i\text{-}o}$. Οι Kittas *et al*. [4] αναφέρουν ότι σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με ανοίγματα πλαϊνά & οροφής, τα φαινόμενα της άνωσης είναι σημαντικά όταν ο $u/\Delta T_{i\text{-}o}^{0.5}<1$. Στην παρούσα εργασία βρέθηκε ότι για την περίπτωση του θερμοκηπίου με ανοίγματα πλαϊνά & οροφής, $u/\Delta T_{i\text{-}o}^{0.5} = 1.78$ με τυπική απόκλιση (St Dev) ίση με 0.5, ενώ η $\Delta T_{i\text{-}o}$= 1.7ºC (St Dev= 0.8ºC). Ο λόγος αυτός βρέθηκε ίσος με 1.25 και 1.05για τις περιπτώσεις του θερμοκηπίου με παράθυρα οροφής ή πλαϊνά και δίχτυα στα ανοίγματα αντίστοιχα, ενώ για το θερμοκήπιο χωρίς δίχτυα στα πλαϊνά ανοίγματα η τιμή του λόγου $u/\Delta T_{i\text{-}o}^{0.5}$ ήταν 5.5. Συνεπώς, τα φαινόμενα άνωσης μπορούν να αγνοηθούν για όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή και η απλοποιημένη εξ. (5) να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του G.

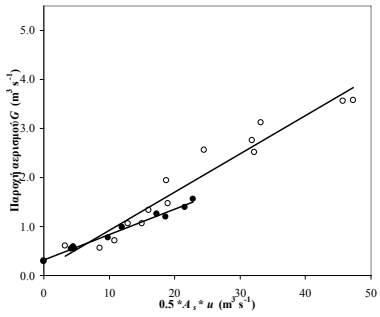
Χρησιμοποιώντας τις τιμές της παροχής αερισμού υπολογισμένες με τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης αέριου δείκτη και τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές με τη μέθοδο του ενεργειακού ισοζυγίου έγινε βαθμονόμηση της εξ. (5) με τη μέθοδο της μη γραμμικής παλινδρόμησης. Η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην εξ. (5) ήταν στατιστικά καλύτερη στην περίπτωση των δεδομένων της μεθόδου της φθίνουσας συγκέντρωσης αέριου δείκτη και ως εκ τούτου επιλέχθηκε στη συνέχεια της εργασίας να χρησιμοποιηθούν για ανάλυση τα δεδομένα που προήλθαν από τη χρήση της μεθόδου αυτής.

Στο *Σχήμα 2* παρουσιάζονται οι τιμές της παροχής αερισμού, όπως υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της μεθόδου του αερίου δείκτη, για τις περιπτώσεις του θερμοκηπίου με πλαϊνά παράθυρα, με δίχτυα και χωρίς δίχτυα εντομοστεγανότητας, συναρτήσει του ημίγινομένου της επιφάνειας των ανοιγμάτων και της ταχύτητας του ανέμου ($0.5\ A_s\ u$). Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση της εξ. (5) και οι υπολογισμένες τιμές του $C_dC_w^{0.5}$ και του G_0 παρουσιάζονται στον *Πίνακα 2*.

Πίνακας 2. Υπολογισμένες τιμές και τυπικό σφάλμα (95% εμπιστοσύνη) των τιμών του $C_dC_w^{0.5}$ και του G_0, της εξίσωσης (5), για τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

Άνοιγμα	Δίχτυ	Αριθμός μετρήσεων	$C_dC_w^{0.5}$	G_0	R^2
Πλαϊνό	Όχι	14	0.078±0.0057	0.135±0.149	0.94
Πλαϊνό	Ναι	12	0.052±0.0017	0.313±0.022	0.99
Οροφής	Ναι	24	0.028±0.0037	0.220±0.058	0.72
Πλαϊνό & Οροφής	Ναι	16	0.096±0.0096	0.340±0.225	0.88

Από τις τιμές του $C_dC_w^{0.5}$ που παρουσιάζονται στον *Πίνακα 2* μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η χρήση ενός anti-aphid διχτύου εντομοστεγανότητας στα ανοίγματα αερισμού του θερμοκηπίου 33% μείωση στο συντελεστή $C_dC_w^{0.5}$ και συνεπώς, σύμφωνα με την εξίσωση (5), προκειμένου να επιτευχθεί το ίδιο G, όπως στην περίπτωση του θερμοκηπίου χωρίς δίχτυα, απαιτείται μία αύξηση κατά 50% της επιφάνειας αερισμού. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό και τον υπολογισμό της επιφάνειας των ανοιγμάτων αερισμού ενός θερμοκηπίου με δίχτυα εντομο-στεγανότητας.



Σχήμα 2. Μετρημένες τιμές του G συναρτήσει του γινομένου $0.5\ A_S\ u$, για την περίπτωση του θερμοκηπίου με πλαϊνά παράθυρα, χωρίς (○) ή με (●) δίχτυ στα ανοίγματα αερισμού. Οι ευθείες γραμμές επιτεύχθηκαν με γραμμική παλινδρόμηση. Με βάση την εξ. (6), οι υπολογισμένες τιμές N_0 που αντιστοιχούν στις τιμές G_0 του Πίνακα 2, ήταν 0.85 και 1.97 για την περίπτωση χωρίς δίχτυα και με δίχτυα, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι μικρές και παρόμοιες μ' αυτές που δίνονται στη βιβλιογραφία

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές του συντελεστή $C_dC_w^{0.5}$ που βρέθηκαν για το θερμοκήπιο με πλαϊνά παράθυρα (*Πίνακας 2*) ήταν αρκετά χαμηλές (0.078 και 0.052 χωρίς και με δίχτυα, αντίστοιχα). Παρόλα αυτά, παρόμοια χαμηλές τιμές του $C_dC_w^{0.5}$ έχουν αναφερθεί και από άλλους ερευνητές [4, 17]. Οι χαμηλές αυτές τιμές του συντελεστή $C_dC_w^{0.5}$, θα μπορούσαν αρχικά να αποδοθούν στο ότι στο θερμοκήπιο ήταν εγκατεστημένη καλλιέργεια τομάτας η οποία, κατά την περίοδο των μετρήσεων είχε ύψος περίπου 1.8 m δημιουργώντας, έτσι, ένα πορώδες τοίχωμα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μεταξύ των δύο πλαϊνών παραθύρων που οδηγούσε σε σημαντική μείωση της παροχής αερισμού του θερμοκηπίου. Παρόμοια αποτελέσματα της επίδρασης της καλλιέργειας στην παροχή αερισμού του θερμοκηπίου έχουν αναφερθεί και από άλλους ερευνητές [4]. Ένας άλλος παράγοντας στον οποίο θα μπορούσαν να αποδοθούν οι χαμηλές τιμές του συντελεστή $C_dC_w^{0.5}$, είναι η γειτνίαση του πειραματικού θερμοκηπίου με άλλα παρόμοια πειραματικά θερμοκήπια σε απόσταση 4.5 m από την ανατολική πλαϊνή του πλευρά και σε απόσταση 10 m από τη βορινή του μετώπη, με συνέπεια το πεδίο των πιέσεων γύρω από το θερμοκήπιο αυτό να επηρεάζεται από την ύπαρξη των άλλων θερμοκηπίων [18], κάτι που πιθανόν να προκάλεσε τη μείωση του αερισμού στο υπό μελέτη θερμοκήπιο. Για να διερευνηθεί το ενδεχόμενο αυτό υπολογίστηκαν οι ομαλοποιημένες τιμές της ταχύτητας του ανέμου μέσα στο θερμοκήπιο, σε 1.1 m (στη μέση του ανοίγματος) κατά μήκος των δύο πλαϊνών ανοιγμάτων. Η ομαλοποιημένη τιμή της ταχύτητας του ανέμου στα ανοίγματα αερισμού υπολογίστηκε από το λόγο της ταχύτητας του ανέμου που μετρήθηκε στο άνοιγμα (με το τρισδιάστατο ηχητικό ανεμόμετρο), προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου. Η μέση τιμή της ομαλοποιημένης ταχύτητας ήταν 0.24 στο δυτικό (ελεύθερο από παρακείμενα θερμοκήπια) παράθυρο και 0.07 στο ανατολικό παράθυρο (με γειτνιάζοντα θερμοκήπια). Παρατηρήθηκε, συνεπώς, μια διαφορά 67% μεταξύ των ταχυτήτων του ανέμου στα δύο παράθυρα, γεγονός που επιβεβαιώνει τη μείωση του αερισμού λόγω της γειτνίασης.

3.3 Επίδραση του τύπου του παραθύρου στο ρυθμό αερισμού

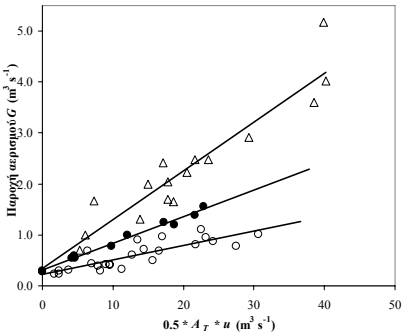
Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του τύπου του ανοίγματος στο ρυθμό ανανεώσεων του αέρα του θερμοκηπίου εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις: (α) αερισμός με πλαϊνά παράθυρα, (β) αερισμός με παράθυρα οροφής και (γ) αερισμός με παράθυρα οροφής και πλαϊνά. Και στις τρεις περιπτώσεις στα ανοίγματα αερισμού υπήρχαν δίχτυα εντομοστεγανότητας.

Οι μετρημένες τιμές του G που παρουσιάζονται στο *Σχήμα 3* για τις περιπτώσεις (α), (β) και (γ), συναρτήσει του γινομένου $0.5\ A_T\ u$, χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση της εξ. (5), και οι υπολογισμένες τιμές του $C_dC_w^{0.5}$ και G_0 για τις παραπάνω περιπτώσεις, παρουσιάζονται στον *Πίνακα 2*.

Από το *Σχήμα 3* φαίνεται ότι, όσον αφορά την αποτελεσματικότητα του τύπου του ανοίγματος στο G, ο αποτελεσματικότερος συνδυασμός ήταν αυτός με τα πλαϊνά& οροφής παράθυρα, ακολουθούμενος από τα πλαϊνά παράθυρα μόνο, ενώ ο αερισμός με μόνον παράθυρα οροφής ήταν ο λιγότερο αποτελεσματικός. Από τον *Πίνακα 2* φαίνεται ότι, σε σύγκριση με τον αποτελεσματικότερο συνδυασμόανοιγμάτων, η παροχή αερισμού ήταν κατά 46% μικρότερη όταν ο αερισμός γινόταν με μόνον πλαϊνά ανοίγματα και κατά 71% μικρότερη όταν ο αερισμός γινόταν με μόνον ανοίγματα οροφής.

Τέλος, από τον ίδιο *Πίνακα 2* φαίνεται ότι η εγκατάσταση ενός διχτύου εντομοστεγανότητας στα πλαϊνά ανοίγματα αερισμού του θερμοκηπίου προκάλεσε μείωση στο συντελεστή $C_dC_w^{0.5}$ από την τιμή 0.078 στην τιμή 0.052 και συνεπώς προκάλεσε

ανάλογη μείωση του *G*. Κατά συνέπεια, προκειμένου να επιτευχθεί η ίδια τιμή *G* απαιτείται σημαντική αύξηση της επιφάνειας των ανοιγμάτων. Παρόλα αυτά, η ίδια (ή ακόμη και μεγαλύτερη) τιμή *G* μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση ενός παραθύρου οροφής, η χρήση του οποίου στην προκειμένη περίπτωση αύξησε την τιμή του



*Σχήμα 3. Μετρημένες τιμές του G συναρτήσει του γινομένου 0.5 A_T u, για την περίπτωση του θερμοκηπίου με δίχτυα και ανοίγματα οροφής (○), πλαϊνά (●) ή πλαϊνά & οροφής (Δ).Οι ευθείες γραμμές επιτεύχθηκαν με γραμμική παλινδρόμηση.$C_dC_w^{0.5}$*από 0.052 (πλαϊνά ανοίγματα με δίχτυ) σε 0.096 (ανοίγματα πλαϊνά και οροφής με δίχτυ).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δύο μέθοδοι προσδιορισμού του ρυθμού ανανέωσης του αέρα που μελετήθηκαν έδωσαν αποτελέσματα σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, με τη μέθοδο προσδιορισμού με τη χρήση αερίου ανίχνευσης να δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα. Η χρησιμοποίηση ενός διχτύου εντομοστεγανότητας στα πλαϊνά ανοίγματα αερισμού μείωσε το ρυθμό ανανέωσης του αέρα έως και 33%. Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των διαφορετικών τύπων ανοιγμάτων αερισμού, ο συνδυασμός πλαϊνών και ανοιγμάτων οροφής ήταν ο πλέον αποτελεσματικός. Ο ρυθμός αερισμού του θερμοκηπίου μειωνόταν έως και 46% με τη χρήση μόνο πλαϊνών ανοιγμάτων και 71% με τη χρήση μόνο ανοιγμάτων οροφής.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια της διακρατικής συνεργασίας Ελλάδας-Γαλλίας (ΠΛΑΤΩΝ) και χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fernandez, J. E., Bailey, B. J. 1992. Measurements and prediction of greenhouse ventilation rates *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(3-4): 229-245
2. Kittas, C., Boulard T., Mermier, M., Papadakis., G. 1996. Wind-induced air exchange rates in a greenhouse tunnel with continuous side openings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65(1): 37-49
3. Kittas, C., Boulard, T., Bartzanas, T., Katsoulas, N., Mermier, M. 2002. Influence of an insect screen on greenhouse ventilation. *Trans. of the ASAE*, 45(4): 1083-1090
4. Boulard, T., Feuilloley, P., Kittas, C. 1997. Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. *J. Agric. Engin. Res.*, 67(4), 249-266

5. Boulard, T., Wang, S., Haxaire, R., 2000. Mean and turbulent air flows and microclimate patterns in an empty greenhouse tunnel. *Agric. For. Met*., 100, 169 – 181
6. Mistriotis, A., Bot, G. P. A., Picuno, P., Scarascia Mugnozza, G. 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computanional fluid dynamics. *Agric. For. Met.*, 85, 317-328
7. Bartzanas, T., Kittas, C., Boulard, T., 2004. Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse, *Biosyst. Engin.*, 88(4), 479-490
8. Teitel, M., Barak, M., Berlinger, M. J, Lebiush-Mordechai, S., 1999. Insect proof screens: their effect on roof ventilation and insect penetration. *Acta Hortic*., 507, 29-37
9. Montero, J. I., Munoz, P., Anton, A., 1997. Discharge coefficients of greenhouse windows with insect-proof screens, *Acta Hortic.*, 443, 71-77
10. Fatnassi, H., Boulard, T., Demrati, H., Bouirden, L., Sappe, G., 2002. Ventilation Performance of a Large Canarian-Type Greenhouse equipped with Insect-proof. *Biosyst. Engin.*, 82(1), 97-105
11. Munoz, P., Montero, J. I., Anton, A., Giuffrida, F., 1999. Effect of insect-proof screens and roof openings on greenhouse ventilation. *J. Agric. Engin. Res.,* 73(2): 171-178
12. Demrati, H., Boulard, T., Bekkaoui, A., Bouirden, L., 2001. Natural ventilation and climatic performance of a large-scale banana greenhouse. *J. Agric. Engin. Res.*, 80(3), 261-271
13. Baptista, F. J., Bailey, B. J., Randall, J. M., Meneses, J. F., 1999. Greenhouse ventilation rate: Theory and measurement with tracer gas techniques. *J. Agric. Engin. Res.*, 72(4), 363-374
14. Kittas, C., Boulard, T., Papadakis, G., 1997. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: Sensitivity to temperature and wind effects. *Trans. of the ASAE*, 40(2), 415-425
15. Papadakis, G., Mermier, M., Meneses, J. F., Boulard, T., 1994. Measurements and analysis of air exchange rates in a greenhouse with continuous roof and side opening. *J. Agric. Engin. Res.*, 63, 219-227
16. Shilo, E., Teitel, M., Mahrer, Y., Boulard, T., 2004. Air-flow patterns and heat fluxes in roof-ventilated multi-span greenhouse with insect-proof screens. *Agric. For. Met.*, 122(1-2), 3-20
17. Perez Parra, J., Baeza, E., Montero, J. I., Bailey, B. J., 2004. Natural ventilation of parral greenhouses. *Biosyst. Engin*, 87(3), 355-366
18. ASHRAE 1993. Airflow around buildings. In *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, 14: 14.1-14.3. Atlanta, Ga.: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

Σχεδιασμός και μηχανική συμπεριφορά εύκαμπτων χαμηλών τούνελ με βιοδιασπώμενα φύλλα κάλυψης

Δ. Μπριασούλης
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός, 75, 11855, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα προβλήματα με τα γεωργικά πλαστικά απόβλητα έχουν οδηγήσει σε αναζήτηση νέων υλικών με βελτιστοποιημένες ιδιότητες λειτουργίας, παραγωγής και ιδιότητες βιοδιάσπασης ειδικά σχεδιασμένων για γεωργικές εφαρμογές. Η παρούσα εργασία αναλύει την συμπεριφορά βιοδιασπώμενων φύλλων κάλυψης χαμηλών τούνελ που χρησιμοποιήθηκαν σε καλλιέργεια καρπουζιού. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων πλήρους κλίμακας δείχνουν μια εξαιρετική συμπεριφορά για τα βιοδιασπώμενα φύλλα χαμηλών τούνελ που είχαν παραχθεί με βελτιστοποιημένες διεργασίες παραγωγής τροποποιημένες σύμφωνα με τις απαιτήσεις των συγκεκριμένων υλικών.

Design and mechanical behaviour of flexible low-tunnels covered with biodegradable films

D.Briassoulis
Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens, Greece

ABSTRACT

The problems related with the agricultural plastic wastes have led to research for the development of new biodegradable materials with improved functioning and manufacturing properties specially designed for agricultural applications. The present work analyses the behaviour of improved biodegradable films covering low tunnels that were used in full scale water melon cultivation. The results of these experiments show an excellent behaviour of the biodegradable low-tunnel films that were produced with optimized processing parameters in accordance with the specific materials requirements.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα τέλη του 80 γίνονται προσπάθειες σχεδιασμού πλαστικών υλικών που αναλίσκονται από μικροοργανισμούς. Τα πρώτα υλικά βασίστηκαν σε άμυλο και κυτταρίνη. Σήμερα νέα υλικά αναπτύσσονται για εμπορικές εφαρμογές. Μια πρόκληση είναι η δημιουργία υλικών με βελτιστοποιημένες ιδιότητες λειτουργίας, παραγωγής και ιδιότητες βιοδιάσπασης ειδικά σχεδιασμένων για γεωργικές εφαρμογές. Σημαντικοί παράμετροι για τα υλικά αυτά είναι επίσης η τιμή, η βιομηχανική υποδομή και οι σχετικές Ευρωπαϊκές πολιτικές και νομοθεσία. Ένας σημαντικός τομέας πιθανών εφαρμογών των υλικών αυτών στην Γεωργία αφορά στα φύλλα κάλυψης (π.χ. φύλλα εδαφοκάλυψης και χαμηλής κάλυψης καλλιεργειών) όπου είναι δυνατή η πλήρης αντικατάσταση των φύλλων πολυαιθυλενίου. Αυτό συνεπάγεται μια αγορά βιοδιασπώμενων υλικών 118 000 t/y στην Ευρώπη μόνο για τις συγκεκριμένες γεωργικές εφαρμογές [1,2,3,4]. Το αντικείμενο της παρούσας έρευνας αφορά στην συγκριτική μελέτη της συμπεριφοράς βιοδιασπώμενων στο έδαφος φύλλων κάλυψης χαμηλών τούνελ σε σχέση με την συμπεριφορά κλασσικών φύλλων με βάση LDPE. Η επωφελής χρήση βιοδιασπώμενων φύλλων εδαφοκάλυψης όσον αφορά το πρόβλημα χειρισμού γεωργικών πλαστικών αποβλήτων περιλαμβάνει μερικά κρίσιμα τεχνολογικά ερωτήματα σχετικά με τον σχεδιασμό και τη μηχανική συμπεριφορά των βιοδιασπώμενων φύλλων που αποτελούν και το κύριο αντικείμενο της εργασίας αυτής. Η εργασία έχει στόχο να αναλύσει την συμπεριφορά βιοδιασπώμενων φύλλων κάλυψης χαμηλών τούνελ που χρησιμοποιήθηκαν σε πειράματα καλλιέργειας καρπουζιού.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΤΟΥΝΕΛ

2.1 Καθορισμός φορτίων ανέμου με βάση τα Ευρωπαϊκά πρότυπα

Ο υπολογισμός φορτίων για τα χαμηλά τούνελ δεν αποτελεί αντικείμενο κανενός προτύπου μέχρι στιγμής. Οι προσεγγίσεις που υιοθετήθηκαν εδώ βασίσθηκαν την υιοθέτηση του Ευρωκώδικα 1 [5] για δράσεις. Παράλληλα έχουν ξεκινήσει πειράματα πλήρους κλίμακας για μέτρηση των ανεμοπιέσεων σε χαμηλά τούνελ.

2.1.1 Ανεμοπιέσεις

Ο υπολογισμός των ανεμοπιέσεων γίνεται με βάση την πίεση αναφοράς q_{ref} που αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα ανέμου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1:

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} v_{ref}^{\ 2} \qquad (1)$$

όπου: ρ είναι η πυκνότητα του αέρα (1.25 kg/m^3) και v_{ref} είναι η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου, που μετράται σαν η μέση τιμή ταχύτητας που καταγράφεται σε διάστημα 10 min, σε m/s, σε ύψος 10 m πάνω από το επίπεδο του εδάφους, κατηγορίας ΙΙ (δηλ. γεωργική γη) με ετήσια πιθανότητα υπέρβασης, p = 0.02 (μέση περίοδο εμφάνισης 50 ετών [**Error! Bookmark not defined.**]). Για την περίπτωση των χαμηλών τούνελ η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου προσαρμόζεται, χρησιμοποιώντας μια μαθηματική έκφραση του Ευρωκώδικα 1, με τροποποίηση της $v_{ref}(p)$ από την ετήσια πιθανότητα υπέρβασης p=0.02, σε ετήσια πιθανότητα p=0.99, υποθέτοντας χρόνο επαναφοράς 1 έτους. Η ταχύτητα αναφοράς με p=0.99 γίνεται $v_{ref}(0.99)$=0.624v_{ref} [5]. Με βάση τις σχετικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 1, τα φορτία ανέμου σε χαμηλά τούνελ, μπορεί να υπολογισθούν υποθέτοντας ότι:

a) Το αντίστοιχο τμήμα του Ευρωκώδικα που εφαρμόζεται σε κυλινδρικές στέγες και τούνελ μπορεί να εφαρμοσθεί επίσης σε χαμηλά τούνελ.
b) Οι δυναμικές επιδράσεις στις εύκαμπτες κατασκευές χαμηλών τούνελ αγνοούνται.

Οι τιμές των συντελεστών υπολογίζονται εφαρμόζοντας τις αντίστοιχες παραμέτρους του Ευρωκώδικα για κατηγορία εδάφους ΙΙ (για τους συντελεστές εσωτερικής πίεσης, c_{pi}, δύο ακραίες τιμές υιοθετούνται από τον Ευρωκώδικα 1, c_{pi}=0,8 και c_{pi}=-0,5.).

2.1.2 Φορτία χιονιού

Τα φορτία χιονιού, *s*, σε kPa, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 [6] βασίζονται στη χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού στο έδαφος, s_k και κάποιους συντελεστές. Με την υιοθέτηση του Ευρωκώδικα 1 για υπολογισμό φορτίων ανέμου σε χαμηλά τούνελ, η χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού στο έδαφος s_k προσαρμόζεται για να αντιστοιχεί σε μέση τιμή επανεμφάνισης 5 ετών (το ελάχιστο διάστημα που επιτρέπει η διαδικασία που έχει εισαγάγει ο Ευρωκώδικας 1 [7]).

2.2 Αριθμητική προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς φύλλων κάλυψης χαμηλών τούνελ

Η αριθμητική προσομοίωση γίνεται με την συντηρητική παραδοχή ότι τα τόξα στήριξης των φύλλων είναι άκαμπτα ενώ αναλύονται δύο περιπτώσεις: Η πρώτη αφορά σε φύλλα που συγκρατούνται από τα τόξα. Στη περίπτωση αυτή το φορτίο μεταφέρεται από τα φύλλα στα τόξα μέσω μονόδρομης δράσης ανεξάρτητα αν η πίεση είναι θετική ή αρνητική. Η δεύτερη περίπτωση αφορά σε φύλλα που δεν συγκρατούνται από τα τόξα, όπως είναι η περίπτωση αρνητικών πιέσεων ανέμου κάτω από τις οποίες τα φύλλα χάνουν την επαφή και επομένως τη στήριξή τους από τα τόξα.

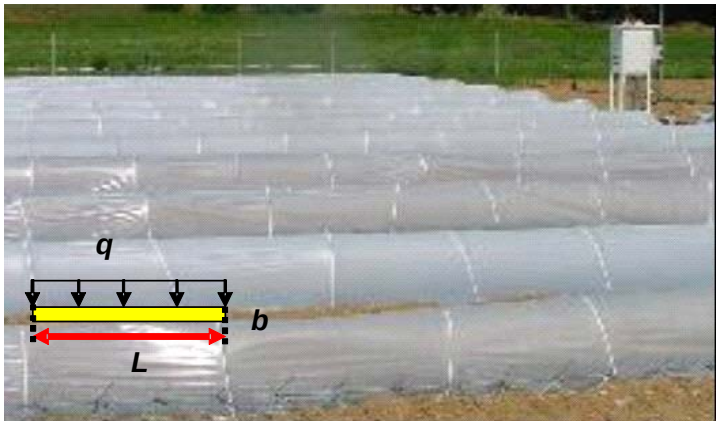
2.2.1 Χαμηλά τόξα υπό θετική πίεση

Ο τρόπος μεταφοράς του φορτίου από το φύλλο κάλυψης στα τόξα στην περίπτωση θετικής πίεσης (ανεμοπίεση στην προσήμενη πλευρά ή φορτίο χιονιού) παρουσιάζεται στη **Εικόνα 1**. Η αντίσταση θλιπτικής τάσης στη διεύθυνση της περιφέρειας του τόξου είναι μηδενική. Έτσι, το φορτίο μεταβιβάζεται μέσω εφελκυστικών τάσεων που αναπτύσσονται στο παραμορφωμένο φύλλο προς τα τόξα στην διεύθυνση κατά μήκος των χαμηλών τούνελ. Είναι επομένως επαρκές να αναλυθεί μια κατά μήκος λωρίδα του φύλλου που στηρίζεται στα άκρα από τα τόξα (**Εικόνα 1**). Σαν παράδειγμα, μια επίπεδη λωρίδα φύλλου από χαμηλού τούνελ με πάχος t=60 μm, πλάτους b= 10 cm και μήκους L= 1 m, στηριγμένη απλά στα άκρα από τα τόξα θεωρείται ότι υπόκειται σε ομοιόμορφη πίεση (**Εικόνα 1**). Το φύλλο με μέτρο ελαστικότητας E=204 MPa και λόγο Poisson ν=0.4, προσομοιώθηκε με το Reformulated Four Node Shell (RFNS) στοιχείο κελύφους [7] για ένα συμμετρικό τέταρτο της λωρίδας (1x10 στοιχεία). Τα κατά μήκος όρια (άκρες) της λωρίδας θεωρήθηκαν δεσμευμένα έναντι πλευρικής μετατόπισης από το υπόλοιπο φύλλο (η εναλλακτική υπόθεση ελεύθερων ορίων δεν έδειξε αξιόλογες διαφορές). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζουν μη-γραμμική σχέση μεταξύ πίεσης, q και μέγιστης μετατόπισης, w, όπως επίσης μεταξύ πίεσης, q και ενεργού τάσης (von Mises), σ_{eff}, ειδικά στην κλίμακα των χαμηλών πιέσεων. Τα μεγέθη της πίεσης, της μετατόπισης και της ενεργού τάσης μπορούν να κανονικοποιηθούν για να επιτευχθούν γενικευμένες καμπύλες που περιγράφουν την συμπεριφορά λωρίδας του φύλλου κάλυψης χαμηλών τούνελ υπό πίεση όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**, που βρίσκουν εφαρμογή σε κάθε περίπτωση χαμηλού τούνελ με μέτρο ελαστικότητας E, λόγο Poisson ν, ενεργό τάση ή τάση διαρροής σ_{eff}, πάχος t και απόσταση τόξων L, και το οποίο υπόκειται σε πίεση q. Έτσι, για παράδειγμα, αλλάζοντας την γεωμετρία της λωρίδας του

φύλλου (L=0.5) και του πάχους του φύλλου (t=30 μm και 20 μm), επιβεβαιώνεται μια σταθερή συμπεριφορά.

2.2.2. Χαμηλά τόξα υπό αρνητική πίεση

Στην περίπτωση αρνητικών ανεμοπιέσεων, το φύλλο χάνει επαφή με τα τόξα και μεταφέρει την πίεση μέσω περιφερειακής δράσης μεμβράνης στα σημεία στήριξής του ή στο μέρος υπό θετική πίεση. Ένα μέρος φύλλου υπό αρνητική πίεση και με θετική εσωτερική πίεση (790 Pa στην κορυφή του τούνελ και 474 Pa στην υπήνεμη πλευρά) προσομοιώθηκε με 264 RFNS πεπερασμένα στοιχεία κελύφους με υπόθεση άρθρωσης στα σημεία στήριξης κατά μήκος των πλευρικών ορίων. Οι μέγιστες ενεργές τάσεις που υπολογίσθηκαν είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες υπό θετική πίεση. Τα ίδια συμπεράσματα επιβεβαιώθηκαν και με δεύτερη προσομοίωση με την αρνητική οριακή τιμή εσωτερικής πίεσης αυτή τη φορά. Επομένως συμπεραίνεται ότι στην περίπτωση των χαμηλών τούνελ αρκεί για τον σχεδιασμό των φύλλων κάλυψης η ανάλυση λωρίδας φύλλου υπό θετική πίεση που υποστηρίζεται στα δύο άκρα από τα τόξα.



Εικόνα 1. Χαμηλά τούνελ καλυμένα με βιοαδιασπώμενα φύλλα και φύλα LDPE στον πειραματικό αγρό του Γ.Π.Α. στα Σπάτα. (απόσταση τόξων, L, κατά μήκος λωρίδα του φύλλου πλάτους, b, υπό ομοιόμορφη θετική πίεση, q.

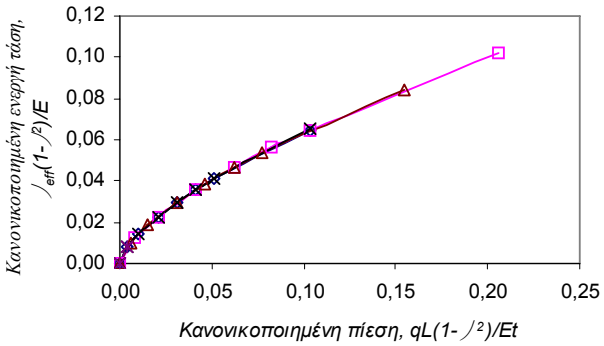
2.3 Σχεδιασμός φύλλων κάλυψης χαμηλών τούνελ

Υποθέτοντας κρίσιμη τιμή για ενεργό τάση σ_{eff} την τάση διαρροής σ_y του φύλλου (π.χ. μια τυπική τιμή σ_y για LDPE είναι 10 MPa [8], είναι δυνατόν να ορισθούν τιμές σχεδιασμού για τις αποστάσεις των τόξων L και το πάχος φύλλου t, για ένα δεδομένο φορτίο σχεδιασμού (πίεση q στο φύλλο), που υπολογίζεται για δεδομένη τοποθεσία και τις συνθήκες φόρτισης. Η προσέγγιση που υιοθετείται είναι η κατάσταση οριακής αντοχής με βάση τη τάση διαρροής. Ακολουθώντας τους Ευρωκώδικες και τα Ευρωπαϊκά πρότυπα καθορίζονται οι συντελεστές ασφάλειας, γ_{Qi} (1 για την κατάσταση λειτουργικότητας και 1.5 για την κατάσταση οριακής αντοχής) και οι παράγοντες συνδυασμού φορτίων ψ_{0Qi} (1 για απλή δράση ανέμου) για τον ορισμό των τελικών φορτίων σχεδιασμού για τα φύλλα χαμηλών τούνελ υπό θετική πίεση ανέμου [5].

Επίσης οι τιμές σχεδιασμού αντίστασης του υλικού υπολογίζονται με βάση τους Ευρωκώδικες (ο συντελεστής ασφάλειας γ_{M0} υπολογίζεται 1.0 για το ανώτερο όριο της πλαστικής αντίστασης για φύλλα χαμηλών τούνελ και 1.1 για τα χαμηλά όρια της

πλαστικής αντίστασης υπό κατάσταση οριακής αντοχής). Τότε, οι καμπύλες σχεδιασμού φύλλων χαμηλών τούνελ υπό θετική πίεση q σε Pa που αντιπροσωπεύει την ανεμοπίεση $q_d = \gamma_{Q1}\, Q_{k1}$ σε Pa, υπολογισμένη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 [5], και υποθέτοντας μια τυπική πλαστική αντίσταση σχεδιασμού του φύλλου $f_{t;Rd} = \sigma_y / \gamma_{M0}$ ίση με 10 MPa, μπορεί να εκφραστούν αναλυτικά μέσω ενός πολυωνύμου δευτέρου βαθμού [8] που συσχετίζει τα φορτία σχεδιασμού q_d σε Pa με την αντίσταση των τόξων L σε m και το πάχος του φύλλου t σε μ:

$$q_d = \gamma_{Q_1}\, Q_{k1} = (\frac{t}{40})(895.45L^2 - 2475.20L + 2055.60) \qquad (2)$$



Σχήμα 1. Καμπύλες κανονικοποιημένων πιέσων – ενεργών τάσεων, για επίπεδη λωρίδα χαμηλού τούνελ μήκους L και πάχους t, στηριγμένης στα άκρα από τα δύο τόξα, με μεταβλητούς λόγους t/L: ◇, t=60 μ, L=1 m; □, t=30 μ, L=1 m; △, t=20 μ, L=0.5 m; X, t=60 μ, L=1 m. Προσομοίωση πεπερασμένων στοιχείων για καμπύλη λωρίδα φύλλου πλάτους b=8 cm; ✱, t=60 μ, L=1 m, και καμπύλη λωρίδα φύλλου πλάτους b=20 cm

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΤΟΥΝΕΛ

3.1 Πειράματα πλήρους κλίμακας

Βιοδιασπώμενα και κλασικά φύλλα πολυαιθυλενίου χρησιμοποιήθηκαν σαν υλικά κάλυψης τυπικών χαμηλών τούνελ σε πειράματα πλήρους κλίμακας στον πειραματικό αγρό των Σπάτων καθώς και σαν φύλλα εδαφοκάλυψης. Ο σχεδιασμός των χαμηλών τούνελ έγινε για ανεμοπίεση σχεδιασμού σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω [8]. Η εξέλιξη της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών αυτών με την γήρανση υπό πραγματικές συνθήκες καλλιέργειας σε αγρό σε διάστημα τριών καλλιεργητικών περιόδων μελετήθηκε συστηματικά με έλεγχο κρίσιμων μηχανικών ιδιοτήτων [9], καθώς και άλλων φυσικοχημικών ιδιοτήτων [9]. Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και παραγωγής κάθε νέας ομάδας πειραματικού φύλλου βασιζότανε στην συστηματική αξιολόγηση της συνολικής συμπεριφοράς της προηγούμενης ομάδας φύλλων καθώς και σε αναλυτικές μεθόδους. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η αξιολόγηση της μηχανικής συμπεριφοράς της τρίτης ομάδας υλικών που εξετέθησαν στον πειραματικό αγρό του Γ.Π.Α. σε καλλιέργεια καρπουζιού. Η ομάδα αυτή των υλικών αποτελείται

από τα βιοδιασπώμενα φύλλα L1 και L2 πάχους 30 μ που παρήχθησαν σε εμπορική γραμμή παραγωγής φύλλων LDPE, το βιοδιασπώμενο φύλλο L3 που είχε παραχθεί με βελτιστοποιημένες διεργασίες παραγωγής τροποποιημένες σύμφωνα με τις απαιτήσεις των συγκεκριμένων βιοδισπώμενων υλικών και το φύλλο πολυαιθυλενίου L0. Ο πειραματικό αγρός φαίνεται στην **Εικόνα 1**. Οι πειραματική καλλιέργεια άρχισε αργά τον Απρίλιο με τοποθέτηση των φύλλων εδαφοκάλυψης ενώ τα φύλλα χαμηλών τούνελ τοποθετήθηκαν σε πλαστικά τόξα 50 cm ύψους και 60 cm πλάτους. Τις ζεστές μέρες του Μαΐου έγιναν ανοίγματα αερισμού. Τα φύλλα απομακρύνθηκαν τέλος Μάιου.

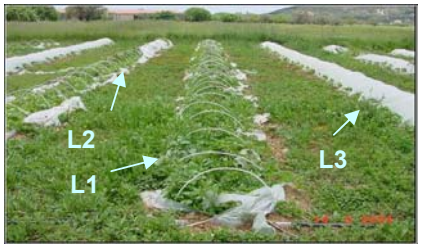
3.2. Αποτελέσματα

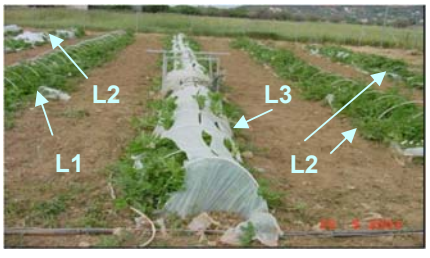
Τα αποτελέσματα των πειραμάτων πλήρους κλίμακας, όπως παρουσιάζονται στην **Εικόνα 2**, δείχνουν μια εξαιρετική συμπεριφορά για τα βιοδιασπώμενα φύλλα χαμηλών τούνελ L3 που είχαν παραχθεί με βελτιστοποιημένες διεργασίες παραγωγής. Αντίθετα, τα βιοδιασπώμενα φύλλα L1,L2 που είχαν παραχθεί σε εμπορική γραμμή παραγωγής φύλλων πολυαιθυλενίου, με τις κλασικές διεργασίες και παραμέτρους σχεδιασμένες για πολυαιθυλένιο, παρουσίασαν σημαντικά προβλήματα μηχανικής συμπεριφοράς και πρόωρες αστοχίες που θα έθεταν σε κίνδυνο τις καλλιέργειες υπό δυσμενείς συνθήκες. Η εξέταση της μηχανικής συμπεριφοράς των βιοδιασπώμενων υλικών στο εργαστήριο [**Error! Bookmark not defined.**] δεν δικαιολογεί όμως αυτή την σημαντική διαφοροποίηση συμπεριφοράς μεταξύ των υλικών L1, L2 έναντι του L3. Ο έλεγχος έδειξε ότι τα τρία φύλλα είχαν παρόμοια μηχανική συμπεριφορά όσον αφορά τις οριακές αντοχές τους. Επαναλήφθηκαν δύο πειράματα μικρής κλίμακας το καλοκαίρι για να επιβεβαιωθεί η συμπεριφορά των φύλλων αυτών υπό συνθήκες έκθεσης σε συνθήκες αγρού. Και πραγματικά η ίδια συμπεριφορά με αυτή των πειραμάτων πλήρους κλίμακας επιβεβαιώθηκε (**Εικόνα 3**).

Όσον αφορά στα φορτία ανέμου που προκάλεσαν την αστοχία των βιοδιασπώμενων φύλλων (Πίνακας 1), τα φύλλα με ονομαστικό πάχος 30 μ και με δεδομένη απόσταση τόξων 80 cm (με βάση την εξίσωση **Error! Reference source not found.**) και η οποία είναι σαφώς κάτω από τις μέγιστες επιτρεπόμενες αποστάσεις τόξων, δεν θα έπρεπε να είχαν υποστεί αστοχία υπό τις συγκεκριμένες μέγιστες ανεμοπιέσεις που μετρήθηκαν τις αντίστοιχες περιόδους.

(α)

(β)

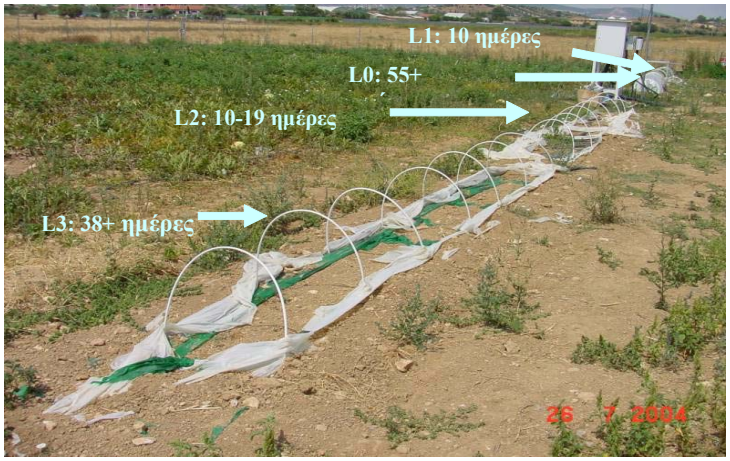




(γ) (δ)

Εικόνα 2: Φύλλα χαμηλών τούνελ μετά την εγκατάσταση (α), και μετά 30 (β), 40 (γ) και 50 (δ) ημέρες έκθεσης.

Αυτή η συστηματικά διαφοροποιημένη συμπεριφορά που παρατηρήθηκε μεταξύ των βιοδιασπόμενων φύλλων L1, L2 και του βιοδιασπώμενου φύλλου L3 ήταν δύσκολο να ερμηνευθεί και δεν μπορούσε να δικαιολογηθεί από την ανάλυση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών στο εργαστήριο. Διερευνήθηκαν παράμετροι σχετικά με τις διεργασίες παραγωγής των φύλλων μια και τα φύλλα L1, L2 παρήχθησαν με την εμπορική γραμμή παραγωγής φύλλων πολυαιθυλενίου (διεργασία B) σε αντίθεση με τα φύλλα L3 που παρήχθησαν με βελτιστοποιημένη διεργασία παραγωγής (διεργασία A). Αποδείχθηκε ότι τα πάχη του φύλλου πολυαιθυλενίου και του βιοδιασπώμενου φύλλου L3 που παρήχθησαν με την διεργασία A είναι κοντά στις αντίστοιχες ονομαστικές τιμές πάχους (**Πίνακας 3**). Για τα βιοδιασπώμενα φύλλα L1 και L2, που παρήχθησαν με την διεργασία B οι διαφορές στα πραγματικά και ονομαστικά πάχη είναι πολύ σημαντικές. Η απόσταση των τόξων των χαμηλών τούνελ (L=0.80 m) που αρχικά είχε υπολογισθεί με βάση το ονομαστικό πάχος των 30 μ υπολογίσθηκε και πάλι με βάση τα πραγματικά πάχη, σύμφωνα με την διαδικασία σχεδιασμού του [9] (**Πίνακας 2**). Είναι πλέον εύκολα αντιληπτό ότι τα βιοδιασπώμενα φύλλα L1 και L2 εξετέθησαν σε πολύ μεγαλύτερες τάσεις σε σχέση με αυτές στις οποίες εξετέθησαν τα φύλλα L3 και L0.



Εικόνα 3: Η κατάσταση των χαμηλών τούνελ στα πειράματα μικρής κλίμακας του καλοκαιριού μετά από έκθεση 55 ημερών

Το γεγονός ότι το πραγματικό πάχος των βιοδιασπώμενων φύλλων L1 και L2 ήτανε περίπου t=15 μ εξηγεί πολύ καλά την πρόωρη αστοχία που παρατηρήθηκε με τα φύλλα αυτά υπό τις δεδομένες ταχύτητες ανέμου λαμβάνοντας υπ΄ όψη της μέγιστες ταχύτητες ανέμου που μετρήθηκαν (Πίνακας 1). Με βάση αυτά τα αποτελέσματα σχεδιάστηκε ένα τρίτο πείραμα μικρής κλίμακας τον χειμώνα του 2004-2005 για να διερευνηθεί η επίδραση του πραγματικού πάχους των φύλλων.

3.3 Πειράματα μικρής κλίμακας Χειμώνα

Τα ίδια φύλλα που είχαν αποθηκευθεί για μακρά περίοδο σε μη-ελεγχόμενες συνθήκες κοντά στον πειραματικό αγρό, χρησιμοποιήθηκαν για το χειμερινό πείραμα μικρής

κλίμακας. Το φύλλα εγκαταστάθηκαν στις 16/12/04. Τα χαμηλά τούνελ σχεδιάστηκαν αυτή τη φορά με βάση τα πραγματικά πάχη σύμφωνα με την διαδικασία του [9]: L0, *t*=50.0 μ: *L*=1.10 m; L1, t=20.0 μ: *L*=0.50 m; L2, *t*=16.8 μ: *L*=0.40 m; L3: *t*=30.0 μ: *L*=0.80 m. Δύο παρατηρήσεις έγιναν στη διάρκεια του πειράματος αυτού:

1. Το φύλλο L3 παρουσίασε ευαισθησία σε σχίσιμο κατά μήκος δίπλωσης στην κορυφή του τούνελ (το φύλλο αυτό που παρήχθη με την διεργασία Α διπλωνότανε στη διάρκεια της περιτύλιξης λόγω του μικρού μεγέθους της μηχανής παραγωγής). Αυτή η πρόωρη αστοχία αποδίδεται στην σταδιακή βιοδιάσπαση του υλικού στη δίπλωση κατά την διάρκεια μακράς αποθήκευσης υπό μη ελεγχόμενες συνθήκες.
2. Τα φύλλα L1 και L2 επέδειξαν πολύ καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με την συμπεριφορά τους την καλοκαιρινή περίοδο παρά τη μακρά αποθήκευσή τους υπό μη ελεγχόμενες συνθήκες. Τα φύλλα αυτά δεν διπλωνότανε κατά την παραγωγή τους λόγω παραγωγής τους από μεγάλη μηχανή.

Τα βιοδιασπώμενα φύλλα καταστράφηκαν τελικά κατά την διάρκεια ισχυρής καταιγίδας στις 17 Ιανουαρίου (μετά από 32 ημέρες έκθεσης). Η ταχύτητα του ανέμου στα 10 m ύψος ήταν 15 m/s (**Πίνακας 3**) ενώ η διάρκεια των διαστημάτων ριπής μεγάλης ταχύτητας ήταν μεγάλη. Επειδή η διαδικασία σχεδιασμού [9] των χαμηλών τούνελ στην περιοχή έγινε με βάση ταχύτητα ανέμου 18 m/s, μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι το φύλλο L0 συμπεριφέρθηκε πολύ καλά στην καταιγίδα, όπως αναμενότανε από τον σχεδιασμό. Τα βιοδιασπώμενα φύλλα L1 και κυρίως το φύλλο L2 υπέστησαν σημαντική καταστροφή κατά την διάρκεια της καταιγίδας.

Πίνακας 1. Παράμετροι σχεδιασμού πειραματικών χαμηλών τούνελ

Πειραματική περίοδος	Διεύθυνση ανέμου	Μέγιστη ταχύτητα ανέμου στα 10 m (m/s)	Μέγιστη ανεμοπίεση στο τούνελ [**Error! Bookmark not defined.**] (Pa)	Μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση τόξων [**Error! Bookmark not defined.**] (m)** Για φύλλο πάχους (μ): 60	40	30	20	15
Πειράμτα πλήρους κλίμακας (4 Απριλίου-Ιούλιος)	*Ανατολή Δύση* (4 Απριλίου-Μάιος)	*12.00 (14/4) 9.0 (7/5)*	342.0 256.0	* *	1.45 *	1.03 1.43	0.76 0.95	0.58 0.77
Πειράμάτα μικρής κλίμακας καλοκαιριού (Ιούνιος 1/6-27/6)	*Βορράς-Νότος* (Ιούνιος 1/6-21/6)	*8.00 (5/6)*	228.0	*	*	*	1.03	0.84
Πειράμάτα μικρής κλίμακας καλοκαιριού (Ιούλιος 1/7-26/7)	*Βορράς-Νότος* (Ιούλιος 1/7-26/7)	*11.30 (20/7)*	322.0	*	*	1.07	0.81	0.63

(*) L απόσταση τόξων εξαρτάται από τον σχεδιασμό των τόξων και όχι του φύλλου
(**) L απόσταση τόξων που χρησιμοποιήθηκε ήτανε 0.80 m.

Πίνακας 2. Αποστάσεις σχεδιασμού τόξων και πάχη φύλλων

Φύλλο	Ονομαστικό πάχος, μ	Πραγματικό πάχος, μ	Απόσταση τόξων στα πειράματα πλήρους	Μέγιστη απόσταση σχεδιασμού τόξων

			κλίμακας, m	[**Error! Bookmark not defined.**], m
L0	60.0	50.0	0.80	1.11
L1	30.0	15.7	0.80	0.34
L2	30.0	16.8	0.80	0.39
L3	30.0	0.39	0.80	0.95

Πίνακας 3. Παράμετροι σχεδιασμού πειραματικών χαμηλών τούνελ

Πειραματική περίοδος	Διεύθυνση ανέμου	Μέγιστη ταχύτητα ανέμου στα 10 m (m/s)	Μέγιστη ανεμοπίεση στο τούνελ [**Error! Bookmark not defined.**] (Pa)	Μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση τόξων [**Error! Bookmark not defined.**] (m) *(απόσταση τόξων χειμερινού πειράματος)* Για φύλλο πάχους (μ): 50	30	20	17
Πειράματα μικρής κλίμακας χειμώνα (Δεκέμβριος 18 – Φεβρ.)	*Βορράς-Νότος* (18-12-04 – 18-1-05)	*15.00 (17/1)*	427.5	* *(1.10)*	0.88 *(0.80)*	0.62 *(0.50)*	0.53 *(0.40)*
	Βορράς-Νότος (18-1-05 – 2-05)	9.17 *(17/2)*	261.3	* *(1.10)*	-	-	-

Μεταξύ των παραγόντων που θεωρούνται υπεύθυνοι για την αστοχία των βιοδιασπώμενων φύλλων στη καταιγίδα είναι: a) η ασθενέστερη αντίσταση όλων των βιοδιασπώμενων φύλλων σε σχέση με την αρχική τους αντοχή λόγω παρατεταμένης έκθεσης και επομένως κάποιας διαδικασίας διάσπασης (π.χ. φύλλο L3); b) η ασθενέστερη αντοχή των βιοδιασπώμενων φύλλων κοντά στη βάση όπου θάβονται στο χώμα και όπου η βιοδιάσπαση αναμένεται να είναι σαφώς πιο ενεργή. Σε αυτή ακριβώς την προσήνεμη περιοχή της βάσης τα βιοδιασπώμενα φύλλα αστόχησαν υπό συνθήκες ισχυρής τάσης και σε επαφή με το βρεγμένο χώμα, μέσα σε ένα υγρό περιβάλλον. Το κύριο συμπέρασμα από το πείραμα μικρής κλίμακας του χειμώνα είναι η επιβεβαίωση ότι η απόσταση των τόξων παραμένει ένας κρίσιμος παράγοντας σχεδιασμού των χαμηλών τούνελ με κάλυψη από βιοδιασπώμενα φύλλα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής αναμένεται να συμβάλλουν στη σωστή εκτίμηση των παραμέτρων και των δυνατοτήτων εισαγωγής βιοδιασπώμενων υλικών σαν φύλλων κάλυψης χαμηλών τούνελ στη γεωργική παραγωγή. Ο σχεδιασμός χαμηλών τούνελ καλυμμένων με βιοδιασπώμενα φύλλα και των τόξων και η βελτιστοποίηση των παραμέτρων και διεργασιών παραγωγής των φύλλων αυτών παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στην μηχανική συμπεριφορά και επάρκεια των υλικών όσο και στη τιμή τους καθώς επηρεάζουν μεταξύ άλλων και το πάχος σχεδιασμού των φύλλων.

Ευχαριστίες: Το ερευνητικό έργο 'Bioplastics: 'Biodegradable plastics for environmentally friendly mulching and low tunnel cultivation', QLK5-CT-2000-00044' έγινε με την χρηματοδότηση

της Ε.Ε. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Γ.Μακρή για την επιστασία και λειτουργία των πειραμάτων στον πειραματικό αγρό, στον Δρ. Α.Μυστριώτη για την τεχνική υποστήριξη στα μετεωρολογικά δεδομένα και την κ. Ν.Χρονοπούλου για τον εργαστηριακό έλεγχο της αντοχής των φύλλων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1 Briassoulis D. 2004. Mechanical design requirements for low tunnel biodegradable and conventional films. Biosystems Engineering, 87(2). 209-223.

2 Chandra R. and Rustgi R. 1998. Prog. Polym. Sci. 23, 1273–1335.

3 Feuilloley P. 2004. Ce plastique faussement biodégradable. La Recherche. N° 374, 52-54.

4 Briassoulis D. 2004. An Overview on the Mechanical Behaviour of Biodegradable Agricultural Films. Journal of Polymers and the Environment. 12(2), 65-81.

5 CEN. 1995. Eurocode-1: Basis of design and actions on structures- Part 2-4 : Actions on structures "Wind actions". Comite Europeen de Normalisation, Brussels.

6 CEN. 1995. Eurocode-1: Basis of design and actions on structures- Part 2-3 : Actions on structures "Snow loads". Comite Europeen de Normalisation, Brussels.

7 Briassoulis D. 2003b. Nonlinear behaviour of the RFNS element – large displacements and rotations, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 192 (26-27), 2909-2924.

8 Briassoulis D. 2005. Mechanical behaviour-full scale Mechanical Behaviour of Biodegradable Agricultural Films Under Real Field Conditions (submitted for publication).

9 G.Vox, E.hettini and G.Scarascia-Mugnozza G. (2004) "Radiometric properties of biodegradable films for horticultural protected cultivation", Greensys2004 International Conference "Sustainable Greenhouse Systems", 12-16 September 2004; Leuven, Belgium; Proceedings on CD, ISBN 907601924X; 8 pages, accepted for publication on Acta Horticulturae.

ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Νικόλαος Κατσούλας και Κωνσταντίνος Κίττας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστ., Τμ. Γεωπονίας Φ. Π. & Α. Π., Εργ. Γεωργικών Κατασκευών & Ε. Π., Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν ο χαρακτηρισμός της αεροδυναμικής αγωγιμότητας καλλιέργειας τριανταφυλλιάς υπό συνθήκες θερμοκηπίου, με τη χρήση τεχνητών φύλλων και η μελέτη της εξάρτησής της από τις εσωτερικές και εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, για τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με συγκεκριμένο άνοιγμα παραθύρου και διεύθυνση ανέμου, υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ της αεροδυναμικής αγωγιμότητας των φύλλων και της ταχύτητας του εξωτερικού ανέμου και συνεπώς, μεταξύ της αεροδυναμικής αγωγιμότητας και του ρυθμού ανανέωσης του αέρα του θερμοκηπίου.

USE OF ARTIFICIAL LEAVES FOR MONITORING AERODYNAMIC CONDUCTANCE IN GREENHOUSES

N. Katsoulas and C. Kittas

University of Thessaly, School of Agricultural Sciences, Dept. of Agriculture Crop Production and Rural Environment, Fytokou St., N. Ionia, GR-38446, Magnisia, Greece

ABSTRACT

The objective of this work was to characterize the leaf boundary-layer conductance (g_b) under greenhouse conditions, using rose leaf replicas, and to study its dependence on ventilation rate and outside conditions. The analysis of the data indicated that, for a given vent aperture and wind direction, there is a clear link-relation between g_b and the outside wind speed, and therefore between g_b and the ventilation conductance. Using this relation for expressing the global greenhouse conductance as a function of the leaf area index allowed getting a better insight on the coupling between the crop and the outside climate.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα περισσότερα προσομοιώματα του κλίματος του θερμοκηπίου και της διαπνοής της καλλιέργειας βαθμονομήθηκαν και αναπτύχθηκαν αρχικά για περιοχές και συνθήκες της Βόρειας Ευρώπης [1, 2, 3]. Στις περιοχές αυτές τα θερμοκήπια είναι γενικά, φτωχά αεριζόμενα κατά το μεγαλύτερο διάστημα του έτους και η αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας τείνει να είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτή των φυτών που αναπτύσσονται έξω από το θερμοκήπιο. Έτσι, η καλλιέργεια είναι απομονωμένη από το εξωτερικό περιβάλλον, λόγω του καλύμματος του θερμοκηπίου και η αισθητή και λανθάνουσα ενέργεια που απελευθερώνεται από την καλλιέργεια, συγκεντρώνεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια, η διαπνοή της καλλιέργειας αποκτά ένα ρυθμό «ισορροπίας» ο οποίος ελέγχεται από την καθαρή ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου [4].

Παρόλα αυτά, στις Μεσογειακές χώρες, η υψηλή θερμοκρασία και το μεγάλο έλλειμμα κορεσμού του εξωτερικού αέρα οδηγούν σε κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων των χωρών αυτών κατά πολύ διαφορετικές από αυτές των θερμοκηπίων των Βορείων χωρών. Το γεγονός της ύπαρξης παρατεταμένων περιόδων με συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής υγρασίας έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα και στην παραγωγή των μεσογειακών θερμοκηπίων. Μια από τις λύσεις των παραπάνω προβλημάτων θα ήταν να βελτιωθεί ο σχεδιασμός, ο έλεγχος και η διαχείριση των συστημάτων αερισμού των θερμοκηπίων αυτών. Αυτό, όμως, απαιτεί σε βάθος μελέτη και κατανόηση των μηχανισμών σύζευξης και ανατροφοδότησης μεταξύ της καλλιέργειας, του περιβάλλοντος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Είναι γεγονός ότι δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητό πώς ο αερισμός επηρεάζει τους μηχανισμούς αυτούς. Ειδικότερα, υπάρχουν λίγες πληροφορίες σχετικά με την αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας υπό συνθήκες θερμοκηπίου και της εξάρτησής της από το ρυθμό αερισμού του θερμοκηπίου.

Για τον υπολογισμό της αεροδυναμικής αγωγιμότητας των φύλλων στη μεταφορά θερμότητας μιας καλλιέργειας έχουν προταθεί διάφορες σχέσεις οι οποίες, όμως, παρέχουν μόνο μια προσεγγιστική εκτίμηση της αγωγιμότητας υπό συνθήκες θερμοκηπίου, λόγω, κυρίως, των δυσκολιών του προσδιορισμού των χαρακτηριστικών της ροής του αέρα κοντά στην επιφάνεια των φύλλων. Η πλέον χρησιμοποιούμενη τεχνική για τον πειραματικό προσδιορισμό της αεροδυναμικής αγωγιμότητας είναι η χρήση αισθητήρων-τεχνητών φύλλων. Κάποιοι τύποι τέτοιων αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί για τον πειραματικό προσδιορισμό της αεροδυναμικής αγωγιμότητας στον ανοιχτό αγρό [5, 6, 7, 8, 9].

Ο στόχος της εργασίας αυτής ήταν να χαρακτηριστεί η αεροδυναμική αγωγιμότητα των φύλλων μιας καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, υπό συνθήκες θερμοκηπίου, και να μελετηθεί η εξάρτησή της από την ταχύτητα του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο και από την παροχή αερισμού του θερμοκηπίου. Επιπλέον, στους στόχους της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης των τεχνητών φύλλων για τον έλεγχο του αερισμού στο θερμοκήπιο, με βάση την αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα έγιναν σε γυάλινο θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα του Βελεστίνου, κατά τη διάρκεια του Αυγούστου και Σεπτεμβρίου του

2000. Το θερμοκήπιο είναι προσανατολισμένο με κατεύθυνση B-N, (απόκλιση 36º από το βορρά 0º) έχει συνολική επιφάνεια εδάφους 200 m^2, μήκος 31 m, πλάτος 6.5 m, ύψος ορθοστάτη 2.9 m, ύψος κορφιά 4 m και συνολικό όγκο 690 m^3. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με ένα παράθυρο οροφής τοποθετημένο στη δυτική πλευρά του θερμοκηπίου, μήκους 30.5 m και πλάτους 1.70 m, το οποίο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν ανοιχτό στο μέγιστο. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν καλυμμένο με τσιμέντο.

Στο θερμοκήπιο υπήρχε εγκατεστημένη υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς (cv. First Red) σε υπόστρωμα περλίτη με πυκνότητα 6 φυτά m^{-2}. Τα φυτά ήταν διατεταγμένα σε γραμμές (απόσταση μεταξύ των γραμμών 1 m) και διαμορφωμένα με την τεχνική του λυγίσματος των βλαστών, σύμφωνα με την οποία οι βλαστοί που είναι λεπτοί και δεν πρόκειται να δώσουν καλής ποιότητας άνθη λυγίζονται και αφήνονται πλάγια. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων τα φυτά είχαν κλαδευτεί αυστηρά και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας (*LAI*) ήταν περίπου 0.8.

2.2. Τεχνητά φύλλα

Τα τεχνητά φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σύνθετα φύλλα παρόμοια με αυτά των φυτών τριανταφυλλιάς, αποτελούμενα από 5 φυλλάρια. Κάθε σύνθετο φύλλο είχε μήκος 15 cm, πλάτος 11 cm και συνολική επιφάνεια A_l 86 cm^2. Τα φύλλα ήταν κατασκευασμένα από δύο φύλλα χαλκού πάχους 0.2 mm το κάθε ένα, μεταξύ των οποίων υπήρχε καλώδιο κονσταντάνης πάχους 0.1 mm και συνολικής αντίστασης 10 Ω, το οποίο χρησιμοποιούνταν για τη θέρμανση των φύλλων. Επιπλέον, μεταξύ των φύλλων χαλκού υπήρχαν δύο φύλλα μονωτικής-κολλητικής ταινίας διπλής όψεως προκειμένου να συγκρατούνται μεταξύ τους τα φύλλα χαλκού. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των τεχνητών φύλλων χρησιμοποιούνταν 5 θερμοζεύγη χαλκού-κονσταντάνης τα οποία είχαν τοποθετηθεί μεταξύ των φύλλων χαλκού και ήταν συνδεδεμένα παράλληλα έτσι ώστε να υπολογίζεται μία μέση τιμή της θερμοκρασίας για κάθε τεχνητό φύλλο.

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν δύο ζευγάρια φύλλων τα οποία ήταν συνδεδεμένα ανά δύο σε σειρά, δημιουργώντας έτσι δύο ανεξάρτητα κυκλώματα, με το ένα φύλλο από το κάθε ζευγάρι να είναι συνδεδεμένο στο πρώτο κύκλωμα και το άλλο στο δεύτερο κύκλωμα. Διακόπτες που ελέγχονταν αυτόματα από σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων, άνοιγαν και έκλειναν την παροχή ρεύματος στα δύο κυκλώματα ανά περιόδους συνολικής διάρκειας 50 λεπτών: αρχικά διοχετεύονταν ρεύμα στο πρώτο κύκλωμα για 20 λεπτά έτσι ώστε ένα φύλλο από το κάθε ζευγάρι να θερμαίνεται και ακολουθούσε ένα διάστημα 5 λεπτών όπου κανένα φύλλο δεν θερμαίνονταν. Στη συνέχεια διοχετεύονταν ρεύμα στο δεύτερο κύκλωμα και ακολουθούσε και πάλι ένα διάστημα 5 λεπτών όπου κανένα φύλλο δεν θερμαίνονταν πριν αρχίσει ο κύκλος και πάλι από την αρχή. Οι περίοδοι χωρίς θέρμανση των φύλλων ήταν απαραίτητοι προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι όποιες διαφορές θερμοκρασίας υπήρχαν μεταξύ των φύλλων, πριν τη θέρμανσή τους, και οι οποίες προκαλούνταν από αστάθμητους παράγοντες όπως π.χ. διαφορετική σκίαση των φύλλων. Η θέρμανση των φύλλων γινόταν με παροχή συνεχούς ρεύματος με την εφαρμογή διαφοράς δυναμικού μεταξύ των άκρων του κυκλώματος από 4 έως 10 Volt, προκειμένου να επιτυγχάνονται διαφορετικές διαφορές θερμοκρασίας φύλλων-αέρα. Η ισχύς P_i (W) που παρέχονταν ανά m^2 επιφάνειας φύλλου ήταν:

$$P_i = R_l \, Ip^2 \Big/ 2A_l \qquad (1)$$

όπου *Ip* (Amp) η ένταση του ρεύματος στο κύκλωμα των τεχνητών φύλλων.

2.3. Μετρήσεις

α) Με συχνότητα καταγραφής 5 sec καταγραφόταν η θερμοκρασία των τεχνητών φύλλων σε °C, με τη βοήθεια θερμοζευγών χαλκού-κονσταντάνης (τύπος T, διάμετρος καλωδίου 0.1 mm, Omega, UK), η θερμοκρασία μέσα και έξω από το θερμοκήπιο σε °C, με τη βοήθεια αεριζόμενων ψυχρομέτρων (τύπος VP1, Delta-T Devices, Cambridge, UK), η ηλιακή ακτινοβολία μέσα και έξω από το θερμοκήπιο σε W m^{-2} με τη βοήθεια πυρανομέτρων (τύπος CM-6, Kipp and Zonen, Delft, Netherlands) και η εξωτερική ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, με τη βοήθεια ενός ανεμομέτρου κυπέλλων (model AN1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, U.K.) και ενός ανεμοδείκτη (model WD1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, U.K.), αντίστοιχα.

β) Με συχνότητα καταγραφής 1 sec καταγραφόταν οι x, y και z συνιστώσες (u_x, u_y, u_z) της ταχύτητας του αέρα (m s^{-1}) μέσα στο θερμοκήπιο και πολύ κοντά στα τεχνητά φύλλα, με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου ηχητικού ανεμομέτρου (τύπος R3-50 Ultrasonic Research Anemometer, Gill Instruments Ltd. U.K.). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο έγιναν κατά τη διάρκεια λίγων ημερών του Αυγούστου, κατά τη διάρκεια των οποίων επικρατούσε σταθερή διεύθυνση ανέμου παράλληλη με τον κορφιά του θερμοκηπίου.

Όλες οι παραπάνω μετρήσεις συλλεγόταν και καταγραφόταν σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (τύπος DL3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK).

2.4. Υπολογισμοί

2.4.1. Ταχύτητα του αέρα στο θερμοκήπιο.

Η μέση ταχύτητα του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο u_i (m s^{-1}) υπολογιζόταν από τις μετρήσεις των τριών συνιστωσών του αέρα:

$$u_i = (u_x^2 + u_y^2 + u_z^2)^{0.5} \quad (2)$$

2.4.2. Αεροδυναμική αγωγιμότητα φύλλων.

Η αεροδυναμική αγωγιμότητα των φύλλων g_b (m s^{-1}) στη μεταφορά της θερμότητας από την επιφάνεια των φύλλων στον αέρα μπορεί να υπολογιστεί από το συνδυασμό των εξισώσεων που περιγράφουν το ενεργειακό ισοζύγιο των θερμαινόμενων και μη τεχνητών φύλλων. Το ενεργειακό ισοζύγιο ενός θερμαινόμενου φύλλου δίνεται από τη σχέση:

$$Rn_H + P_i = \rho\, C_p\, (T_{l,H} - T_i)\, g_b \quad (3\alpha)$$

ενώ ενός μη θερμαινόμενου φύλλου δίνεται από τη σχέση:

$$Rn_U = \rho\, C_p\, (T_{l,U} - T_i)\, g_b \quad (3\beta)$$

όπου Rn_H και Rn_U (W m^{-2})είναι η καθαρή ακτινοβολία που απορροφάται από τα θερμαινόμενα και τα μη θερμαινόμενα φύλλα αντίστοιχα, $T_{l,H}$ και $T_{l,U}$ (°C) είναι η θερμοκρασία των θερμαινόμενων και μη φύλλων αντίστοιχα, T_i (°C) η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, ρ (kg m^{-3}) και C_P (J kg^{-1} $°C^{-1}$) η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα του αέρα, αντίστοιχα. Αν τα δύο φύλλα είναι τοποθετημένα ομοιόμορφα, πολύ κοντά το ένα στο άλλο, μπορεί να γίνει δεκτή η υπόθεση ότι $Rn_H = Rn_U$ και έτσι, από τις εξισώσεις (3α) και (3β) προκύπτει:

$$g_b = P_i \Big/ \rho C_p (T_{l,H} - T_{l,U}) \quad (4)$$

2.4.3. Αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου.

Η αεροδυναμική αγωγιμότητα στη μεταφορά ενέργειας μεταξύ του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου και του εξωτερικού αέρα g_v (m s^{-1}) δίνεται από τη σχέση:

$$g_v = G / A_g \quad (5)$$

όπου G και A_g η παροχή αερισμού ($m^3\ s^{-1}$) και η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου (m^2), αντίστοιχα. Η παροχή αερισμού υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$G = 0.5\ S\ C_d C_w^{0.5}\ u_o \quad (6)$$

όπου u_o η ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου, S (m^2) η επιφάνεια των ανοιγμάτων αερισμού και $C_d C_w^{0.5}$ ο συντελεστής επίδρασης του ανέμου, με τιμή ίση με 0.13 (αδημοσίευτα αποτελέσματα).

2.5. Επεξεργασία και ανάλυση

Οι μέσες τιμές της g_b ανά περίοδο 20 λεπτών υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της εξ. (4). Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων, αν πριν την περίοδο των 20 λεπτών θέρμανσης υπήρχε διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας των δύο φύλλων του ίδιου ζευγαριού (θερμαινόμενο και μη), μεγαλύτερη των 0.8ºC τα δεδομένα δεν χρησιμοποιούνταν. Παράλληλα, για το ίδιο χρονικό διάστημα, υπολογίστηκε η μέση τιμή της ταχύτητας του αέρα κοντά στα τεχνητά φύλλα.

Οι μετρήσεις έγιναν κατά το χρονικό διάστημα Αυγούστου- Σεπτεμβρίου του 2000 και τα δεδομένα που επιλέχθηκε να παρουσιασθούν στην εργασία αυτή αντιστοιχούν σε περιόδους με σταθερή διεύθυνση εξωτερικού ανέμου, παράλληλη με τον κορφιά του θερμοκηπίου, με τα παράθυρα του θερμοκηπίου στο μέγιστο άνοιγμα. Τα τεχνητά φύλλα είχαν τοποθετηθεί οριζόντια: (α) μεταξύ των φύλλων των ανθοφόρων βλαστών των φυτών τριανταφυλλιάς, σε ύψος 40 cm από το έδαφος (16 Αυγούστου) και (β) σε δύο διαφορετικά ύψη ήτοι: 25 cm και 75 cm, κοντά στη βάση και την κορυφή των φυτών, αντίστοιχα (20 Σεπτεμβρίου).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Ταχύτητα του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο

Στο *Σχήμα 1* παρουσιάζεται η σχέση των μετρημένων τιμών της ταχύτητας του αέρα μέσα (u_i) και της ταχύτητας του ανέμου έξω (u_o) από το θερμοκήπιο (μέσες τιμές ανά 20 λεπτά). Η σχέση που βρέθηκε μεταξύ των τιμών της ταχύτητας του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο ήταν:

$$u_i = 0.061\ u_o + 0.16 \quad (7)$$

με τιμή για το συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0.75$. Οι Wang et al. [10], με μετρήσεις σε ένα διπλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο, βρήκαν παρόμοιες σχέσεις μεταξύ των ταχυτήτων του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.

3.2. Αεροδυναμική αγωγιμότητα των φύλλων

3.2.1. Συσχέτιση με την ταχύτητα του αέρα.

Η σχέση που βρέθηκε μεταξύ των μετρημένων τιμών της αεροδυναμικής αγωγιμότητας (g_b) και της u_o, για το εύρος των μετρήσεων της εργασίας αυτής και για σταθερή διεύθυνση εξωτερικού ανέμου παρουσιάζεται στο *Σχήμα 2* και δίνεται παρακάτω:

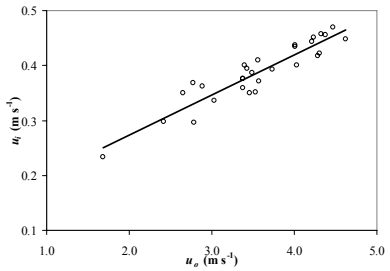
$$g_b = 0.89\ u_o + 2.9 \quad (8)$$

για την 16η Αυγούστου, με R^2 =0.76.

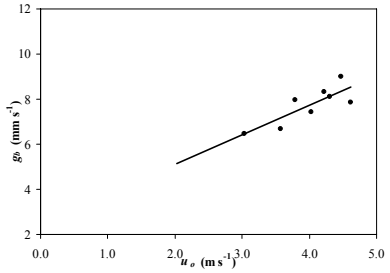
Λόγω της γραμμικής σχέσης μεταξύ των u_o και u_i [εξ. (7)], βρέθηκε παρόμοια σχέση μεταξύ της g_b και της u_i:

$$g_b = 12.5\ u_i + 1.3 \quad (9)$$

για την 16η Αυγούστου, με R^2 =0.74.



Σχήμα 1. Σχέση μεταξύ των μετρημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου μέσα (u_i) και έξω (u_o) από το θερμοκήπιο.



Σχήμα 2. Αεροδυναμική αγωγιμότητα των φύλλων (g_b) συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου έω (u_o) από το θερμοκήπιο

Από την εξίσωση (9), γνωρίζοντας τις τιμές της g_b, είναι δυνατό να υπολογιστεί η ταχύτητα του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο, και συνεπώς, τα τεχνητά φύλλα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα σε συνθήκες θερμοκηπίου, μέσα στην καλλιέργεια.

Κατά τη διάρκεια της 16ης Αυγούστου, τα τεχνητά φύλλα ήταν τοποθετημένα σε ύψος περίπου 40 cm από το έδαφος. Προκειμένου να γίνει σύγκριση των τιμών της g_b σε διάφορα επίπεδα, μέσα και πάνω από την καλλιέργεια, κατά τη διάρκεια μιας άλλης ημέρας (20 Σεπτεμβρίου, μεγαλύτερο *LAI*) τα τεχνητά φύλλα τοποθετήθηκαν σε δύο επίπεδα, χαμηλότερα και ψηλότερα από ότι στις 16 Αυγούστου και συγκεκριμένα τοποθετήθηκαν σε ύψος 25 cm, κοντά στους βλαστούς της βάσης του φυτού και σε ύψος 75 cm, κοντά στην κορυφή των ανθοφόρων βλαστών των φυτών.

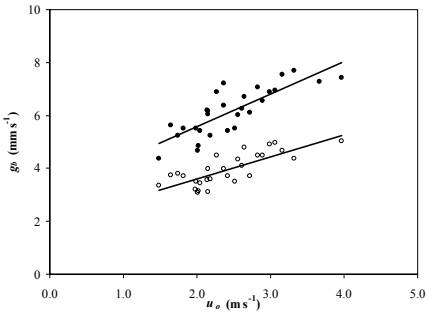
Τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων της g_b παρουσιάζονται συναρτήσει της u_o, στο *Σχήμα 3*. Οι σχέσεις που βρέθηκαν μεταξύ της g_b και της u_o, ήταν:

$$g_b = 0.83\ u_o + 1.95 \qquad (10\alpha)$$

για τα φύλλα που ήταν τοποθετημένα σε ύψος 25 cm, με τιμή $R^2 = 0.60$ και

$$g_b = 1.23\ u_o + 3.11 \qquad (10\beta)$$

για τα φύλλα που ήταν τοποθετημένα σε ύψος 75 cm, με τιμή $R^2 = 0.66$.



Σχήμα 3. Αεροδυναμική αγωγιμότητα των φύλλων (g_b) συναρτήσει της ταχύτητας του εξωτερικού ανέμου (u_o). Οι ευθείες γραμμές επιτεύχθηκαν με γραμμική παλινδρόμηση. (●): χαμηλή θέση (25 cm), (▲): υψηλή θέση (75 cm).

Έτσι, σύμφωνα με τις εξ. (10) και το *Σχήμα 3* φαίνεται ότι για μία ταχύτητα εξωτερικού ανέμου u_o= 3 m s^{-1}, η τιμή της g_b που μετρήθηκε σε ύψος 25 cm ήταν περίπου 4.4 mm s^{-1}, ενώ σε ύψος 75 cm ήταν 6.8 mm s^{-1}αυξημένη δηλαδή κατά 35% περίπου. Οι τιμές αυτές της αεροδυναμικής αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για τα επίπεδα των τιμών της g_b μέσα και πάνω από την καλλιέργεια.

3.2.2. Συσχέτιση με την αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου.

Σύμφωνα με τις εξ. (5) και (6), η αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου g_v είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου u_o, ενώ, σύμφωνα με την εξ. (8) η g_b και η u_o σχετίζονται γραμμικά. Έτσι, παρατηρήθηκε γραμμική σχέση μεταξύ της g_b και της g_v. Η σχέση που βρέθηκε να συνδέει τις δύο μεταβλητές για την 16^η Αυγούστου, ήταν:

$$g_b = 0.11\, g_v + 2.9 \qquad (11)$$

με $R^2 = 0.76$.

3.3. Ολική αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου

Υποθέτοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση ης καλλιέργειας $1/g_a$ (= 1/2 $LAI\, g_b$) και η αεροδυναμική αντίσταση του θερμοκηπίου $1/g_v$, είναι συνδεδεμένες σε σειρά, η ολική αεροδυναμική αγωγιμότητα στη μεταφορά ενέργειας από την επιφάνεια των φύλλων στο εξωτερικό περιβάλλον g_g, μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$g_g = \frac{2\, LAI\; g_b\, g_v}{2\, LAI\; g_b + g_v} \qquad (12)$$

Χρησιμοποιώντας τη γραμμική σχέση που βρέθηκε μεταξύ των g_b και g_v, [εξ. (11)], η εξ. (12) μπορεί να γραφεί ως:

$$g_g(LAI) = \frac{\alpha\, LAI}{b\, LAI + c} \qquad (13)$$

όπου *a, b* και *c* είναι συναρτήσεις της g_v. Από την εξ. (13) φαίνεται ότι για ένα δεδομένο ρυθμό ανανεώσεων του αέρα, η ολική αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου είναι συνάρτηση, υπερβολικής μορφής, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας.

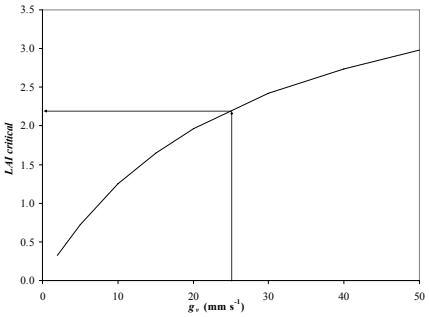
Καθώς οι αεροδυναμικές αντιστάσεις της καλλιέργειας και του θερμοκηπίου είναι συνδεδεμένες σε σειρά η μικρότερη από τις αντίστοιχες αγωγιμότητες g_a και g_v θα είναι ο περιοριστικός παράγοντας που θα καθορίζει το μέγεθος της ροής ενέργειας από την επιφάνεια της καλλιέργειας στον εξωτερικό αέρα. Έτσι, είναι δυνατό να υπολογιστεί μία

κρίσιμη τιμή της αεροδυναμικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας g_a και συνεπώς μία κρίσιμη τιμή του *LAI*, για την οποία καμία από τις δύο αγωγιμότητες δε θα είναι περιοριστικός παράγοντας, δηλαδή να είναι $g_a = g_v$. Χρησιμοποιώντας την εξ. (11) η οποία συνδέει τις g_b και g_v, και λύνοντας τη σχέση $g_a = 2\ LAI\ g_b$ ως προς *LAI* έχουμε:

$$LAI_c = g_v/(0.22\ g_v + 5.8) \qquad (14)$$

όπου LAI_c είναι η κρίσιμη τιμή του *LAI* για την οποία ισχύει $g_a = g_v$. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στο *Σχήμα* 4, όπου φαίνεται ότι για τιμές της αεροδυναμικής αγωγιμότητας του θερμοκηπίου παρόμοιες με αυτές που παρατηρούνται σε θερμοκήπια με φυσικό αερισμό, μεταξύ 20 και 30 mm s^{-1}, προκειμένου να μην περιοριστούν οι ανταλλαγές ενέργειας με το εξωτερικό περιβάλλον, λόγω των χαμηλών τιμών της αεροδυναμικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας, η καλλιέργεια θα πρέπει να έχει δείκτη φυλλικής επιφάνειας μεγαλύτερο από 2.2.

Έτσι, το *Σχήμα 4* δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης των προβλημάτων που σχετίζονται με τον έλεγχο του μικροκλίματος σε θερμοκήπια των Μεσογειακών χωρών με καλλιέργειες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όπου επικρατούν υψηλά φορτία ακτινοβολίας. Φαίνεται, λοιπόν, ότι πέρα από την αποδοτικότητα ενός συστήματος αερισμού να επιτυγχάνει υψηλούς ρυθμούς αερισμού, η αποτελεσματικότητα με την οποία η αισθητή και λανθάνουσα ενέργεια αποβάλλεται από το θερμοκήπιο, εξαρτάται ισχυρά από το μέγεθος της φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας.



Σχήμα 4. Κρίσιμες τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας LAI κάτω από τις οποίες η αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας g_a αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα στις ανταλλαγές ενέργειας της καλλιέργειας με το εξωτερικό περιβάλλον.

Τα μεγαλύτερα προβλήματα εμφανίζονται με τις καλλιέργειες οι οποίες έχουν χαμηλό *LAI*, δηλαδή μικρή επιφάνεια ανταλλαγής ενέργειας και υδρατμών, οι οποίες περιορίζουν δραστικά με αυτό τον τρόπο αυτό την τιμή της ολικής αεροδυναμικής αγωγιμότητας του θερμοκηπίου και το δροσισμό του θερμοκηπίου μέσω της διαπνοής [11]. Υψηλές τιμές ανανεώσεων του αέρα του θερμοκηπίου δε φαίνεται να είναι αποδοτικές για τη μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου [12], και για το λόγο αυτό απαιτούνται άλλες μέθοδοι ψύξης του θερμοκηπίου, όπως η σκίαση [13] ή ο δροσιμός με εξάτμιση [14]. Θερμοκήπια με καλλιέργειες με μεγάλο *LAI*, φαίνεται να έχουν το πλεονέκτημα της αύξησης της τιμής της ολικής αεροδυναμικής αγωγιμότητας του θερμοκηπίου και της ψύξης με εξάτμιση μέσω της διαπνοής, απαιτούν όμως έναν ελάχιστο ρυθμό αερισμού προκειμένου να μεταφέρουν την αισθητή θερμότητα και τους παραγόμενους από τη διαπνοή υδρατμούς, έξω από το θερμοκήπιο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή, για συγκεκριμένη διεύθυνση εξωτερικού ανέμου και δεδομένο άνοιγμα παραθύρου του θερμοκηπίου, βρέθηκε μία γραμμική σχέση μεταξύ της ταχύτητας του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει προηγούμενα αποτελέσματα που αναφέρουν ότι για μεγάλες τιμές της ταχύτητας του ανέμου, τα χαρακτηριστικά της ροής του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο συνδέονται άμεσα με αυτά της ροής του εξωτερικού αέρα. Κατά τον ίδιο τρόπο, οι τιμές της αεροδυναμικής αγωγιμότητας των φύλλων μέσα στο θερμοκήπιο βρέθηκε να έχουν, για το εύρος των μετρήσεων που παρουσιάστηκαν στην εργασία αυτή, γραμμική σχέση με την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου και συνεπώς και με την αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιώντας τη σχέση αυτή κατέστη δυνατό να εκφραστεί η ολική αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου συναρτήσει της φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας, επιτρέποντας έτσι τη μελέτη των συνθηκών σύζευξης μεταξύ της καλλιέργειας και του εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου.

Τέλος, τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην εργασία αυτή επιβεβαιώνουν ότι τα τεχνητά φύλλα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες με εφαρμογές στην αξιολόγηση της λειτουργίας των συστημάτων αερισμού των θερμοκηπίων, καθώς δίνουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την αεροδυναμική αγωγιμότητα των φύλλων και την ταχύτητα του ανέμου στο επίπεδο της καλλιέργειας. Παρόλα αυτά, για να χρησιμοποιηθούν στον έλεγχο του μικροκλίματος του θερμοκηπίου σε μεγαλύτερη-εμπορική κλίμακα, θα πρέπει πρώτα να τροποποιηθούν και να απλοποιηθούν έτσι ώστε να μπορέσουν να ενσωματωθούν στα συστήματα αυτά.

Βιβλιογραφία

1. Stanghellini, C. 1987. Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management. *PhD Thesis, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands*, 150 pp.
2. Yang, X., Short, T. H., Robert, D. F. and Bauerle, W. L. 1990. Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance of a cucumber crop. *Agric. For. Meteorol*. 51(3-4): 197-209.
3. Jolliet, O. and Bailey, B. J. 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agric. For. Meteorol*. 58(1-2): 43-62.
4. Jarvis, P. G. 1985. Coupling of transpiration to the atmosphere in horticultural crops: the omega factor. *Acta Hort.* 171: 187-205
5. Domingo, F., Gardingen, P.R. and Brenner, A.J. 1996. Leaf boundary layer conductance of two native species in southest Spain. *Agric. For. Meteorol*. 81(3-4): 179-199.
6. Smith, M. D., Jarvis, P. G. and Odongo, J. C. W. 1997. Aerodynamic conductance of trees in windbreaks. *Agric. For. Meteorol*. 86(1-2): 17-31.
7. Daudet, F.A., Silvestre, J., Ferreira, M.I., Valancogne, C. and Pradelle, F. 1998. Leaf boundary layer conductance in a vineyard in Portugal. *Agric. For. Meteorol*., 89(3-4): 255-267.
8. Grantz, D.A. and Vaughn, D.L. 1999. Vertical profiles of boundary layer conductance and wind speed in a cotton canopy measured with heated brass surrogate leaves. *Agric. For. Meteorol*. 97(3): 187-197.
9. Daudet, F.A., Roux, X. Le, Sinoquet, H. and Adam, B. 1999. Wind speed and leaf boundary layer conductance variation within tree crown. Consequences on leaf-to-atmosphere coupling and tree functions. *Agric. For. Meteorol*. 97(3): 171-185.

10. Katsoulas, N. Baille, A. and Kittas, C. 2002. Influence of leaf area index on canopy energy partitioning and greenhouse cooling requirements. *Biosyst. Engin*. 83(3): 349-359.
11. Wang, S. Boulard, T. and Haxaire, R. 1999. Air speed profiles in a naturally ventilated greenhouse with a tomato crop. *Agric. For. Meteorol*. 96(4): 181-188.
12. Kittas, C. Katsoulas, N. Baille, A. 2001. Influence of greenhouse ventilation regime on microclimate and energy partitioning of a rose canopy during summer conditions. *J. Agric. Eng. Res*. 79(3): 349-360.
13. Baille, A., Kittas, C., Katsoulas, N. 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agric. For. Meteorol*. 107(4): 293-306.
14. Katsoulas, N. Baille, A. Kittas, C. 2001. Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. *Agric. For. Meteorol*. 106(3): 233-247.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΥΡΒΗΣ

Α. Σαπουνάς[1], Θ.Μπαρτζάνας[2], Χ. Νικήτα – Μαρτζοπούλου[3], Κ.Κίττας[2]
[1]Κέντρο Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών, Αγρόκτημα Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θέρμη 57001, Θεσσαλονίκη
[2]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος. Οδός Φυτόκου Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38334 Βόλος
[3]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών & Εξοπλισμού, Θεσσαλονίκη 54124 (229)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο αριθμός εναλλαγών του αέρα κατά τη διαδικασία του φυσικού αερισμού ενός άδειου πειραματικού κτηνοτροφικού κτιρίου προσδιορίζεται αριθμητικά με χρήση του κώδικα υπολογιστικής ρευστομηχανικής Fluent. Τα αποτελέσματα ελέγχονται με πειραματικές μετρήσεις στις οποίες ο αριθμός εναλλαγών του αέρα προσδιορίζεται με τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη (CO_2). Μετά την καλή συμφωνία μεταξύ αριθμητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων το αριθμητικό προσομοίωμα επιλύθηκε με χρήση των διαφορετικών παραλλαγών του μοντέλου τύρβης 'k – *ε*', 'standard' 'RNG' και 'Realizable' αντίστοιχα, καθώς και του μοντέλου τύρβης 'Reynolds Stress' με σκοπό να αποτιμηθεί η συμπεριφορά τους στην επίλυση προβλημάτων φυσικού αερισμού.

NUMERICAL SIMULATION OF NATURAL VENTILATION OF A LIVESTOCK BUILDING. INFLUENCE OF TURBULENCE MODEL

At. Sapounas[1], T. Bartzanas[2], Ch. Nikita-Martopoulou[3], C. Kittas[2]
[1]Aristotle University of Thessaloniki, Center of Agricultural Structures Control, Thessaloniki, Greece
[2]University of Thessaly, School of Agricultural Sciences, Department of Agriculture, Crop Production and Agricultural Environment, Volos, Greece
[3]Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, Dep. of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

The ventilation rate of a naturally ventilated experimental livestock building was calculated using a three-dimensional full-scale simulation model of the CFD code Fluent. The numerical results were compared with those obtained through experimental procedure using the tracer gas (CO_2) technique. Using the 'standard' k-*ε* turbulence model, a good agreement between the numerical and experimental results is occurred. In addition, three available turbulence models were tested, 'RNG k – *ε*', 'Realizble k – *ε*' and 'Reynolds Stress' in order to judge the capabilities of these turbulence models in problems concerning natural ventilation of agriculture buildings.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο φυσικός αερισμός λόγω του χαμηλού αρχικού και λειτουργικού κόστους και της απλής διαχείρισης του είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα ελέγχου περιβάλλοντος των κτηνοτροφικών κτιρίων στην Ελλάδα [1]. Μέσω της ροής του αέρα στο εσωτερικό των κτηνοτροφικών κτιρίων καθορίζονται, όχι μόνο οι συνολικές εναλλαγές αέρα, αλλά και η μεταβολή των υπολοίπων κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία), καθώς και η συγκέντρωση των επιβλαβών αερίων όπως CO_2, NH_3, H_2S και CO. Συνεπώς η αποτελεσματικότητα του συστήματος φυσικού αερισμού επηρεάζει την παραγωγικότητα μιας κτηνοτροφικής μονάδας.

Η διαστασιολόγηση του συστήματος φυσικού αερισμού και η ενσωμάτωση του στα κτηνοτροφικά κτίρια γίνεται κυρίως με εμπειρικά μοντέλα η αξιοπιστία των οποίων έχει αποτιμηθεί με πειραματικές διαδικασίες σε συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες και για συγκεκριμένα συστήματα φυσικού αερισμού, καθώς η διενέργεια πειραμάτων για διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και για διαφορετικά συστήματα φυσικού αερισμού είναι πρακτικά ανέφικτη, είτε λόγω αυξημένου κόστους είτε λόγω αδυναμίας συστηματικής μέτρησης ορισμένων παραμέτρων. 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 που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος φυσικού αερισμού χωρίς την ανάγκη χρονοβόρων και πολυέξοδων πειραμάτων.

Οι μέθοδοι της υπολογιστικής ρευστομηχανικής εφαρμόζονται κυρίως σε προβλήματα ελέγχου περιβάλλοντος αγροτικών κτιρίων που αφορούν κυρίως τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας σε κτηνοτροφικά κτίρια και θερμοκήπια, τον αερισμό των κατασκευών και την ποιότητα του αέρα. Εφαρμογή των μεθόδων αυτών έγινε για την περιγραφή ενός μοντέλου πρόβλεψης της συγκέντρωσης της σκόνης σε αεριζόμενο κτηνοτροφικό κτίριο [2], για τη μελέτη της τυρβώδους ροής του αέρα σε πειραματικό κτηνοτροφικό κτίριο [3] ενώ χαρακτηριστική είναι η έρευνα που διεξήχθη [4] ώστε να μελετηθεί η επίδραση της θέσης των ζώων στη ροή του αέρα μέσα σε ένα κτηνοτροφικό κτίριο. Οι αριθμητικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία και για την προσομοίωση του φυσικού αερισμού σε ανοιχτά [5-7] και κλειστά θερμοκήπια [8] για τον υπολογισμό φορτίων ανέμου σε τοξωτό θερμοκήπιο [9], για τη διερεύνηση των διχτύων εντομοστεγανότητας στο μικροκλίμα θερμοκηπίων [10] και για τη διερεύνηση των ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης θερμοκηπίων [11]. Κοινό χαρακτηριστικό των περισσοτέρων εργασιών είναι η χρησιμοποίηση του μοντέλου τύρβης ‘k – ε’, και η επαλήθευση των μοντέλων προσομοίωσης με πειραματικές διαδικασίες.

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους η οποία επηρεάζει καθοριστικά τη λύση του προβλήματος με τη χρήση αριθμητικών προσομοιωμάτων είναι η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου τύρβης. Αν και υπάρχουν αρκετές παράμετροι οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του μοντέλου τύρβης οι κυριότερες αφορούν την ακρίβειά του, την απλότητά του και την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών στα προβλήματα αερισμού κτιρίων έχει υιοθετηθεί η χρήση του k-ε μοντέλου τύρβης [12] λόγω της απλότητας του και της σχετικά αποδεκτής ακρίβειας του. Το k-ε μοντέλο τύρβης όμως, τείνει να υποεκτιμά το μήκος

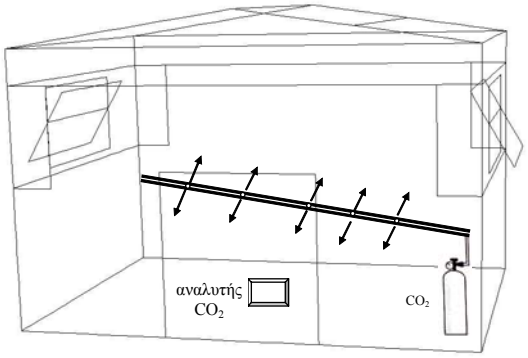
των ζωνών ανακυκλοφορίας του αέρα κυρίως στις περιπτώσεις όπου η ταχύτητά του έχει μικρές τιμές [13].

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η χρησιμοποίηση ενός μοντέλου προσομοίωσης για τον υπολογισμό του ρυθμού αερισμού ενός άδειου πειραματικού κτηνοτροφικού κτιρίου κατάλληλου για στέγαση αγελάδων γαλακτοπαραγωγής, με χρήση του κώδικα υπολογιστικής ρευστομηχανικής 'Fluent' και η σύγκριση των υπολογιστικών αποτελεσμάτων με αυτά που προέκυψαν από πειραματικές μετρήσεις. Στη συνέχεια γίνεται αποτίμηση της συμπεριφοράς των μοντέλων τύρβης 'standard k – ε', 'RNG k – ε', 'Realizble k – ε' και 'Reynolds Stress' στην επίλυση προβλημάτων φυσικού αερισμού σε αγροτικά κτίρια.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικός προσδιορισμός του ρυθμού ανανέωσης του αέρα

Με σκοπό την πειραματική επιβεβαίωση του αριθμητικού προσομοιώματος προσδιορίστηκε ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα ενός πειραματικού κτηνοτροφικού κτιρίου που βρίσκεται εγκατεστημένο στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ. Πρόκειται για ένα αμφίρρικτο κτίριο με μήκος μήκος 5.7 m, πλάτος 4.25 m και ύψος 3.5 m (το ύψος του κορφιά είναι 3.92 m). Το κτίριο έχει δύο πλαϊνά παράθυρα αερισμού τα οποία περιστρέφονται κατά 90° γύρω από έναν άξονα που τα χωρίζει σε δύο τμήματα με λόγο 43/57 από πάνω προς τα κάτω και συνολική επιφάνεια 4.30 m^2 (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Πειραματικό κτηνοτροφικό κτίριο

Για τον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μείωσης της συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη [14]. Ως αέριο ανίχνευσης χρησιμοποιήθηκε το CO_2. Από φιάλη με CO_2 υπό πίεση, η οποία τοποθετήθηκε μέσα στο κτίριο, διοχετεύτηκε CO_2 διαμέσου ενός διάτρητου σωλήνα πολυαιθυλενίου ο οποίος τοποθετήθηκε κατά τη διαγώνιο σε ύψος 1.5 m από το δάπεδο ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη συγκέντρωση του CO_2 (Σχήμα 1). Πριν από κάθε πειραματική διαδικασία τα ανοίγματα αερισμού έμεναν για μεγάλο χρονικό διάστημα τελείως ανοιχτά, ώστε να επιτευχθεί ομοιομορφία μεταξύ της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου και αυτής στο εξωτερικό περιβάλλον. Έγιναν συνολικά 10 πειραματικές επαναλήψεις κάτω από διαφορετικές συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος (Πίνακας 1).

Στο εξωτερικό περιβάλλον και σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους καταγραφόταν και αποθηκευόταν σε σύστημα καταγραφής δεδομένων η ταχύτητα και διεύθυνση του εξωτερικού αέρα κάθε 15 min.

Πίνακας 1. Εξωτερικές κλιματικές συνθήκες για κάθε πειραματική διαδικασία

Α/Α πειραματικής διαδικασίας	Ταχύτητα ανέμου (m s^{-1})	Διεύθυνση ανέμου (°), σε σχέση με το Βορρά
1	2.00	85
2	2.00	185
3	3.80	67
4	4.50	89
5	4.00	95
6	2.50	52
7	8.50	112
8	3.50	137
9	2.00	208
10	5.70	217

2.2 Μαθηματικό προσομοίωμα

Η αριθμητική μέθοδος επιτρέπει τον υπολογισμό του πεδίου ταχύτητας μιας ροής λύνοντας αλγεβρικά τις αντίστοιχες εξισώσεις μεταφοράς. Η εξίσωση που περιγράφει τα φαινόμενα μεταφοράς στις τρεις διαστάσεις έχει την εξής μορφή:

$$\frac{\partial(U\Phi)}{\partial x}+\frac{\partial(V\Phi)}{\partial y}+\frac{\partial(W\Phi)}{\partial z}=\Gamma\nabla^2\Phi+S_\Phi \qquad (1)$$

όπου: U , V , W είναι οι μέσες χρονικές ταχύτητες, Φ η εξαρτημένη μεταβλητή η οποία απεικονίζει τα διάφορα μέσα μεγέθη, όπως τρεις συνιστώσες ταχύτητας, ενθαλπία, κινητική ενέργεια της τύρβης κ.τ.λ., Γ είναι ο συντελεστής μεταφοράς και S_Φ ο πηγαίος όρος.

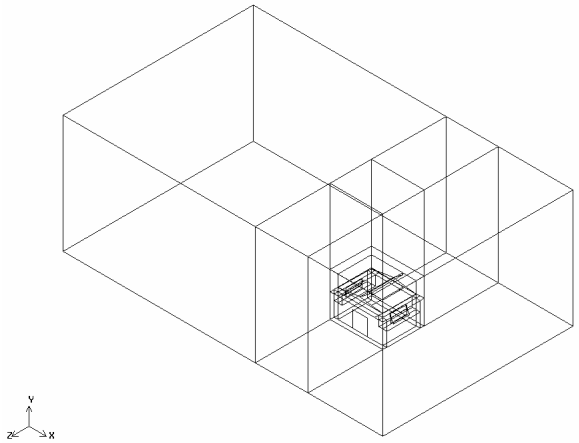
Στις προσομοιώσεις που έγιναν για την πειραματική επιβεβαίωση του αριθμητικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το standard k – ε μοντέλο τύρβης [12]. Εκτός του standard k – ε προσομοιώματος τύρβης ελέγχθηκε και η συμπεριφορά σε προβλήματα φυσικού αερισμού αγροτικών κτιρίων, των εξής προσομοιώματων τύρβης:

- Το ‘RNG k – ε’ μοντέλο τύρβης. Η βασική δομή του μοντέλου αυτού είναι παρόμοια με αυτή του μοντέλου τύρβης ‘standard k – ε’ αλλά περιέχει τις ακόλουθες τροποποιήσεις: α) υπάρχει ένας επιπλέον όρος στη εξίσωση του ρυθμού απόσβεσης της τυρβώδους κινητικής ενέργειας, β) ενσωματώνει την επίδραση των στροβίλων στην ανάπτυξη της τυρβώδους ροής, γ) οι τυρβώδεις αριθμοί Prandtl προσδιορίζονται με τη χρήση αναλυτικού μοντέλου και δεν είναι σταθεροί αριθμοί που προσδιορίστηκαν εμπειρικά όπως γίνεται στην περίπτωση του ‘standard k – ε’ μοντέλου τύρβης, δ) είναι αποτελεσματικό και σε μικρές τιμές αριθμών Reynolds.
- Το ‘Realizable k – ε’ μοντέλο τύρβης το οποίο διαφοροποιείται από το ‘standard k – ε’ μοντέλο στα εξής σημεία: α) περιέχει μια αναλυτική

καινούργια σχέση για το τυρβώδες ιξώδες και β) στον υπολογισμό του ρυθμού απόσβεσης της τυρβώδους κινητικής ενέργειας προστίθεται μια καινούργια εξίσωση μεταφοράς.

- Το 'Reynolds Stress' μοντέλο τύρβης (RSM model) είναι το πλέον περίπλοκο από τα διαθέσιμα μοντέλα τύρβης και θεωρητικά το πιο ακριβές. Η εφαρμογή του μοντέλου αυτού απαιτεί τέσσερις επιπλέον εξισώσεις σε δισδιάστατα προβλήματα και επτά επιπλέον εξισώσεις σε τρισδιάστατα προβλήματα αυξάνοντας κατά πολύ τις απαιτήσεις τόσο σε υπολογιστική ισχύ όσο και το χρόνο επίλυσης του προβλήματος

Το πειραματικό κτίριο καθώς και ο χώρος που το περιβάλλει αναπαριστάται από ένα γεωμετρικό μοντέλο τριών διαστάσεων το οποίο κατασκευάστηκε με τον γεωμετρικό επεξεργαστή Gambit 1.0 (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Πεδίο ροής γύρω από το πειραματικό κτηνοτροφικό κτίριο

Το γεωμετρικό μοντέλο αποτελείται από 455792 κελιά ενώ το υπολογιστικό πλέγμα χαρακτηρίζεται σύμφωνα με το'EquiAngle Skew' κριτήριο ως άριστο [13]. Με σκοπό την προσομοίωση της ίδιας της πειραματικής διαδικασίας οι οριακές και αρχικές συνθήκες του μοντέλου προσομοίωσης αντιστοιχούν σε αυτές που καταγράφηκαν κατά την πειραματική διαδικασία. Ως οριακή συνθήκη στην είσοδο του πεδίου ροής χρησιμοποιήθηκε ένα εκθετικό προφίλ της ταχύτητας του αέρα [15].

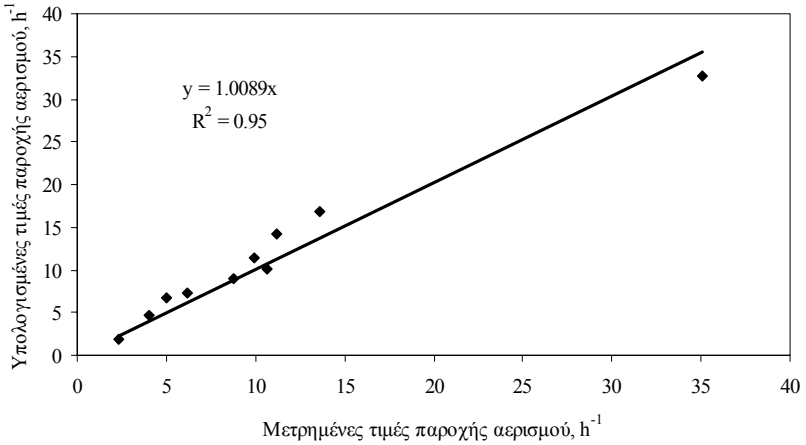
Το μοντέλο προσομοίωσης επιλύθηκε με οριακές συνθήκες που αντιστοιχούν σε κάθε πειραματική διαδικασία. Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο που ακολουθήθηκε και στον υπολογισμό του με βάση τα πειραματικά δεδομένα. Έτσι, πρώτα εξάγεται μια λύση του προβλήματος σε σταθερές συνθήκες (steady – state). Στη συνέχεια η λύση μετατρέπεται σε χρονικά μεταβαλλόμενη (unsteady) και ορίζεται ένα χρονικό βήμα. Στο πειραματικό κτηνοτροφικό κτίριο τη στιγμή t=0 θεωρείται πως υπάρχει ένα μείγμα από δύο ρευστά που είναι ο αέρας και το CO_2. Ο λόγος της μάζας του αέρα προς το CO_2 ήταν 1/0.0045 που αντιστοιχεί σε μία συγκέντρωση CO_2 της τάξεως των 3000 ppm (μέγιστο μέτρησης από τον αναλυτή CO_2), ίδια με την προκαθορισμένη συγκέντρωση εμπλουτισμού κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Η λύση πλέον λαμβάνεται ως προς το χρόνο που απαιτείται ώστε η συγκέντρωση του CO_2 να φθάσει τα 50 ppm που αντιστοιχεί σε ένα λόγο μάζας αέρα

προς CO_2 ίσο με 1/0.0007. Ο ρυθμός αερισμού υπολογίζεται από το χρόνο που απαιτήθηκε να μειωθεί η συγκέντρωση του CO_2 μέσα στο πειραματικό κτίριο, όπως ακριβώς υπολογίστηκε και κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Επιβεβαίωση αριθμητικού προσομοιώματος

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του υπολογιστικού μοντέλου με χρήση του μοντέλου τύρβης 'k – ε' με τα αντίστοιχα πειραματικά (Σχήμα 3), ικανοποιητική συμφωνία. Ειδικότερα το μέσο ποσοστό απόκλισης των επιμέρους τιμών είναι 13.47%. Μεγάλη ωστόσο είναι η διακύμανση του ποσοστού αυτού που κυμαίνεται από 1.0% (πειραματική διαδικασία - 8) έως 33.3% (πειραματική διαδικασία -1).



Σχήμα 3. Πειραματικά και υπολογιστικά αποτελέσματα του αριθμού εναλλαγών του αέρα του πειραματικού κτιρίου

3.2 Αποτίμηση αποτελεσματικότητας διαφόρων μοντέλων τύρβης

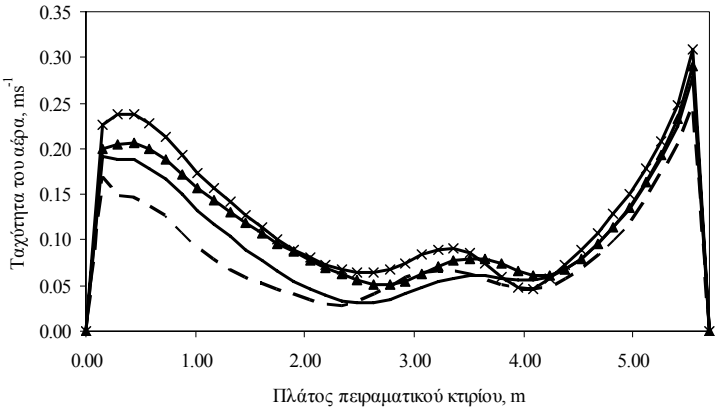
Με σκοπό να διερευνηθεί η συμπεριφορά των διαφορετικών μοντέλων τύρβης στην επίλυση του προβλήματος αερισμού του πειραματικού κτηνοτροφικού κτιρίου με την μέθοδο του αερίου ανίχνευσης, το μοντέλο προσομοίωσης για τις πειραματικές διαδικασίες '1' και '4' επιλύθηκε με χρήση των μοντέλων τύρβης 'RNG k – ε', 'Realizble k – ε' και 'Reynolds Stress'. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν τον υπολογισμένο ρυθμό ανανέωσης του αέρα σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο μοντέλο τύρβης.

Πίνακας 2. Υπολογισμένος ρυθμός ανανέωσης του αέρα με τη χρήση διαφορετικών μοντέλων τύρβης

Α/Α πειραματικής διαδικασίας	Πειραματικά δεδομένα	Standard k-ε μοντέλο τύρβης	RNG k-e μοντέλο τύρβης	Realizable k-e μοντέλο τύρβης	RSM μοντέλο τύρβης

1	5,0	6,7	7,86	8,04	6,97
4	10,6	10,0	12,53	13,25	14,2

Οι αποκλίσεις των τιμών του αριθμού εναλλαγών του αέρα μεταξύ των διαφορετικών μοντέλων τύρβης είναι σημαντικές. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η υπολογισμένη με χρήση των διάφορων μοντέλων τύρβης κατανομή της ταχύτητας του αέρα κατά μήκος του πειραματικού κτιρίου, στο μέσο του, και σε απόσταση 1.75 m από την επιφάνεια του εδάφους,. Ως οριακές συνθήκες χρησιμοποιήθηκαν οι συνθήκες της πειραματική διαδικασίας "1". Η χρήση του 'RSM' μοντέλου έδωσε τις χαμηλότερες τιμές στην ταχύτητα του αέρα ενώ αντίθετα η ταχύτητα του αέρα είχε τις μεγαλύτερες τιμές με τη χρήση του 'RNG k-ε' μοντέλου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τους αντίστοιχους αριθμούς εναλλαγής του αέρα όπου η μικρότερη τιμή δίνεται στην περίπτωση του 'RSM' μοντέλου. Η παρατήρηση αυτή όμως δεν ισχύει για την πειραματική διαδικασία "4" όπου το 'RSM' μοντέλο δίνει την υψηλότερη τιμή. Η μέση τιμή της ταχύτητας του αέρα στο εξεταζόμενο επίπεδο ήταν 0.10 ms^{-1} με τη χρήση του 'Standard k-ε' μοντέλου τύρβης, 0.08 ms^{-1} με τη χρήση του 'RSM' μοντέλου τύρβης, 0.11 ms^{-1} με τη χρήση του 'Realizable k-ε' μοντέλου τύρβης και 0.12 ms^{-1} με τη χρήση του 'RNG k-ε' μοντέλου τύρβης.



Σχήμα 4. Ταχύτητα του αέρα για διαφορετικά μοντέλα τύρβης σε οριζόντιο επίπεδο κατά μήκος του πειραματικού κτιρίου, στο μέσο του και σε απόσταση 1.75 m από την επιφάνεια του εδάφους. ——— Standard k-ε, ─ ─ ─ RSM μοντέλο, ─▲─▲─ Realizable k-ε μοντέλο, ─X─X─X RNG k-ε

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του υπολογιστικού μοντέλου με τα αντίστοιχα πειραματικά προκύπτει πως είναι της ίδιας τάξης μεγέθους ενώ παρουσιάζουν και σχετικά ικανοποιητική συμφωνία, όσο αφορά τις απόλυτες τιμές. Ειδικότερα το μέσο ποσοστό απόκλισης των επιμέρους τιμών με τη χρήση του μοντέλου τύρβης 'standard k-ε' είναι 13.47%. Μεγάλη ωστόσο είναι η διακύμανση του ποσοστού αυτού που κυμαίνεται από 1.0% (πειραματική διαδικασία "8") έως 33.3% (πειραματική διαδικασία "1"). Ίδιας τάξεως αποκλίσεις από τις πειραματικές τιμές παρουσιάζονται και με την χρήση των υπολοίπων μοντέλων τύρβης με την μεγαλύτερη απόκλιση να

παρουσιάζει το 'Realizable k-ε' μοντέλο κατά την πειραματική διαδικασία -1. Ωστόσο, δεν μπορούν να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα όσο αφορά την καταλληλότητα του κάθε μοντέλου αφού δε χρησιμοποιήθηκαν για όλες τις πειραματικές περιπτώσεις.

Οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων οφείλονται κυρίως στους περιορισμούς που τίθενται από την πολυπλοκότητα του ίδιου του φαινομένου του αερισμού το οποίο ενώ είναι ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο φαινόμενο (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου) προσομοιώνεται με ροή ανέμου με σταθερά χαρακτηριστικά σύμφωνα με τις επιλεγείσες κατά περίπτωση οριακές συνθήκες. Επί πλέον δε λήφθηκε υπόψη με μεγάλη ακρίβεια η επίδραση του περιβάλλοντος χώρου δηλαδή η ύπαρξη εμποδίων στην ανάπτυξη της ροής γύρω από το πειραματικό κτίριο. Η επίδραση αυτή γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου διότι τα εμπόδια γύρω από το κτίριο δεν επιτρέπουν πλήρη ανάπτυξη της ροής όπως στο μοντέλο προσομοίωσης. Για το λόγο αυτό άλλωστε στις περισσότερες περιπτώσεις ο ρυθμός αερισμού που υπολογίζεται με το υπολογιστικό μοντέλο είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο που προκύπτει από τις πειραματικές μετρήσεις. Ωστόσο αυτό που πρακτικά ενδιαφέρει είναι η εκτίμηση του ρυθμού αερισμού ενός κτιρίου για συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος και όχι ο προσδιορισμός της ακριβούς τιμής του ρυθμού αυτού. Το φαινόμενο του αερισμού σε ότι αφορά τη μελέτη κτιρίων εξετάζεται μακροσκοπικά, συνεπώς μικρές αλλαγές στις υπολογιζόμενες τιμές θεωρούνται αποδεκτές. Υπό την έννοια αυτή αποδεκτές θεωρούνται και οι διαφορές που προκύπτουν από τα μοντέλα προσομοίωσης αφού αυτά περιγράφουν ποιοτικώς ικανοποιητικά το φαινόμενο αερισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1 Lindley, J.A., Whitaker J.H., 1996. Agricultural Buildings and Structures, *ASAE Publication*

2 Reynolds, A. M., 1997. A Model for Predicting Airborne Dust Concentrations within a Ventilated Airspace. *Journal of Agricultural Engineering Research,* 66: 103-109

3 Heber, A. J., Boon, C. R., Peugh, M. W., 1996. Air Patterns and Turbulence in an Experimental Livestock Building. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64: 209-226

4 Svidt, K., Zhang, G., Bjerg, B., 1998. CFD Simulation of Air Velocity Distributions in Occupied Livestock Buildings. Proceedings of RoomVent'98, Sixth International Conference on Air Distribution in Rooms. Stockholm, Sweden, pp. 491-496.

5 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.

6 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.

7 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.

8 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.

9 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

10 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.

11 Briassoulis, D., 2004. Mechanical Design Requirements for Low Tunnel Biodegradable and Conventional Films. *Biosystems Engineering,* 87 (2): 209-223

12 Launder E. B., Spalding D. B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3: 269-289.

13 Fluent, 1998. FLUENT, v.5, Fluent Europe Ltd, Sheffield, UK

14 Baptista F. J., Bailey B. J., Randall J. M., Meneses J. F. 'Greenhouse Ventilation Rate: Theory and Measurement with Tracer Gas Techinques'. Journal of Agricultural Engineering Research, 1999, 72, 363-374.

15 Basiliou N. N., Martzopulos G. G., Nikita-Martzopoulou C. 'Air flow pattern Outside and Inside a Double span Arch Type Greenhouse'. Control Applications and Ergonomics in Agriculture, A Proccedings volume from the IFAC Workshop Athens, Greece, 15-17 June 1998.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΟΛΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Ν. Οικονόμου, Γρ. Λαμπρινός
Γ.Π.Α – Τμήμα Α.Φ.Π & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 – 118 55, Αθήνα
e-mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα αγροτικό κτίριο στέγασης ζώων πρέπει αφ' ενός να εξασφαλίζει την υγεία των ζώων και αφετέρου να περιορίζει κατά το δυνατόν τις θερμικές απώλειες. Ένας βασικός παράγοντας που καθορίζει τις απώλειες αυτές είναι η μόνωση του κτιρίου, που διαμορφώνει και τις τιμές των επιμέρους συντελεστών ολικής θερμοπερατότητας. Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό την πειραματική εκτίμηση του μέσου συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας K ενός υπαρκτού πειραματικού χοιροστασίου προπάχυνσης δανικού τύπου και τη σύγκρισή του με τον αντίστοιχο θεωρητικό. Η εκτιμηθείσα αυτή πειραματική τιμή ($\bar{K}_{\Pi}=2.83\pm0.23 Wm^{-2}K^{-1}$) ασήμαντα διαφέρει από την θεωρητικά υπολογισθείσα μέση βαρυκεντρική τοιαύτη ($\bar{K}_{\Theta}=2.80 Wm^{-2}K^{-1}$).

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE AVERAGE THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF FARM BUILDINGS

N. Oikonomou, G. Lambrinos
Agronomic University of Athens, Dept. of N.R.M.& Agr. Eng.
75, Iera Odos Str. – 118 55, Athens, Greece,
e-mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

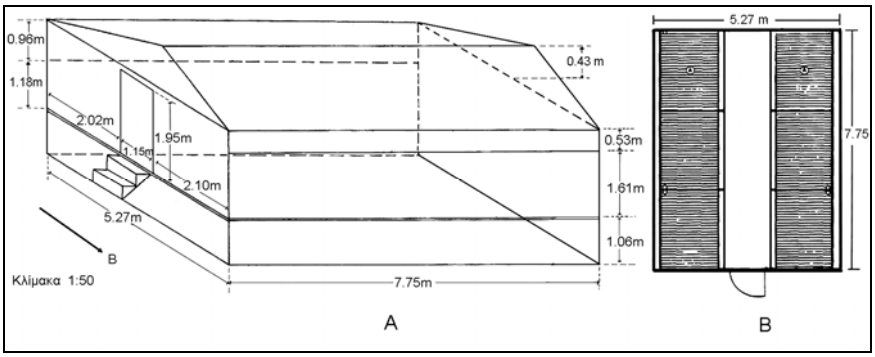
An animal house must secure animals' health and diminish building energy losses. The main factor that defines these losses, is building insulation, which influence the magnitude of the various overall heat transfer coefficients. Aim of this work, is the experimental evaluation of the mean overall heat transfer coefficient, $\bar{K}$, of an experimental scale piglet house of Danish type, and its comparison with the corresponding theoretical value. The resulted experimental value is $\bar{K}_{exp}=2.83\pm0.23 Wm^{-2}K^{-1}$, which is quite close to the theoretical weighted average value $\bar{K}_{th}=2.80 Wm^{-2}K^{-1}$.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα αγροτικό κτίριο στέγασης ζώων πρέπει αφ' ενός να εξασφαλίζει την υγεία των ζώων και αφ' ετέρου να περιορίζει κατά το δυνατόν τις θερμικές απώλειες. Ένας βασικός παράγοντας που καθορίζει τις απώλειες αυτές είναι η μόνωση του κτιρίου, η οποία διαμορφώνει και τις τιμές των επιμέρους συντελεστών ολικής θερμοπερατότητας.
Η θερμότητα και η υγρασία που αποβάλλει ένα χοιρίδιο εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι το είδος του δαπέδου, η πυκνότητα των στεγαζόμενων ζώων, η περιεχόμενη υγρασία της τροφής, το επίπεδο διατροφής, η θερμοκρασία και η περιεχόμενη υγρασία του χώρου καθώς και η μέση δραστηριότητα του ζώου,. Η απώλεια αισθητής θερμότητας από κάθε χοιρίδιο λαμβάνει χώρα και με τους τρεις τρόπους μετάδοσης της θερμότητας, αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Το σημαντικότερο ποσοστό εναλλαγής συμβαίνει με ακτινοβολία και με αγωγή [2]. Η απώλεια με αγωγή παρουσιάζεται κυρίως όταν το ζώο είναι ξαπλωμένο στο δάπεδο και όχι όταν στέκεται στα πόδια του. Η απώλεια θερμότητας με ακτινοβολία εξαρτάται από τη θερμοκρασία των εσωτερικών παρειών του χοιροστασίου. Όσον αφορά την απώλεια με συναγωγή αυτή θεωρείται αμελητέα αφού η ταχύτητα του περιβάλλοντα τα ζώα αέρα είναι πρακτικά μηδενική. Η απώλεια λανθάνουσας θερμότητας λαμβάνει χώρα λόγω της αναπνοής και της εξάτμισης υγρασίας από το σώμα του χοιριδίου [3]. Το σύνολο αυτό των εναλλαγών θερμότητας αποτελούν το θερμικό φορτίο των χοιριδίων, το οποίο και λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό των φορτίων, την κατασκευή και τον κλιματισμό του κτιρίου.
Η εργασία αυτή έχει σαν σκοπό τη σύγκριση του θεωρητικού και του πειραματικού μέσου ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας Κ ενός πειραματικού χοιροστασίου προπάχυνσης δανικού τύπου. Με τον τρόπο αυτό έγινε μία αντιπαραβολή μεταξύ των θεωρητικά υπολογισθέντων και πειραματικά εκτιμηθέντων μεγεθών ώστε να εντοπιστούν σφάλματα και σημεία που επιδέχονται βελτίωση, επηρεάζοντας φυσικά θετικά το ενεργειακό ισοζύγιο του χοιροστασίου.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Το χοιροστάσιο στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα βρίσκεται στο χώρο του Γ.Π.Α.,ανήκει στον Τομέα Γ. Μηχανικής, και είναι τύπου «Χοιροστάσιο προπάχυνσης με δάπεδο πλήρως εσχαρωτό». Έχει σχήμα παραλληλεπιπέδου με προσανατολισμό Α-Δ, (σχ.1α), σχεδιασμένο να στεγάζει 68 χοιρίδια μέγιστου βάρους 45 κιλών το καθένα. Κάτω από την εσχαρωτή επιφάνεια (σχ.1β) υπάρχει τάφρος υποδοχής της υγρής κόπρου, βάθους περίπου 1m, και σύστημα απαγωγού με ανεμιστήρα για την απομάκρυνση των παραγόμενων αερίων (CO_2,NH_3).
Όλοι οι τοίχοι του χοιροστασίου, εκτός αυτών που περιβάλλουν την τάφρο, αποτελούνται από τα έξω προς τα μέσα από: σοβά, τούβλα, στρώση αέρα και λεπτό φύλλο κυματοειδούς αλουμινίου. Η δίρρηκτη στέγη είναι κατασκευασμένη από κυματοειδή λαμαρίνα. Η ψευδοροφή από αλουμίνιο είναι καλυμμένη από μία στρώση υαλοβάμβακα 2.5cm. Τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο τοίχο υπάρχουν παράθυρα (ανοίγματα) κατασκευασμένα από κυματοειδές διάφανές πλαστικό, με μεγαλύτερης διάστασης αυτό της νότιας πλευράς, ενώ η κεντρική είσοδος βρίσκεται στον ανατολικό τοίχο. Επειδή το χοιροστάσιο είναι πειραματικό η ενταλλασσόμενη αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα μεταξύ ζώων και κτιρίου έχει εξασφαλισθεί με θερμική προσομοίωση των χοιριδίων προπάχυνσης. Η προσθήκη θερμότητας στο χώρο του χοιροστασίου



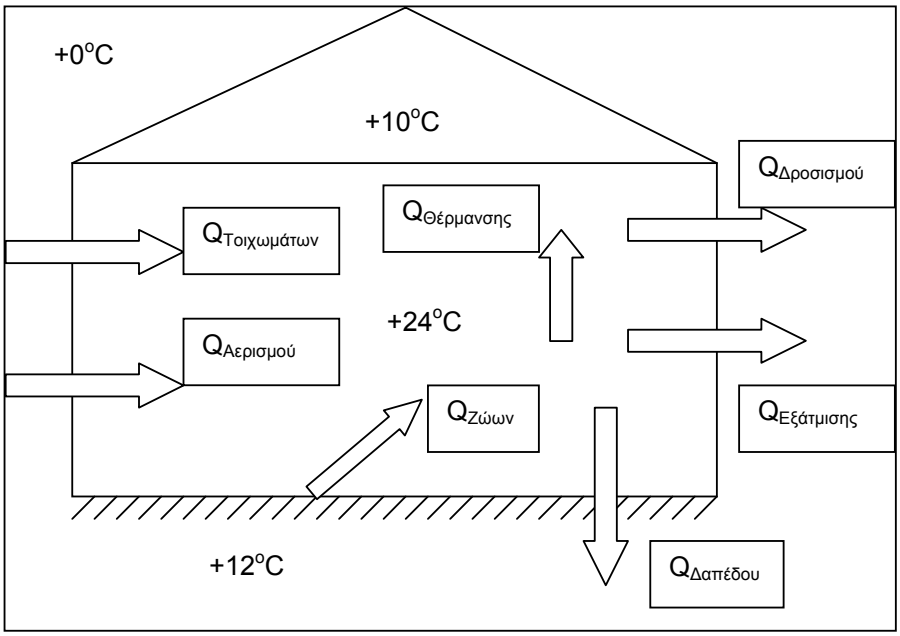
Σχήμα 1. Πειραματικό χοιροστάσιο α) Μορφή και διαστάσεις.
β) Κάτοψη.

επετεύχθει με την εγκατάσταση μικρών αυτόνομων ηλεκτρικών μονάδων θέρμανσης (κουκουνάρες του 1kW) ικανών να αποδίδουν τέτοια θερμική ενέργεια ώστε να μπορούμε να πετύχουμε σταθερή θερμοκρασία στο χώρο.
Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα θερμικά χαρακτηριστικά του πειραματικού αυτού χοιροστασίου προπάχυνσης. Υπολογίστηκαν θεωρητικά οι επιμέρους συντελεστές θερμοπερατότητας των διαφόρων τμημάτων του χοιροστασίου και ο μέσος βαρυκεντρικός θεωρητικός ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου.

Πίνακας 1. Θερμικά χαρακτηριστικά χοιροστασίου

Επιφάνειες	Επιφάνεια m^2	Συντελεστές ολικής θερμοπερατότητας $W\ m^{-2}\ ^oC^{-1}$
Τοίχων μονωμένων	20,79	0,37
Παραθύρων	11,10	4,57
Ψευδοροφής	39,26	0,75
Μέση στέγης	40,93	0,6
Πόρτας	2,24	7,54
Τσιμεντένιων τοίχων	28,65	3,36
Δαπέδου	41,00	5,3
Μέσος βαρυκεντρικός συντελ. ολικής θερμοπερατότητας $K_{ολ}$=2,80 $W\ m^{-2}\ ^oC^{-1}$		

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται οι σπουδαιότερες θερμικές εναλλαγές μεταξύ του κτιρίου και του περιβάλλοντός του κατά τον χειμώνα στον δε πίνακα 2 παρουσιάζονται τα θεωρητικά υπολογισμένα θερμικά φορτία του χειμώνα για σταθερές θερμοκρασιακές διαφορές. Πρέπει να αναφερθεί ότι η μέση θερμοκρασία του σώματος ενός χοιριδίου που βρίσκεται στο στάδιο προπάχυνσης είναι ίση με 38,9 έως 39,2 ^oC [1] και το σύνολο της θερμότητας (αισθητή και λανθάνουσα) που αποβάλλουν τα ζώα στο περιβάλλον τους είναι ίσο με 8282W [4,6], ποσό το οποίο ισχύει όταν θεωρήσουμε μέσες τιμές των παραγόντων ανάπτυξης.

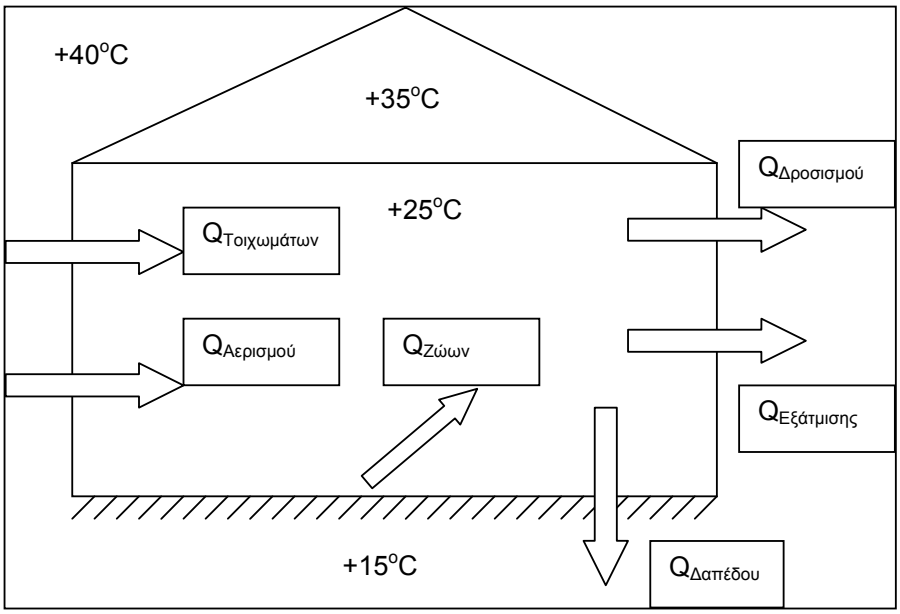


Σχήμα 2. Θερμικές εναλλαγές κτιρίου κατά το χειμώνα

Πίνακας 2. Θερμικά φορτία χειμώνα

Φορτία	W	% θερ/κων απωλειών
Κατακόρυφων Τοίχων	5967	24,4
Στέγης	464	1,9
Δαπέδου	3042	12,4
Αερισμού απομάκρυνσης της υγρασίας	14040	57,4
Εξάτμισης	935	3,8
Σύνολο θερμικών απωλειών	24448	100
Ζώα (θερμότητα αναπνοής)	8282	33,8
Θέρμανση	16166	66,2
Σύνολο θερμικών εσόδων	24448	100

Αντίστοιχα στο σχήμα 3 φαίνονται οι σπουδαιότερες θερμικές εναλλαγές μεταξύ του κτιρίου και του περιβάλλοντός του κατά το θέρος ενώ στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα θεωρητικά υπολογισμένα θερμικά φορτία του θέρους για σταθερές θερμοκρασιακές διαφορές. Όσον αφορά το σύνολο της θερμότητας (αισθητή και λανθάνουσα) που εκμπέμπουν τα ζώα στο περιβάλλον τους είναι ίσο με 8440W [4,6], τιμή η οποία είναι ελαφρώς αυξημένη σε σχέση με αυτήν του χειμώνα.



Σχήμα 3. Θερμικές εναλλαγές κτιρίου κατά το θέρος

Πίνακας 3. Θερμικά φορτία θέρους

Φορτία	W	% θερ/κων απωλειών
Δαπέδου	5432	34,6
Εξάτμισης	1046	6,6
Ανάγκη δροσισμού	9207	58,6
Σύνολο θερμικών απωλειών	15685	100
Ζώων	8440	53,8
Κατακόρυφων Τοίχων	4025	25,6
Αερισμού οσμών	3220	20,5
Σύνολο θερμικών εσόδων	15685	100

Πραγματοποιήθηκαν αρκετές πειραματικές σειρές και με βάση τις μετεωρολογικές προβλέψεις καταγράφηκαν συστηματικά οι θερμοκρασίες τόσο στο βόρειο τοίχο όσο και στο νότιο τοίχο στην εσωτερική και εξωτερική παρειά, του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου καθώς και του εσωτερικού περιβάλλοντος έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση πειραματικά του μέσου συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας του χοιροστασίου. Συγχρόνως εφαρμόστηκε στο κτίριο ορισμένη θερμική ισχύς αντίστοιχη με τις προβλεπόμενες θερμικές απώλειες του κτιρίου, επιδιώκοντας σταθερή εσωτερική θερμοκρασία και τη δημιουργία σταθεροποιημένης θερμικής κατάστασης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Η καταγραφή των θερμοκρασιών έγινε με καταγραφικό διακριτικής ικανότητας 1°C και ακρίβειας 1°C. Η καταναλισκόμενη

ηλεκτρική ενέργεια μετρήθηκε και καταγράφηκε με τη βοήθεια κιλοβατοωρόμετρου διακριτικής ικανότητας 0,01kWh και ακρίβειας 0.05 kWh

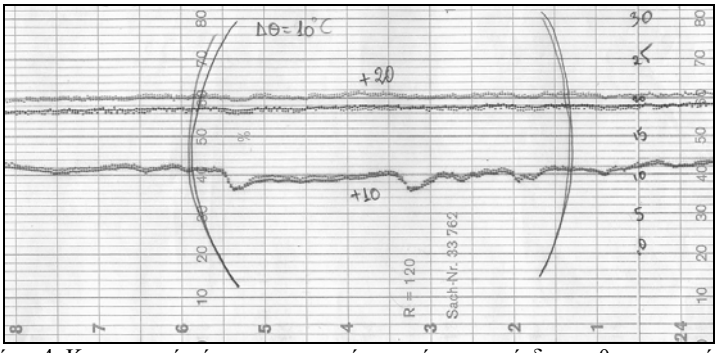
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Από όλες τις πειραματικές σειρές απομονώθηκαν και παρουσιάζονται μόνο εκείνες κατά τις οποίες είχαμε για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (άνω των 3 ωρών) σταθεροποιημένη θερμική κατάσταση μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του κτιρίου. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται επτά πειραματικές σειρές, η χρονική διάρκεια της σταθεροποιημένης κατάστασης, η εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία καθώς και η καταναλωθείσα ηλεκτρική ενέργεια θέρμανσης.

Πίνακας 4. Πειραματικές σειρές σταθεροποιημένης θερμικής κατάστασης.

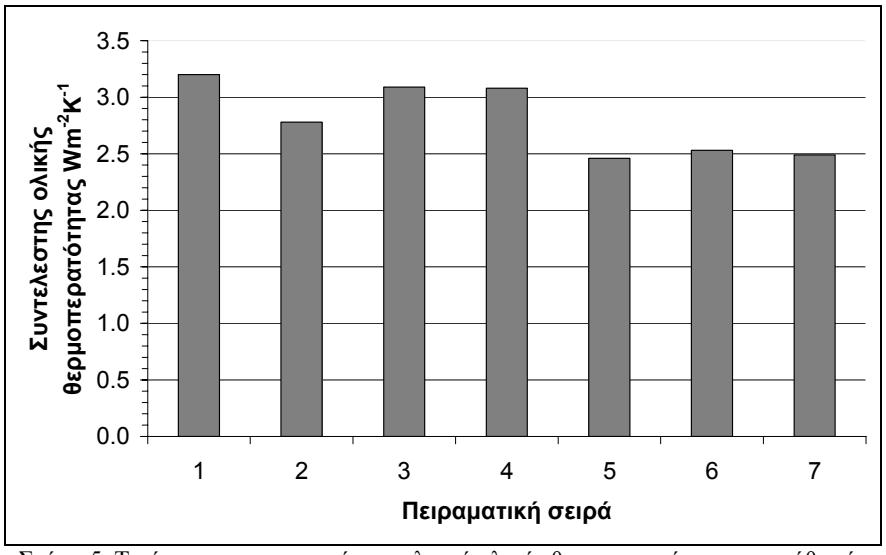
α/α	Διάρκεια h	Θ. Εξ. Περ. ^{o}C	Θ. Εσ. Περ. ^{o}C	Ηλ. Ενέργεια Θέρμανσης kWh
1	9	10	18	0.413
2	7	13	21	0.518
3	5	11	19	0.718
4	3	10	18	1.19
5	6	11	21	0.596
6	5	10	20	0.734
7	3	10	20	0.9

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η καταγραφή μίας πειραματικής σειράς με περίοδο σταθεροποιημένης θερμικής κατάστασης, όπου διακρίνεται η εξωτερική θερμοκρασία (κατώτερη γραμμή) καθώς και η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου (ανώτερη γραμμή).



Σχήμα 4. Καταγραφή μίας πειραματικής σειράς με περίοδο σταθεροποιημένης θερμικής κατάστασης.

Χρησιμοποιώντας τον τύπο: $\overline{K}_{\Pi\Epsilon\Iota\Rho} = \frac{Q}{S \cdot \Delta\Theta}$ υπολογίσαμε για κάθε μία πειραματική σειρά τον αντίστοιχο συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5. Τιμές του πειραματικού συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας για κάθε μία πειραματική σειρά.

Από τις τιμές όλων των πειραματικών σειρών που έδωσαν σταθεροποιημένες θερμοκρασιακές καταστάσεις, κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας εκτιμήθηκε η μέση πειραματική τιμή του συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας που ήταν ίση με 2,83$Wm^{-2}K^{-1}$, με μέγιστη και ελάχιστη τιμή 2,48Wm^{-2} K^{-1} και 3,20Wm^{-2} K^{-1} αντίστοιχα και όρια εμπιστοσύνης ±0,23$Wm^{-2}K^{-1}$, τιμή που δε διαφέρει σημαντικά από τη θεωρητικά υπολογισμένη ίση με 2,80$Wm^{-2}K^{-1}$.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή στο πειραματικό χοιροστάσιο προπάχυνσης θέρμανσης ρυθμιζόμενης ισχύος, αντίστοιχης με τις προβλεπόμενες θερμικές απώλειες του χειμώνα, ώστε να δημιουργελιται σταθεροποιημένη θερμική κατάσταση μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος οδήγησε μετά από αρκετές πειραματικές σειρές (επτά τον αριθμό) στην εκτίμηση της μέσης τιμής του συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας. Η πειραματική αυτή τιμή ίση με $\bar{K}_{\Pi} = 2{,}83 \pm 0.23 Wm^{-2} K^{-1}$ δε διαφέρει σημαντικά από τη θεωρητικά υπολογισμένη μέση βαρυκεντρική τιμή που ήταν ίση με $\bar{K}_{\Theta} = 2.80 Wm^{-2} K^{-1}$. Η πειραματική μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση του μέσου συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας κτιρίου αγνώστου κατασκευής αρκεί η εφαρμοζόμενη θερμική ισχύς να είναι επαρκής.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Black, J.L., Bray, H.J. and Giles, L.R., 1999. *The thermal and Infectious Enviroment.* In: A Quantitative Biology of the Pig. Kyriazakis, I. (Ed). Published by CABI New York.

[2] Ekkel, D.,E., Hans, A.M., Spoolder, I.H. and Hopster, H., 2002. Lying characterictics as determinants for space requirements in pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. (80). p.19-30.

[3] Lebret, B., Massabie, P., Granier, R., Juin, H., Mourot, J. and Chevillon, P., 2002. Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the techological and eating quality of dry-cured hams. *Meat Science*. (62). p.447-455.

[4] Pedersen, S. and Rom, H.B., 1998. Diurnal variation in heat production from pigs in relation to animal activity. Conference on Agricultural Engineering AgEng 98, Oslo

[5] Pond, W. G. and Maner, J. H., 1974. *Swine Production in Temperate and Tropical Enviroments*. W. H. Freeman and company. U.S.A.

[6] Sallvik, K. and Pedersen, S., 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering vol.II: Animal and heat moisture production pp: 41-53. CIGR (Ed) Published by ASAE.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΡΠΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ

Π. Μαλέτσικα[1], Χ. Παπαϊωάννου[1], Α. Σιώμος[2], Κ. Κίττας[1]
[1] Π. Θ. - Τμήμα Γ. Φ. Π. & Α. Π., Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας
[2] Α. Π. Θ. – Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Λαχανοκομίας, 54124 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η επίδραση της χρήσης υλικών κάλυψης απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας στην παραγωγή και την ποιότητα καρπών τομάτας. Η χρήση των απορροφητικών υλικών στην UV ακτινοβολία είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της εμπορεύσιμης παραγωγής, κυρίως λόγω του μικρότερου ποσοστού προσβεβλημένων καρπών από έντομα και επιπλέον προσέδωσε στους καρπούς πιο έντονο και ζωηρό κόκκινο χρώμα χωρίς να επηρεάζει τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.

EFFECT OF UV RADIATION ON YIELD AND QUALITY CHARACTERISTICS OF TOMATO FRUITS

P. Maletsika[1], X. Papaioannou[1], A. Siomos[2], C. Kittas[1]
[1]University of Thessaly, Dept. of Agr. Crop Production and Agr. Env. Laboratory of Agr. Constr. and Environ. Control, Fytokou St., 38446, N. Ionia, Magnesia, Greece.
[2]Aristotle University, Department of Horticulture, 54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

The effect of the use of greenhouse cover opaque in ultraviolet solar radiation on the production and quality characteristics of tomato fruits, were studied. The use of UV-blocking cover results in increasing of marketable yield of the greenhouse, mainly ought to smaller percentage of injured fruit by insects. In addition, fruit red color was more intent and vivid under UV-blocking cover, while the organoleptic characteristics of the fruit were unaffected.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια τα υλικά κάλυψης, τα απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας, συμβάλλουν στην ολοκληρωμένη διαχείριση των εχθρών και των ασθενειών των θερμοκηπίων [1, 2]. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή προϊόντων με περιορισμένη χρήση φυτοπροστατευτικών ουσιών.

Σε πειράματα που έγιναν στην Ισπανία σε θερμοκήπια με τέτοια υλικά κάλυψης, παρατηρήθηκε μείωση των προσβολών από τον θρίπα, καθώς και αύξηση της παραγωγής [3]. Επίσης σε έρευνα στην οποία μελετήθηκε η επίδραση του αλευρώδη και του θρίπα στην ανάπτυξη των ιώσεων *Cucumber Yellow Virus* (στο πεπόνι) και *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* και *Tomato Spotted Wilt Virus* (στην τομάτα), βρέθηκε μειωμένος πληθυσμός των επιζήμιων εντόμων. Στη μία καλλιέργεια (πεπόνι) δεν παρατηρήθηκαν ιώσεις, ενώ στην άλλη (τομάτα) εμφανίσθηκε μικρότερη προσβολή από τον ιό *Tomato Yellow Leaf Curl Virus,* κάτω από τα υλικά κάλυψης τα απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας. Επιπρόσθετα τα υλικά αυτά έδωσαν υψηλότερη παραγωγή (14-19%) [2].

Γενικά, ο τρόπος αντίδρασης των φυτών στη μικρού μήκους κύματος υπεριώδη ακτινοβολία (280-315 nm), δηλαδή τη UV-B, είναι μία σειρά από χημικές μεταβολές, όπως αλλαγές στο μεταβολισμό των φλαβονοειδών και των φαινολικών οξέων, λόγω ισχυρής απορρόφησης στη UV-B [4]. Βρέθηκε ότι σε περιβάλλοντα χωρίς υπεριώδη ακτινοβολία δε συντίθενται φλαβονοειδή [5].

Αντίθετα, η παρουσία της UV-B διεγείρει τη βιοσύνθεση των καροτενοειδών που εκτελούν φωτοπροστατευτική λειτουργία [6]. Οι κυριότερες χρωστικές στον καρπό της τομάτας είναι δύο καροτενοειδή (λυκοπένιο και β-καροτένιο) με χρώμα ερυθρό και πορτοκαλί αντίστοιχα [7]. Άλλη κατηγορία χρωστικών που υπάρχει στον καρπό της τομάτας αλλά δε συμβάλλει σημαντικά στο χρώμα του, είναι οι φλαβόνες, που περιλαμβάνουν τις χρωστικές ανθοξανθίνη (κίτρινο) και ανθοκυάνη (πορτοκαλί, κόκκινο και ιώδες) [7]. Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε με φυτά μελιτζάνας (*Solanum melongena* L.), ο χρωματισμός των καρπών παρεμποδίστηκε απουσία της υπεριώδους ακτινοβολίας, εξαιτίας της μη σύνθεσης των ανθοκυανών [8].

Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση της απουσίας της υπεριώδους ακτινοβολίας στην παραγωγή και την ποιότητα των καρπών της τομάτας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα έγινε την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2004, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε δύο όμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια όπου το εμβαδόν του κάθε θερμοκηπίου ήταν ίσο με 160 m^2. Η θέρμανση των θερμοκηπίων γινόταν με επιδαπέδιους πλαστικούς σωλήνες και αερόθερμο, προκειμένου να διατηρηθεί ελάχιστη θερμοκρασία 15 και 21 ºC τη νύχτα και την ημέρα αντίστοιχα, ενώ ο αερισμός γινόταν με πλευρικά ανοίγματα συνολικής επιφάνειας 27 m^2, όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 23 ºC.

Το υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων ήταν τριστρωματικό πολυαιθυλένιο (LDPE) από την Εταιρεία Πλαστικά Κρήτης Α.Β.Ε.Ε. Το υλικό κάλυψης του πρώτου θερμοκηπίου που αποτέλεσε τον μάρτυρα (Θ1) ήταν απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (τριστρωματικό LDPE, πάχους 180μ), ενώ του δευτέρου θερμοκηπίου (Θ2) ήταν τριστρωματικό LDPE, πάχους 180μ με μεγαλύτερο πλήθος σταθεροποιητών στην υπεριώδη ακτινοβολία στη μάζα του, ώστε το υλικό αυτό να είναι απορροφητικό της υπεριώδους ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, το χρόνο διεξαγωγής του πειράματος οι μέσες

τιμές της διαπερατότητας των υλικών κάλυψης στην εξωτερικά προσπίπτουσα υπεριώδη Α ακτινοβολία (315-380 nm) ήταν 28,7% και 0,7%, ενώ στην υπεριώδη Β ακτινοβολία (280-315 nm) ήταν 26,7% και 1,0% αντίστοιχα στα θερμοκήπια Θ1 και Θ2. Οι παραπάνω τιμές προήλθαν από μετρήσεις της διαπερατότητας των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων που πραγματοποίησε το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στα πλαίσια άλλης έρευνας.

Τα φυτά της τομάτας (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karsten) [9] ποικιλίας Belladona) μεταφυτεύτηκαν στο στάδιο των 6-7 πραγματικών φύλλων σε περλίτη, στις 08-03-2004 με πυκνότητα φύτευσης ίση με 2,4 φυτά$_{*}$m^{-2}. Εφαρμόσθηκε η κοινή καλλιεργητική πρακτική σε θερμοκηπιακή τομάτα, τα φυτά διαμορφώθηκαν μονοστέλεχα και αφέθηκαν 5 καρποί ανά ταξικαρπία. Η διάρκεια του πειράματος ήταν 114 ημέρες από τη μεταφύτευση (ημερομηνία ολοκλήρωσης του πειράματος: 30-06-2004).

Η παροχή του θρεπτικού διαλύματος καθορίζονταν με το πρόγραμμα MACQU (MAnagement Control QUality), που προέκυψε από τη συνεργασία τεσσάρων Ευρωπαϊκών κρατών και της Ελλάδας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα και το pH του θρεπτικού διαλύματος ήταν 2,1 mScm^{-1} και 5,6 αντίστοιχα, με μικρές τροποποιήσεις ανάλογα με τις συνθήκες και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Για τη φυτοπροστασία, έγινε εφαρμογή του μυκητοκτόνου Daconil 75 WP, (δ.ο. chlorothalonil 75% WP), δοσολογία 200g/100 λίτρα νερού στις 3-4-2004 και εφαρμογή των ακαρεοκτόνων Apollo 50 SC, (δ.ο. clofentezine 50% SC), δοσολογία 30 cc/100 λίτρα νερού, για τα αυγά και Omite 30 WP (δ.ο. propargite 30% WP), δοσολογία 150g /100 λίτρα νερού για τα ακμαία, στις 3-5-2004.

Η συγκομιδή των καρπών πραγματοποιούνταν δύο φορές την εβδομάδα, όταν οι καρποί βρίσκονταν στο ελαφρά κόκκινο στάδιο ωρίμανσης, σύμφωνα με την κατάταξη του USDA [10]. Μετά από κάθε συγκομιδή οι καρποί διαχωρίζονταν σε εμπορεύσιμους και μη, καταγράφονταν ο αριθμός και το βάρος και προσδιορίζονταν ο ειδικός όγκος. Ως μη εμπορεύσιμοι χαρακτηρίζονταν οι καρποί που είχαν κλίμακα ελαττωμάτων >3 από ζημιές από έντομα (αλευρώδης και θρίπας). Η αξιολόγηση των ελαττωμάτων γίνονταν με βάση την κλίμακα 1-5, (όπου 1=κανένα ελάττωμα, 2=ελαφρά ελαττώματα, 3=μέτρια ελαττώματα, 4=έντονα ελαττώματα, 5=υπερβολικά ελαττώματα).

Στους καρπούς που συγκομίστηκαν στις 95 (2^{ης} και 3^{ης} ταξικαρπίας), 99 (3^{ης} ταξικαρπίας), 101 (3^{ης} ταξικαρπίας) και 106 (3^{ης} και 4^{ης} ταξικαρπίας), ημέρες από τη μεταφύτευση (DAT) προσδιορίστηκαν μετά από πολτοποίηση σε blender, τα διαλυτά στερεά συστατικά (φορητό διαθλασίμετρο), το ασκορβικό οξύ (ανακλασίμετρο RQflex, Merk), το pH, η ογκομετρούμενη οξύτητα (με τιτλοδότηση με 0,01N NaOH) και το λυκοπένιο [11].

Για τη μελέτη της μεταβολής του χρώματος των καρπών κατά την ωρίμανση, επιλέχτηκαν από κάθε θερμοκήπιο 16 καρποί της 2^{ης} ταξικαρπίας. Οι καρποί αυτοί ήταν εμπορεύσιμοι, όμοιοι και είχαν τον ίδιο βαθμό έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι μετρήσεις του χρώματος γίνονταν στο θερμοκήπιο, με χρωματόμετρο MiniScan XE Plus (HunterLab, 4500L), σε δύο αντιδιαμετρικά σημεία στην ισημερινή διάμετρο των καρπών. Αρχικά η μέτρηση γινόταν δύο φορές την εβδομάδα, ενώ αυξήθηκε η συχνότητά της, όταν οι καρποί έφτασαν στο στάδιο της έναρξης αλλαγής του χρωματισμού.

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν την εμπορεύσιμη και μη παραγωγή ήταν τυχαιοποιημένες πλήρεις ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις ανά θερμοκήπιο (μεταχείριση) και 6 φυτά ανά επανάληψη, ενώ για την ανάλυση των δεδομένων που αφορούν στη σύσταση των καρπών

(οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) χρησιμοποιήθηκε το πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο, με τέσσερις επαναλήψεις ανά θερμοκήπιο (μεταχείριση) και τρεις ή τέσσερις καρπούς ανά επανάληψη. Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με το νέο τεστ πολλαπλών ευρών Duncan, σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 (στατιστικό πακέτο SPSS 10).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το θερμοκήπιο Θ2, με τη μικρότερη διαπερατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία, είχε σημαντικά υψηλότερη συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή καρπών σε σύγκριση με το θερμοκήπιο Θ1 που είχε τη μεγαλύτερη διαπερατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (Πιν. 1). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα άλλων ερευνών για την τομάτα [2].

Πίνακας 1. *Συνολική παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών (kg/m^2).*

Θερμοκήπιο(Μεταχείριση)	***n(Αριθμ. Επαναλ.)***	
Θ1	4	7,990 β
Θ2	4	9,595 α

Από τα αίτια που κατέστησαν τους καρπούς μη εμπορεύσιμους, σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκηπίων βρέθηκαν στις προσβολές από έντομα. Το μεγαλύτερο ποσοστό βρέθηκε στο θερμοκήπιο Θ1 (Πιν. 2).

Πίνακας 2. *Ποσοστό των καρπών που παρουσιάζουν προσβολές από έντομα*

Στον παραπάνω πίνακα δεν παρουσιάζονται οι συγκομιδές κατά τις οποίες το μέγεθος των προσβολών ήταν 0, 1, 2, 3.

DAT	***94***	***98***	***101***	***108***	***112***
Θ1	17,14a n = 4	26,55a n = 4	15,50a n = 4	18,75 n = 4	11,35a n = 4
Θ2	3,13b n = 4	3,40b n = 4	7,92a n = 4	0,00 n = 4	2,27b n = 4

Γενικά, και άλλες έρευνες [1, 2, 3, 12] έχουν επιβεβαιώσει τη μείωση των προσβολών από έντομα σε καλλιέργειες υπό κάλυψη με υλικά απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα η χρήση των υλικών αυτών να οδηγεί στον περιορισμό της χρήσης φυτοπροστατευτικών ουσιών και στη μη επιβάρυνση των παραγόμενων καρπών από υπολείμματα φυτοφαρμάκων.

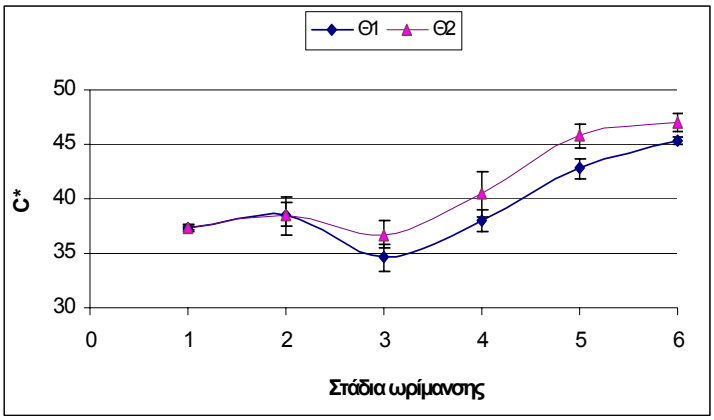
Συνεπώς, η μειωμένη συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή καρπών που βρέθηκε στον μάρτυρα (Θ1), οφείλεται στο γεγονός ότι στο θερμοκήπιο αυτό παρατηρήθηκαν υψηλότερα ποσοστά μη εμπορεύσιμων καρπών λόγω των προσβολών από έντομα (Πιν. 1).

Δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των καρπών των δύο θερμοκηπίων στον ειδικό όγκο (0,935-0,954 g cm^{-3}), το pH (3,24-4,20), την οξύτητα (0,31-0,41% κιτρικό οξύ), τα διαλυτά στερεά συστατικά (4,25-5,53%), το ασκορβικό οξύ (6,67-10,75 mg 100g^{-1}) και το λυκοπένιο (2,23-4,13 mg 100g^{-1}).

Η μεταβολή των παραμέτρων του χρώματος σε σχέση με το στάδιο ωρίμανσης των καρπών και στα δύο θερμοκήπια έδειξε ότι το L* και το H^o μειώνονται προοδευτικά με

την ωρίμανση (δεδομένα δεν παρουσιάζονται), ενώ αντίθετα το C* αυξάνεται από το στάδιο 4 της ωρίμανσης (Σχ. 1). Σε όλα τα στάδια ωρίμανσης δε βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους του χρώματος L* και H* μεταξύ των καρπών που συγκομίστηκαν από τα δύο θερμοκήπια (δεδομένα δεν παρουσιάζονται).

Αντίθετα, βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην παράμετρο C*, στους καρπούς του σταδίου ωρίμανσης 5 και 6 (Σχ. 1). Υψηλότερες τιμές είχαν οι καρποί του θερμοκηπίου Θ2, με υλικά απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας, δείχνοντας ότι οι καρποί αυτοί είχαν πιο έντονο και ζωηρό κόκκινο χρώμα. Στα στάδια αυτά αναπτύσσεται το κόκκινο χρώμα και καθώς δε βρέθηκαν διαφορές στην περιεκτικότητα σε λυκοπένιο, που είναι η κύρια χρωστική, προφανώς οι διαφορές στην παράμετρο C* του χρώματος σχετίζονται με διαφορές στην περιεκτικότητα άλλων χρωστικών που συμβάλλουν σε μικρό ή μεγάλο βαθμό στο χρώμα του καρπού. Θα πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι οι μετρήσεις του χρώματος αναφέρονταν στην επιφάνεια του καρπού, ενώ οι μετρήσεις της περιεκτικότητας σε λυκοπένιο, στο σύνολο της μάζας του καρπού.



Σχήμα 1. Εξέλιξη της παραμέτρου C του χρώματος των καρπών κατά την ωρίμανση στα δύο θερμοκήπια.*

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση των υλικών των απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας στην υπό κάλυψη καλλιέργεια της τομάτας, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της εμπορεύσιμης παραγωγής, κυρίως λόγω του μικρότερου ποσοστού προσβεβλημένων καρπών από έντομα και επιπλέον προσδίδει στους καρπούς πιο έντονο και ζωηρό κόκκινο χρώμα χωρίς να επηρεάζει τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η βιομηχανία «Πλαστικά Κρήτης Α.Β.Ε.Ε.» παρείχε τα πλαστικά υλικά κάλυψης των πειραματικών θερμοκηπίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Antignus Y. 2000. Manipulation of wavelength–dependent behavior of insects. Virus Res. 71: 213-220.
2. González A. 2004. Viral diseases control with UV-blocking films in greenhouses of southern Spain. Proc. Int. Symp. on Protected Culture in a Mild-Winter Climate' Kissimmee, Florida, USA 23-27 de Marzo de 2004.
3. Espi E., Salmeron A., Monci F., Sanchez F., Moriones E. 2002. TYCLV-Control with UV-blocking plastic houses of southern Spain. Proc. XXVIth Int. Hort. Cong. S16-0-84: 1520-1540.
4. Nigel P., Gwynn-Jones D. 2003. Ecological roles of solar UV radiation: towards an integrated approach. Review. TRENDS in Ecology and Evolution. 18: 48-55.
5. Cockell C., Southern A., Herrera A. 2000. Lack of UV radiation in biosphere. 2-Practical and theoretical effects on plants. Ecol. Eng. 16: 293-299.
6. Fillela I., Peñuelas J. 1999. Altidunal differences in UV absorbance, UV reflectance and related morphological traits of *Quercus ilex* and *Rhododedron ferrugineum* in the Mediterranean region. Plant Ecology 145: 157-165.
7. Grierson D., Kader A. A. 1986. Fruit ripening and quality. In: J.G. Atherton and J. Rudich (Eds), 'The tomato crop. A Scientific basis for improvement'. pp. 241-280. Chapman and Hall, London.
8. Shiozaki Noriko, Tezuka Takafumi. (1997). Solar UV radiation on the Earth's surface is an essential factor for plant growth. Nagoya University, Japan. Abstract: 406, Session : 45, Session Name: Environ. Response & Adaptation.
9. Unit Rubatzky V.E and M. Yamaguchi, 1997. World Vegetables. Principles, Production and Nutritive Values. 2nd Edition, Chapman and Hall, N.Y., USA, 843p.
10. United States Department of Agriculture (USDA). Agricultural Marketing Service. Fruit and Vegetable Division. Fresh Products Branch. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. Effective October 1, 1991 *(Reprinted - January 1997*). http://www.ams.usda.gov/standards/tomatfrh.
11. Mencarelli F., Satveit M. E. Jr. 1988. Ripening of mature-green tomato fruit slices. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113: 742
12. Costa H. S., Robb K. L., Wilen C.A. 2002. Field trials measuring the effects of UV absorbing greenhouse films on insect populations. J. Econ. Entomol. 95: 113-120.

ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Ι. ΓΡΑΒΑΛΟΣ, Ι. ΡΑΠΤΗΣ, Δ. ΚΑΤΕΡΗΣ, Ι. ΒΕΛΙΩΤΗΣ, Γ. ΣΕΡΑΦΕΙΜ

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, Τ.Κ. 411 10, Λάρισα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η απώλεια υδραυλικής ισχύος είναι από τις σημαντικότερες βλάβες του υδραυλικού συστήματος, που οφείλεται στη φθορά των επιμέρους εξαρτημάτων της αντλίας. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε μία συσκευή μέτρησης τεχνικών παραμέτρων όπως είναι η πραγματική παροχή της αντλίας, η πίεση και η θερμοκρασία του λαδιού. Η συσκευή αυτή αποτελείται από έναν υδραυλικό κινητήρα, μία ταχομετρική γεννήτρια και μία σειρά άλλων συμπληρωματικών εξαρτημάτων, που επιτρέπουν την απευθείας σύνδεσή της με το εξωτερικό υδραυλικό κύκλωμα του ελκυστήρα. Πρόκειται για μία μη επεμβατική, απλή, γρήγορη και αξιόπιστη μέθοδο αξιολόγησης της τεχνικής κατάστασης της αντλίας του υδραυλικού συστήματος των γεωργικών ελκυστήρων.

A DIAGNOSIS DEVICE FOR APPRECIATING THE TECHNICAL CONDITION OF THE HYDRAULIC PUMP OF AGRICULTURAL TRACTORS

I. GRAVALOS, I. RAPTIS, D. KATERIS I. VELIOTIS, G. SERAFIM

Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology, Department of Agricultural Machinery & Irrigation, 41110, Larissa, Greece.

ABSTRACT

The hydraulic power loss is one of the significant failures of the hydraulic system, caused by the ware of pump components. For this reason a measuring device of the technical parameters such as pump delivery, oil pressure and temperature, has been developed. This device is composed by a hydraulic motor, a tachogenerator and other complementary components and is connected to the external hydraulic circuit of the tractor. It is a non-contact, simple, quick and reliable method for appreciating the technical condition of the hydraulic pump of agricultural tractors.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βλάβες του υδραυλικού συστήματος είναι από τις πλέον συνηθισμένες βλάβες των γεωργικών ελκυστήρων. Βλάβη του υδραυλικού συστήματος είναι κάθε συμβάν που έχει σαν αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία του. Σύμφωνα με τους Μαυρίδη [1] και Kepner et al. [2], η ανεύρεση των βλαβών θα πρέπει να βασίζεται σε μία λογική ανάλυση, που να οδηγεί σε χρήσιμα και γρήγορα συμπεράσματα.

Οι κατασκευαστές γεωργικών ελκυστήρων, για να βοηθήσουν στην ανεύρεση των βλαβών, συμπεριλαμβάνουν διαγνωστικούς πίνακες στα εγχειρίδια επισκευών τους [3], [4]. Η κωδικοποίηση των βλαβών γίνεται συνήθως με τον ακόλουθο τρόπο:

- Ακινητοποίηση της ανάρτησης τριών σημείων. Πιθανά αίτια, η ύπαρξη ξένων σωματιδίων στη βαλβίδα κατευθύνσεως ή εμπλοκή του συστήματος αυτόματης ρύθμισης.
- Το υδραυλικό κύκλωμα δε διασφαλίζει την απαιτούμενη ταχύτητα στους βραχίονες ανύψωσης. Πιθανά αίτια, η φθορά της αντλίας ή κακή στεγανότητα του κυκλώματος.
- Η ανυψωτική ικανότητα είναι μικρότερη της προβλεπόμενης. Πιθανά αίτια, η μειωμένη απόδοση της αντλίας ή εσφαλμένη ρύθμιση της βαλβίδας ανακουφίσεως.

Ένα δεύτερο βοήθημα για τον εντοπισμό των βλαβών αποτελούν οι διαγνωστικοί αλγόριθμοι [5], [6], [7]. Στο ολοκληρωμένο διάγραμμα ροής της ακολουθούμενης διαγνωστικής διαδικασίας για το υδραυλικό κύκλωμα των γεωργικών ελκυστήρων περιλαμβάνονται: τα βήματα (1, 2), με τα οποία ελέγχεται η κατάσταση του υδραυλικού ρευστού, τα βήματα (3 ÷ 7), με τα οποία γίνεται έλεγχος και αποκαθίστανται τα φθαρμένα μηχανικά στοιχεία, τα βήματα (8 ÷ 14), με τα οποία πραγματοποιείται έλεγχος του υδραυλικού κυκλώματος και το βήμα (15), με το οποίο γίνεται ο τελικός έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος ανάρτησης τριών σημείων. Πρόκειται για την κωδικοποίηση λογικών ενεργειών που απαιτούνται στην ανεύρεση των βλαβών [8], [9].

Τα τελευταία χρόνια, για την ανεύρεση των βλαβών, χρησιμοποιήθηκαν έμπειρα συστήματα (expert systems) [10], [11]. Τα έμπειρα συστήματα αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο γρήγορων και αποτελεσματικών αποφάσεων για την επίλυση τεχνικών προβλημάτων, που μειώνουν σημαντικά το κόστος των επισκευών. Η δημιουργία βάσης γνώσης είναι μία σύνθετη διαδικασία, που βασίζεται στη συλλογή γνώσεων από ειδικούς και την κωδικοποίησή τους ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το έμπειρο σύστημα. Ένα έμπειρο σύστημα ανεύρεσης βλαβών του υδραυλικού συστήματος των γεωργικών ελκυστήρων παρουσιάζεται από τους Gaultney et al. [12], του οποίου η βάση γνώσης υλοποιήθηκε σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια του κατασκευαστή, ως μία ακολουθία από 56 διαγνωστικά βήματα.

Τα ανωτέρω βοηθήματα απευθύνονται κυρίως σε εξειδικευμένους μηχανικούς. Για το λόγο αυτό στην πράξη η συνηθέστερη μέθοδος που συναντά κάποιος είναι η αντικατάσταση των ύποπτων στοιχείων του υδραυλικού συστήματος και η εκτέλεση δοκιμών έως ότου εντοπιστεί η πραγματική αιτία του προβλήματος [13], [1].

Στην παρούσα εργασία, για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων που να αφορούν την τεχνική κατάσταση του υδραυλικού συστήματος των γεωργικών ελκυστήρων, προτείνεται η μέτρηση βασικών παραμέτρων του, όπως είναι: η παροχή της αντλίας Q [$dm^3 \cdot min^{-1}$], η πίεση του υδραυλικού ρευστού p [MPa], η θερμοκρασία του υδραυλικού ρευστού T [ºC] και η ανυψωτική ικανότητα F_z [N]. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μία συσκευή μέτρησης της πραγματικής παροχής της αντλίας, της πίεσης και της θερμοκρασίας του υδραυλικού ρευστού. Πρόκειται για μία μη επεμβατική, απλή, γρήγορη και αξιόπιστη διαγνωστική μέθοδο αξιολόγησης της τεχνικής κατάστασης της αντλίας, η οποία σε συνδυασμό με ένα δυναμόμετρο μέτρησης της ανυψωτικής δύναμης

θα μπορούσε να δώσει μία συνολική εικόνα της κατάστασης του υδραυλικού συστήματος των γεωργικών ελκυστήρων.

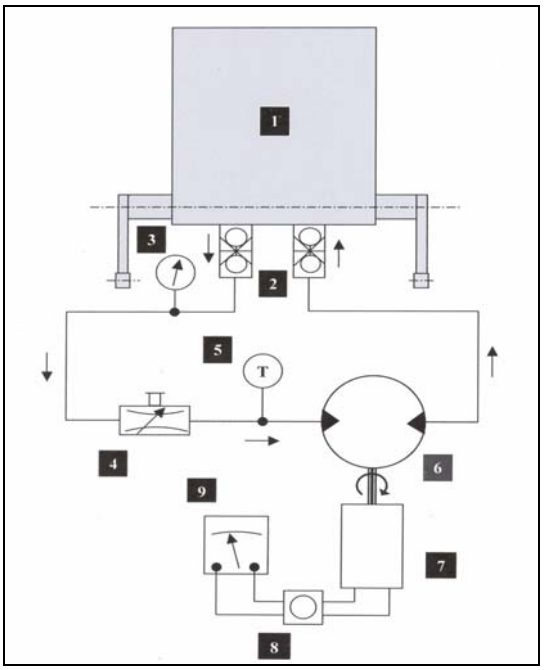
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η απώλεια υδραυλικής ισχύος είναι από τις σημαντικότερες βλάβες του υδραυλικού συστήματος, που οφείλεται στη φθορά των επιμέρους εξαρτημάτων της αντλίας. Με την προϋπόθεση ότι η βαλβίδα κατευθύνσεως του υδραυλικού κυκλώματος είναι εντελώς ανοιχτή, ο όγκος του λαδιού στη μονάδα του χρόνου θα πρέπει να ισούται με τη θεωρητική παροχή και επομένως είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η απώλεια υδραυλικής ισχύος της αντλίας, από τη σχέση:

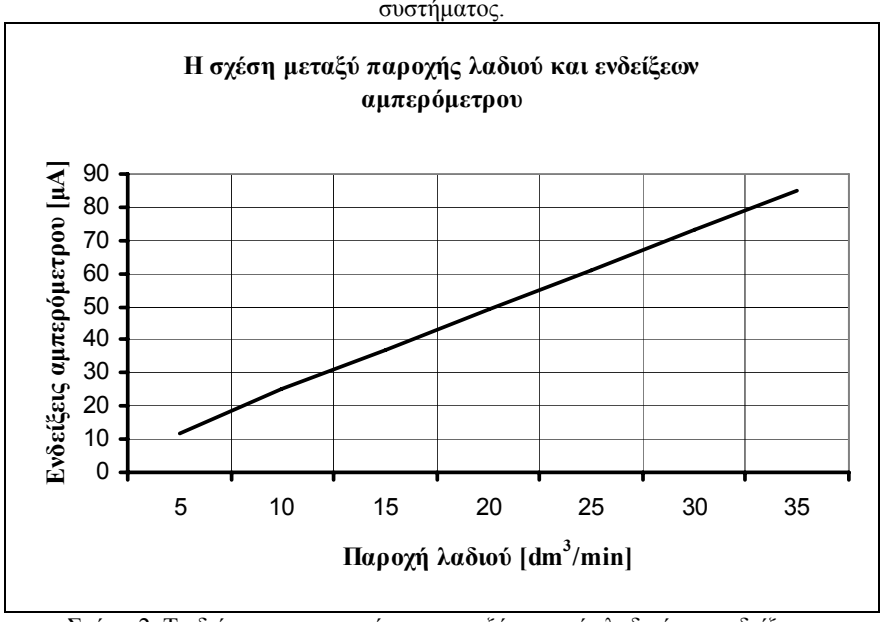
$$P_c=p\cdot(Q_t-Q) \qquad \{1\}$$

Όπου: P_c – είναι η απώλεια υδραυλικής ισχύος της αντλίας [W]. Η τιμή P_c είναι ένα διαγνωστικό σήμα διά του οποίου μπορούμε να αξιολογήσουμε την τεχνική κατάσταση της αντλίας. p – είναι η πίεση του υδραυλικού ρευστού [Pa]. Q_t – είναι η θεωρητική παροχή της αντλίας [$m^3\cdot s^{-1}$]. Q – είναι η πραγματική παροχή της αντλίας [$m^3\cdot s^{-1}$].

Συνήθως για τη μέτρηση της παροχής χρησιμοποιούνται διάφορα ροόμετρα, που παρεμβάλλονται στη γραμμή ροής την οποία θέλουμε να μετρήσουμε. Όμως, πρόκειται για μία επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε μία συσκευή μέτρησης της πραγματικής παροχής της αντλίας, της πίεσης και της θερμοκρασίας του υδραυλικού ρευστού, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Η συσκευή αυτή συνδέεται απευθείας στο εξωτερικό κύκλωμα του υδραυλικού συστήματος (1) του γεωργικού ελκυστήρα με τη βοήθεια ταχυσυνδέσμων (2). Πριν την είσοδο του ρευστού μέσου στον υδραυλικό κινητήρα, παρεμβάλλεται μία μεταβλητή στένωση (4), η οποία χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της πίεσης του ρευστού μέσου. Ο υδραυλικός κινητήρας (6) της Riva Calzoni αποτελεί το κυριότερο στοιχείο της συσκευής και συνδέεται διαμέσου ενός μηχανικού συνδέσμου με μία ταχομετρική γεννήτρια (7) της Atlas Elektromotory. Τα δύο αυτά στοιχεία συγκροτούν ουσιαστικά ένα μετατροπέα της υδραυλικής ισχύος σε ηλεκτρικό σήμα. Για την καταγραφή του σήματος χρησιμοποιήθηκε ένα αμπερόμετρο (9) και για να αυξηθεί η περιοχή μέτρησης του βασικού οργάνου συνδέθηκε παράλληλα μία αντίσταση διακλάδωσης (8). Επειδή η υδραυλική ισχύς της αντλίας δεν εξαρτάται μόνο από τη φθορά των εξαρτημάτων της, αλλά σε ένα βαθμό από τη θερμοκρασία και το ιξώδες του ρευστού μέσου, συνδέθηκε στο κύκλωμα ένα θερμόμετρο (5). Η έξοδος της συσκευής δεν δίνει απευθείας την παροχή του λαδιού σε [$dm^3\cdot min^{-1}$] αλλά σε [μA] και για το λόγο αυτό έγινε βαθμονόμησή της με τη βοήθεια ενός ογκομετρικού δοχείου. Η σχέση ανάμεσα στα [μA] και την παροχή λαδιού δίνεται με τη χαρακτηριστική καμπύλη του σχήματος 2. Κατά τη διαδικασία μέτρησης παροχής της αντλίας, η πίεση του λαδιού στο υδραυλικό κύκλωμα θα πρέπει να είναι σταθερή περίπου στα 12 MPa και η θερμοκρασία να κυμαίνεται από 40 έως 60 ˚C. Η μέτρηση θα πρέπει να αρχίζει από τις χαμηλές στροφές του κινητήρα (600min^{-1}) και να επεκτείνεται σταδιακά έως τις ονομαστικές (2350min^{-1}).



Σχήμα 1. Διαγνωστική συσκευή αξιολόγησης της κατάστασης του υδραυλικού συστήματος.



Σχήμα 2. Το διάγραμμα της σχέσεως μεταξύ παροχής λαδιού και ενδείξεων αμπερόμετρου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα υδραυλικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στα αυτοκινούμενα γεωργικά μηχανήματα είναι παρόμοια με τα συστήματα των βιομηχανικών εφαρμογών, όμως δεν πρέπει να αγνοούμε ορισμένες ιδιαιτερότητές τους, που είναι κατασκευαστικής μορφής. Οι ιδιαιτερότητες αυτές επιβάλλονται από τις ειδικές συνθήκες εργασίας των γεωργικών μηχανημάτων. Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στα γεωργικά μηχανήματα, λόγω των συνθηκών λειτουργίας, απαιτούν αντοχή σε αυξομειώσεις της πιέσεως, αντοχή στα κρουστικά κύματα και αντοχή στη ρύπανση. Οι στροφές λειτουργίας των αντλιών στα γεωργικά μηχανήματα ποικίλλουν από 500 ÷ 600 [min^{-1}] έως 2500 ÷ 3000 [min^{-1}], ενώ οι πιέσεις συχνά φθάνουν τα 18 ÷ 20 MPa. Πρόκειται για υδραυλικές αντλίες οδοντωτού τύπου, που η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη μεταφορά του ρευστού μέσου μεταξύ δύο οδοντωτών τροχών. Ο ένας από τους δύο οδοντωτούς τροχούς συνδέεται με τον κινητήριο άξονα. Οι χώροι καταθλίψεως που δημιουργούνται μεταξύ των δοντιών περικλείονται από το σώμα της αντλίας. Η αντλία οδοντωτού τύπου είναι αντλία κυρίως μικρών και μεσαίων παροχών. Η ικανότητά της να παρουσιάζει ανοχή σε ρευστό μέσο που δεν είναι απόλυτα καθαρό και σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος την καθιστούν ιδανική για τα γεωργικά μηχανήματα.

Για την πειραματική επαλήθευση της διαγνωστικής συσκευής χρησιμοποιήθηκαν 20 γεωργικοί ελκυστήρες του οίκου Same Deutz-Fahr Group. Ο καθένας από τους ελκυστήρες αυτούς είχε διαφορετικές ώρες λειτουργίας, κάτω από διαφορετικές συνθήκες εργασίας. Πρόκειται για ελκυστήρες Lamborghini 674-70 και 774-80 της σειράς Grand Prix με τελική ισχύ 51.4 και 58.8 kW αντιστοίχως. Και οι δύο τύποι ελκυστήρων διαθέτουν υδραυλικό σύστημα με αντλία οδοντωτού τύπου του οίκου Bosch, με μέγιστη παροχή λαδιού 33 $dm^3 \cdot min^{-1}$, ανυψωτική ικανότητα 2944 και 3080 kg αντιστοίχως και ανάρτηση τριών σημείων κατηγορίας ΙΙ. Κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης διαγνωστικού ελέγχου σε ένα υδραυλικό σύστημα θα πρέπει να έχουμε υπόψιν μας τις τεχνικές παραμέτρους του κατασκευαστή. Οι τιμές των παραμέτρων του συγκεκριμένου υδραυλικού κυκλώματος δίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τεχνικοί παράμετροι υδραυλικού κυκλώματος.

Τεχνικοί παράμετροι υδραυλικής αντλίας					Βαλβίδες ανακούφισης	
Στροφές Κινητήρ. [min^{-1}]	Στροφές Αντλίας [min^{-1}]	Παροχή Λαδιού [dm^3/min]	Πίεση Λαδιού [MPa]	Θερμοκρ. Λαδιού [ºC]	Υδραυλ. Αντλίας [MPa]	Υδραυλ. Κινητήρ. [MPa]
600	550	6	12	40	17.5	18
2350	1920	33	12	40	17.5	18

Στη συνέχεια, στον πίνακα 2 δίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών της διαγνωστικής συσκευής. Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα, γίνεται φανερό ότι η παροχή της αντλίας, ανάλογα με το μέγεθος της φθοράς που παρουσιάζει, κυμαίνεται στις χαμηλές στροφές του κινητήρα από 3.8 έως 6 $dm^3 \cdot min^{-1}$ ενώ στις ονομαστικές στροφές από 24.7 έως 33 $dm^3 \cdot min^{-1}$. Επίσης, η θερμοκρασία του λαδιού αυξάνεται καθώς αυξάνονται οι απώλειες της αντλίας σε ισχύ. Μεγαλύτερες φθορές στη αντλία του υδραυλικού συστήματος παρουσιάζονται κυρίως στους γεωργικούς ελκυστήρες, που εκτελούν εργασίες μηχανικής κατεργασίας του εδάφους. Στην περίπτωση του γεωργικού ελκυστήρα με αύξοντα αριθμό (6), που χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο στη μεταφορά αγροτικών προϊόντων, η αντλία δεν παρουσιάζει απώλειες.

Τα στοιχεία του πίνακα 2, παρουσιάζουν την απόκλιση της παροχής από τις επιθυμητές τιμές, στις χαμηλές και ονομαστικές στροφές. Όμως, για να έχουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα της τεχνικής κατάστασης της αντλίας, θα πρέπει με τη βοήθεια της διαγνωστικής συσκευής, να κατασκευάσουμε το διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες παροχής της αντλίας. Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η σύγκριση των χαρακτηριστικών μεταξύ της θεωρητικής και πραγματικής παροχής της αντλίας, για το γεωργικό ελκυστήρα με αύξοντα αριθμό (19), κάτω από σταθερή πίεση 12 MPa του υδραυλικού κυκλώματος. Η τιμή της διαφοράς ΔQ εάν τοποθετηθεί στην ανωτέρω σχέση {1}, δίνει την απώλεια υδραυλικής ισχύος της αντλίας στις ονομαστικές στροφές του κινητήρα.. Είναι λοιπόν φανερό ότι η υδραυλική αντλία του συγκεκριμένου ελκυστήρα παρουσιάζει σημαντική απώλεια ισχύος και για το λόγο αυτό θα πρέπει σύντομα να αντικατασταθεί.

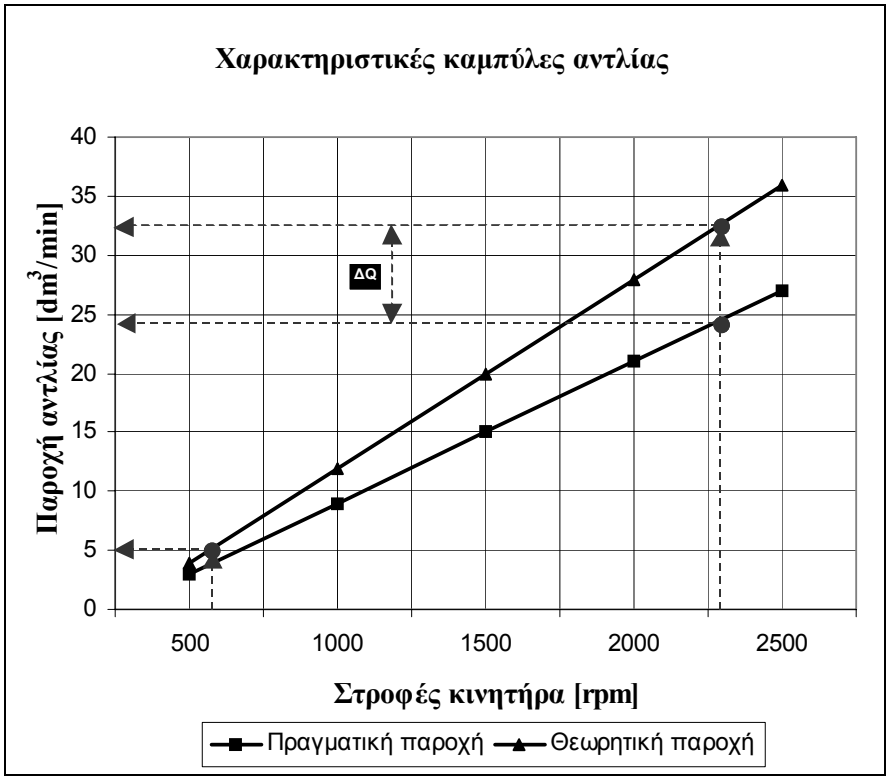
Ο αντικειμενικός σκοπός μας είναι η δημιουργία μίας διαγνωστικής συσκευής, η οποία να είναι όσο το δυνατόν πιο φιλική προς το χρήστη. Γι' αυτό λοιπόν αποφασίστηκε η αντικατάσταση του αρχικού υδραυλικού κινητήρα της Riva Calzoni με έναν άλλο κινητήρα της εταιρείας EATON, ο οποίος προσφέρει τη δυνατότητα της απευθείας προσαρμογής στο σώμα του ενός αισθητήρα ανίχνευσης της ταχύτητας περιστροφής (speed sensor). Ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι απόλυτα συμβατός με το ηλεκτρικό σύστημα των αυτοκινούμενων οχημάτων και δίνει στην έξοδό του μία παλμοσειρά. Επομένως, είναι αρκετά εύκολο με τη βοήθεια ενός απαριθμητή να μετρηθεί ο αριθμός των παλμών (I) για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Εφόσον είναι γνωστός ο γεωμετρικός όγκος του υδραυλικού κινητήρα (V), δύναται να υπολογιστεί με ακρίβεια η πραγματική παροχή (Q) του, από την ακόλουθη σχέση:

$$Q = I \cdot V \qquad \{2\}$$

Τέλος, με τη βοήθεια κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων, παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να διαβάζει απευθείας, από το στοιχείο απεικόνισης, την απώλεια υδραυλικής ισχύος της αντλίας. Η απώλεια υδραυλικής ισχύος αποτελεί σημαντικό διαγνωστικό σήμα για την αξιολόγηση της τεχνικής κατάστασης της αντλίας του υδραυλικού συστήματος των γεωργικών ελκυστήρων.

Πίνακας 2: Αποτελέσματα δοκιμών διαγνωστικής συσκευής.

Α/Α	Τύπος Ελκυστ.	Ώρες Λειτουργ. [mth]	Παροχή λαδιού [dm^3/min]		Πίεση Λειτουργ. [MPa]	Θερμ. Λαδ. [ºC]	Παρατηρ.
			Στροφές κιν. [min^{-1}]				
			600	2350			
1	L 674-70	558	6	33	12	42	Καινούργ. ελκ.
2	L 674-70	1553	5.9	33	12	42	Σχετικ. Καινούργ. ελκ.
3	L 674-70	2155	5.7	32.5	12	43	Διάφ. εργασ.
4	L 674-70	2640	5.0	28	12	46	Εργασ. κατεργ. εδάφ.
5	L 674-70	2948	5.7	32	12	43	Διάφ. εργασ.
6	L 674-70	3124	5.9	33	12	42	Μεταφ. αγρ. προϊόντων
7	L 674-70	3825	5.2	28.5	12	45	Εργασ. κατεργ. εδάφ.
8	L 674-70	4220	5.5	31	12	43	Διάφ. εργασ.
9	L 674-70	4757	5.1	28	12	45	Εργασ. κατεργ. εδάφ.
10	L 674-70	5329	5.5	31.5	12	43	Διάφ. εργασ.
11	L 774-80	1123	5.9	32.5	12	42	Σχετικ. Καινούργ. ελκ.
12	L 774-80	1689	5.8	32	12	42	Σχετικ. Καινούργ. ελκ.
13	L 774-80	2235	5.6	31.5	12	43	Διάφ. εργασ.
14	L 774-80	2586	5.7	32	12	42	Διάφ. εργασ.
15	L 774-80	3421	5.5	31	12	44	Διάφ. εργασ.
16	L 774-80	3647	5.1	28	12	46	Διάφ. εργασ.
17	L 774-80	4562	5.3	29	12	45	Διάφ. εργασ.
18	L 774-80	4758	5.3	29.5	12	45	Διάφ. εργασ.
19	L 774-80	5315	3.8	24.7	12	50	Εργασ. κατεργ. Εδάφ.
20	L 774-80	7945	5.8	32	12	42	Η αντλία είχε αντικατ.



Σχήμα 3. Σύγκριση των χαρακτηριστικών μεταξύ θεωρητικής και πραγματικής παροχής της αντλίας, του γεωργικού ελκυστήρα με αύξοντα αριθμό (19).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οι αντλίες είναι το σπουδαιότερο στοιχείο ενός υδραυλικού συστήματος, το πιο ευαίσθητο και το πιο ακριβό. Μία υδραυλική αντλία καταθλίβει θεωρητικώς το μέγιστο ποσό ρευστού, όταν η βαλβίδα κατευθύνσεως είναι εντελώς ανοιχτή. Όμως, στην πραγματικότητα, η παροχή της αντλίας περιορίζεται λόγω φθοράς των επιμέρους στοιχείων της.
2. Η κωδικοποίηση των ενεργειών, που απαιτούνται για την ανεύρεση των διαφόρων βλαβών σε ένα υδραυλικό σύστημα, στην πράξη είναι αρκετά δύσκολη. Οι κατασκευάστριες εταιρείες προτείνουν τη χρήση διαγνωστικών πινάκων και αλγορίθμων. Τα τελευταία χρόνια, για την επίλυση πολύπλοκων τεχνικών προβλημάτων, χρησιμοποιούνται έμπειρα συστήματα, ως ένα εργαλείο γρήγορων και αποτελεσματικών αποφάσεων.
3. Επειδή τα ανωτέρω βοηθήματα απευθύνονται κυρίως σε εξειδικευμένους μηχανικούς, για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων, που να αφορούν την τεχνική κατάσταση της αντλίας του υδραυλικού συστήματος των γεωργικών ελκυστήρων, προτείνεται μία συσκευή μέτρησης της πραγματικής παροχής, της

πίεσης και της θερμοκρασίας του υδραυλικού ρευστού. Πρόκειται για μία μη επεμβατική, απλή, γρήγορη και αξιόπιστη διαγνωστική μέθοδο.

4. Για την πειραματική επαλήθευση αυτής της διαγνωστικής συσκευής χρησιμοποιήθηκαν 20 γεωργικοί ελκυστήρες. Ο καθένας από τους ελκυστήρες αυτούς είχε διαφορετικές ώρες λειτουργίας, κάτω από διαφορετικές συνθήκες εργασίας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών, γίνεται φανερό ότι η παροχή της αντλίας, ανάλογα με το μέγεθος της φθοράς που παρουσιάζει, κυμαίνεται στις χαμηλές στροφές του κινητήρα από 3.8 έως 6 $dm^3 \cdot min^{-1}$ ενώ στις ονομαστικές στροφές από 24.7 έως 33 $dm^3 \cdot min^{-1}$.
5. Για να έχουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα της τεχνικής κατάστασης της αντλίας, θα πρέπει με τη βοήθεια της διαγνωστικής συσκευής, να κατασκευάσουμε το διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες παροχής της αντλίας. Η τιμή της διαφοράς (ΔQ) μεταξύ θεωρητικής και πραγματικής παροχής, επιτρέπει τον προσδιορισμό της απώλειας υδραυλικής ισχύος της αντλίας στις εκάστοτε στροφές του κινητήρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μαυρίδης, Δ., Α., 1987. *Εγχειρίδιο υδραυλικών συστημάτων. Επισκόπηση μίας νέας τεχνολογίας.* Βιομηχανική Τεχνολογία Α.Ε., Αθήνα.
2. Kepner, R., A., Bainer, R., Barger, E., L., 2000. *Principles of Farm Machinery.* CBS Publishers and Distributors. New Delhi.
3. Vickers Systems, 1976. *Trouble Shooting Algorithm.* Havant.
4. Trattori Lamborghini S.p.A., 1992. *Hydraulic Lift System.* Technical Service Literature.
5. Keller, G., 1978. *Hydraulic system analysis.* Cleveland.
6. Janousek, I., Kozak, J., Taraba, O., a kol., 1988. *Technicka Diagnostika.* Nakladatelstvi Technicke Literatury, Praha.
7. Sachenbacher, M., Struss, P., 1997. Fault Isolation in the Hydraulic Circuit of an ABS: A Real-World Reference Problem for Diagnosis. *8th International Workshop on Principles of Diagnosis (DX-97).* France.
8. Harms, H., H., 1980. Energiesparung durch Systemwahl in der Mobilhydraulik. *VDI-Zeitschrift, 122/30.*
9. Αυγερινός, Γ., 1996. *Υδραυλικό σύστημα και αυτοματισμοί υψηλής πίεσης.* Εκδόσεις Φούντας. Αθήνα.
10. Dressler, O., 1996. On-line Diagnosis and Monitoring of Dynamic Systems based on Qualitative Models and Dependency-based Diagnosis Engines. *In Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-96).* Budapest.
11. Angeli, C., 1999. *An on-line expert system for fault diagnosis in hydraulic systems.* Expert Systems, Vol. 16, Issue 2, p: 115-123.
12. Gaultney, L., D., Harlow, S., D., Ooms, W., 1989. An expert system for troubleshooting tractor hydraulic systems. *Computers and Electronics in Agriculture,* Vol. 3, p: 177-187.
13. Havlicek, J., a kol., 1983. *Provozni spolehlivost stroju*. Statni zemedelske nakladatelstvi, Praha.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Θ.Α. Γιαλαμάς[1], Ι.Γ. Γράβαλος[1], Αγ.Θ. Φιλίντας[1], Ζ.Ι.Κουτσοφίτης[1], Α.Ι.Ιωσηφίδης[2], Δ.Λ. Κατέρης[1], Κ.Α. Τσατσαρέλης[2]

[1]Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών. Τομέας Γεωργικής Μηχανικής Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας. Τ.Κ.41110 Λάρισα.

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

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 (Κ) 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.

Λέξεις κλειδιά: Συντελεστής παραμόρφωσης εδάφους, ολίσθηση.

DETERMINATION OF COEFFICIENT DEFORMATION OF SOIL BY EXPERIMENTAL VEHICLE

Th.A. Gialamas[1], I.G. Gravalos[1], Ag.Th. Filintas[1], Z.I. Koutsofitis[1], A.I. Iosifidis[2], D.L. Kateris[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.

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

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 constitution, the bulk density and the moisture of the soil is previously specified.

Keywords: Soil deformation Coefficient, slipping.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσδιοριστεί ο συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους, το μέγεθος της ελκτικής δύναμης που αναπτύσσει ένας ερπυστριοφόρος 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 [4, 6] 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 [3, 8]. Η πρόβλεψη του μεγέθους της ελκτικής δύναμης σ΄ ένα ερπυστριοφόρο γεωργικό ελκυστήρα ο οποίος κινείται σε καθορισμένο έδαφος, μπορεί να πραγματοποιηθεί με την μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου [5, 7, 8] και να περιγραφεί από απλές μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες στηρίζονται στις ιδιότητες του εδάφους, με προσδιορισμό της μέγιστης διατμητικής τάσης που εφαρμόστηκε από την 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 ερπυστριοφόρου ελκυστήρα, tanφ = συντελεστής τριβής μεταξύ του πέδιλου της ερπύστριας 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 της ερπύστριας λόγω πρόσθετης δύναμης στην έλξη, l = μήκος κίνησης της ερπύστριας και K= συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.

Ο προσδιορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους με τη βοήθεια πειραματικού οχήματος ερπυστριοφόρου γεωργικού ελκυστήρα(γ.ε.), πραγματοποιείται σε μία εδαφολεκάνη η οποία έχει τις εξής διαστάσεις: πλάτος 1,10 m, μήκος 5,00 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 σ' όλες τις διαδοχικές δοκιμές. Πάνω στο έδαφος τοποθετείται το ομοίωμα ενός πειραματικού ερπυστριοφόρου ελκυστήρα ο οποίος έχει διαστάσεις πλάτος 0,40 m, μήκος 1,05 m, ύψος 0,42 m και κινείται με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα. Το βάρος του είναι 95,0 kg, το ενεργό μήκος των ερπυστριών του είναι 0,54 m και το πλάτος της ερπύστριας είναι 0,10 m. Στο πρόσθιο τμήμα του ερπυστριοφόρου ελκυστήρα, υπάρχει ειδική μεταλλική βάση για την τοποθέτηση πρόσθετου φορτίου βάρους 8,0 kg. Το φορτίο αυτό έχει την δυνατότητα μετατόπισης

Σχήμα 1. Πειραματικός ερπυστριοφόρος ελκυστήρας κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

σε οριζόντια απόσταση από 0 μέχρι 0,35 m, με σκοπό να μεταβάλλεται η κατανομή της δύναμης πίεσης στον πρόσθιο άξονα της ερπύστριας κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Ο ερπυστριοφόρος ελκυστήρας φορτίζεται κατά τις δοκιμές, μέσω συστήματος συρματόσχοινου και τροχαλιών, με βάρη από 10 έως 60 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 ερπυστριοφόρου 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 ερπυστριοφόρου ελκυστήρα και καταγράφονται τα διανυόμενα μήκη. Για τον υπολογισμό της σταθεράς Κ η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος της στρεπτικής πίεσης [1]. 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. Το γωνιόμετρο είναι ένας δακτύλιος που προσαρμόζεται περιφερειακά στο διατμητικό κιβώτιο και ανάλογα με τα βάρη που τοποθετούνται στην κατακόρυφη ράβδο καταγράφεται η γωνία στρέψης και η γωνία διάτμησης του εδάφους για την αντίστοιχη δύναμη που φαίνεται στο δυναμόμετρο.

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Ο υπολογισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους Κ, εξαρτάται από την επιφάνεια επαφής των ερπυστριών και από το έδαφος.

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

α/α	Βάρος συσκευής (Kg)	Γωνία Α (Θ^o)	Δύναμη Α (N)	Γωνία Β (Θ^o)	Δύναμη Β (N)
1	22,65	5°	23,544	10°	25,506
2	31,65	5°	24,525	10°	28,449
3	42,65	5°	34,335	10°	39,240
4	53,65	5°	39,240	10°	42,183
5	62,65	5°	43,164	10°	49,050
6	67,65	5°	45,125	10°	47,088

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)	Δύναμη Διάτμησης (N)	Μέσος Όρος Γωνίας Διάτμησης	Μέσος Όρος Δύναμης Διάτμησης (N)
1	15°	27,468	17°	29,430	$18,0^o$	28,449
			19°	27,468		
2	15°	33,354	20°	34,335	$20,0^o$	34,335
			20°	34,335		
3	15°	43,164	18°	44,145	$20,0^o$	45,616
			22°	47,088		
4	15°	44,145	19°	44,145	$20,5^o$	46,597
			22°	49,050		
5	15°	51,012	22°	53,955	$23,5^o$	56,597
			25°	58,860		
6	15°	52,974	25°	58,860	$24,0^o$	58,860
			23°	58,860		

Στην συνέχεια υπολογίζεται η ροπή (M_D) για κάθε περίπτωση, η ανηγμένη ροπή στρέψης Β 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 Κ. 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 3. Υπολογισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους Κ.

A/A	Για $\Theta=5^o$			(Α)	Για $\Theta=10^o$			(Β)
	M_D (Nm)	B	J_θ	K	M_D (Nm)	B	J_θ	K
1	11,772	0,8276	2,50	0,124	12,753	0,8965	3,35	0,185
2	12,262	0,7143	1,75	0,177	14,224	0,8285	2,50	0,248
3	17,177	0,7531	2,00	0,155	19,620	0,8602	2,90	0,213
4	19,620	0,8421	2,65	0,116	21,091	0,9052	3,50	0,177
5	21,582	0,7652	2,05	**0,151**	24,525	0,8695	2,95	**0,210**
6	22,563	0,7666	2,05	**0,151**	23,544	0,8000	2,30	0,269

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

α/α	Για Θ=15° (Γ)				Για Θ=Γωνία Διάτμησης (m)				M.O ki
	M_D (Nm)	B	J_θ	K	$M_{Dm(}$ Nm)	B	J_θ	K	
1	13,734	0,9655	5,35	0,173	14,224	1	10	0,110	0,148
2	16,677	0,9714	5,75	0,161	17,167	1	10	0,124	0,177
3	21,582	0,9424	4,40	**0,211**	22,808	1	10	0,124	0,175
4	22,725	0,9473	4,45	0,204	23,298	1	10	0,127	0,167
5	25,506	0,9043	3,50	0,265	28,203	1	10	0,146	0,193
6	26,397	0,9000	3,45	0,269	29,430	1	10	0,149	0,209

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

Κάθετα Φορτία (N)	Θ=5°		Θ=10°		Θ=15°		Γωνία διάτμησης	
	T (N/m^2)	J_Θ	T (N/m^2)	J_Θ	T (N/m^2)	J_Θ	T (N/m^2)	$J_{\Theta m}$
222,2	2.359,58	2,50	25.562,1	3,35	27.528,4	5,35	28.510,5	10
310,4	24.577,90	1,45	28.510,5	2,50	33.427,3	5,75	34.409,5	10
418,4	34.430,50	2,00	39.326,3	2,90	43.258,9	4,40	45.716,3	10
526,3	39.326,30	2,65	42.275,8	3,50	45.550,0	4,45	46.698,5	10
614,6	43.258,90	2,05	49.157,9	2,95	51.124,2	3,50	56.530,0	10
663,6	45.225,20	2,05	47.191,6	2,30	52.910,1	3,45	58.989,0	10

(N)	Μερικές Δυνάμεις στροφής (N)			Δυνάμεις Διάτμησης	Γωνίες Διατμ.
222,2	23,544	25,506	27,468	28,449	18,0°
310,4	24,525	28,449	33,354	34,335	20,0°
418,4	34,335	39,240	43,164	45,616	20,0°
526,3	39,240	42,183	44,145	46,597	20,5°
614,6	43,164	49,050	51,012	56,407	23,5°
663,6	45,126	47,088	52,974	58,860	24,0°

3.2. Υπολογισμός των δυνάμεων και μετατοπίσεων.

Μετά την προετοιμασία του εδάφους τίθεται σε κίνηση ο ερπυστριοφόρος ελκυστήρας ώστε να κινηθεί στον στίβο της εδαφολεκάνης τρεις έως τέσσερις φορές. Με την διαδικασία αυτή έχουν σχηματιστεί ίχνη στην επιφάνεια του εδάφους που περιέχεται στην εδαφολεκάνη με την μικρότερη οριζόντια παραμόρφωσή του. Αυτό συμβαίνει διότι δεν εφαρμόστηκε φορτίο στην οριζόντια έλξη. Στην συνέχεια καθορίζεται η θέση του ερπυστριοφόρου ελκυστήρα στην καταγραφική ταινία με ένα σημείο ως σημείο εκκίνησης. Η κίνηση πραγματοποιείται προς τα εμπρός τοποθετώντας φορτίο στην έλξη, το οποίο αυξάνεται κάθε φορά που επαναλαμβάνεται η δοκιμή. Το χρησιμοποιούμενο φορτίο στην έλξη τοποθετείται σε άγκιστρο που βρίσκεται μέσα σε μεταλλικό δικτυωτό πλαίσιο. Μετά από συγκεκριμένο χρόνο κίνησης t = 10 s, ο ερπυστριοφόρος ελκυστήρας ακινητοποιείται και γίνεται η επόμενη δοκιμή. Καθορίζεται η νέα οριζόντια θέση του, με χάραξη ενός σημείου επάνω στην καταγραφική ταινία και γίνεται μέτρηση της απόστασης από το σημείο εκκίνησης, για κάθε επανάληψη της διαδικασίας της δοκιμής. Οι δυνάμεις που αναπτύσονται μεταξύ των ερπυστριών και του εδάφους είναι διατμητικές και υπολογίζονται από την σχέση 3:

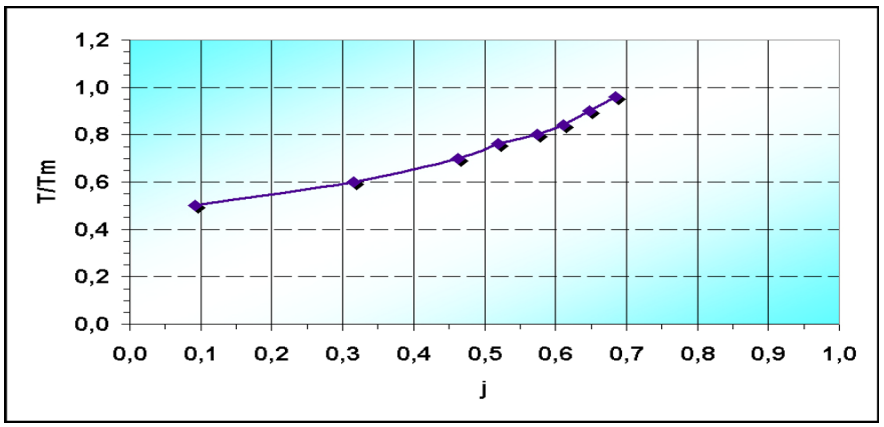
$$\tau = F/A \qquad (3)$$

όπου: τ η διατμητική τάση σε N/m^2, F η δύναμη έλξεως (N) και A η ενεργός επιφάνεια των ερπυστριών (m) η οποία υπολογίζεται από την σχέση $A=2 \cdot b \cdot L$, όπου b το πλάτος της ερπύστριας (b=0,10 m) και L το ενεργό μήκος της ερπύστριας (L=0,54 m). Η ανηγμένη μετατόπιση j υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

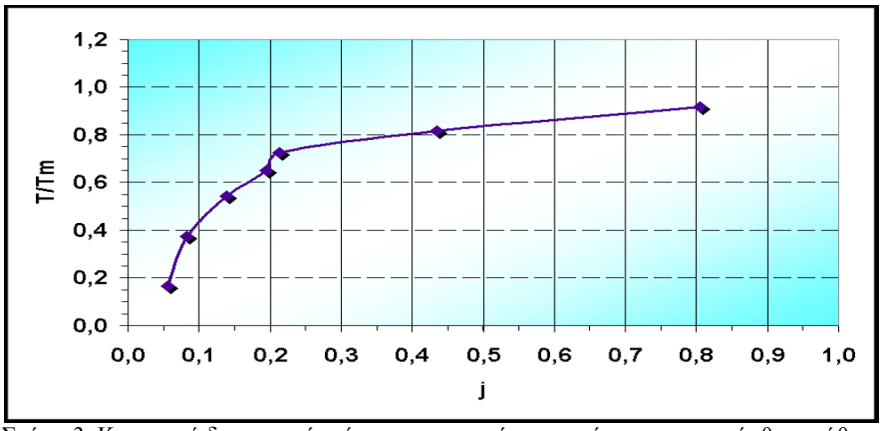
$$j = \Delta l / l \qquad (4)$$

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

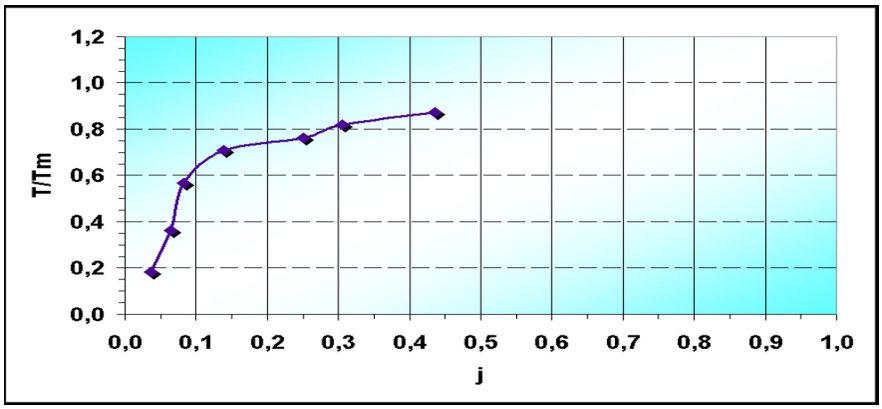
Στα σχήματα 2, 3, 4 και 5 φαίνεται η μεταβολή του λόγου της διατμητικής τάσης (T/T_m) ως προς την ανηγμένη επιμήκυνση j.



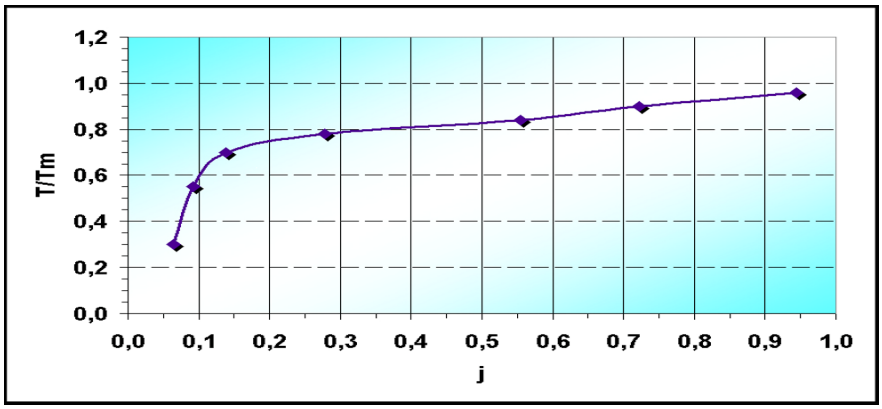
Σχήμα 2. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης χωρίς πρόσθετο κάθετο φορτίο εμπρός και φορτίο στην έλξη.



Σχήμα 3. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κάθετο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,11 m και φορτίο στην έλξη.



Σχήμα 4. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κάθετο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,22 m και φορτίο στην έλξη.



Σχήμα 5. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κάθετο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,33 m και φορτίο στην έλξη.

3.3. Μέτρηση ολίσθησης.

Προσδιορίζεται η ολίσθηση του ερπυστριοφόρου γεωργικού ελκυστήρα. χωρίς κάθετο φορτίο και με κάθετο 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 ερπυστριοφόρου ελκυστήρα τα οποία αυξάνονται διαδοχικά [3,4,5]. Τα διαφορετικά φορτία που χρησιμοποιούνται στην έλξη για κάθε δοκιμή επηρεάζουν το μέγεθος της αντίδρασης R στο σημείο επαφής των ερπυστριών με το έδαφος. Προσαρμόζεται το αντίστοιχο βάρος στην έλξη και τίθεται σε κίνηση ο ερπυστριοφόρος ελκυστήρας στον στίβο της εδαφολεκάνης για την εκτέλεση των δοκιμών. Η πραγματική διανυόμενη απόσταση ανά στροφή του κινητήριου οδοντωτού τροχού μπορεί να προσδιοριστεί από το ίχνος που αφήνει η γραφίδα που στερεώνεται στον καταγραφικό μηχανισμό που βρίσκεται στο πίσω μέρος του ερπυστριοφόρου ελκυστήρα και εφάπτεται στην

καταγραφική ταινία σε όλο το μήκος της. Ο μοχλός του καταγραφικού μηχανισμού, στον οποίο είναι στερεωμένη η γραφίδα πραγματοποιεί ταλάντωση μια φορά, κάθε μισή περιστροφή του κινητήριου οδοντωτού τροχού, έτσι ώστε η γραφίδα να γράφει μια συνεχή γραμμή με διαδοχικές καμπύλες. Η απόσταση των μέγιστων σημείων μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών στο μήκος της αποτυπωμένης γραμμής εκφράζει την πραγματική απόσταση που διανύει το μισό της περιφέρειας του οδοντωτού τροχού [6,7,8]. Μετά την τρίτη περιστροφή του οδοντωτού τροχού λαμβάνονται έξι σημεία για την απόσταση που καταγράφει ο μηχανισμός και έπειτα προσδιορίζεται ο μέσος όρος αυτών για να έχουμε την τελική τιμή για κάθε δοκιμή που πραγματοποιείται. Εφόσον ληφθούν υπόψη όλα τα παραπάνω προσδιορίζεται η φαινόμενη ολίσθηση S από την παρακάτω σχέση:

$S=(x_o-x/x_o)$ (5)

Όπου: S η φαινόμενη ολίσθηση (%), x η μέση απόσταση με φορτίο στην έλξη (m) και x_o η μέση απόσταση χωρίς φορτίο στην έλξη (m).

Καθορίζονται τέσσερις περιπτώσεις δοκιμών, οι εξής: α) W=0 Kg, Z=0 m, β) W=8 Kg, Z=0,11 m, γ) W=8 Kg, Z=0,22 m και δ) W=8 Kg, Z=0,33 m όπου W το πρόσθετο κάθετο βάρος και Z η απόσταση του κέντρου βάρους από τον πρόσθιο άξονα της ερπύστριας. Σε κάθε μια από τις τέσσερις περιπτώσεις εφαρμόστηκε και μια σειρά από διαδοχικά φορτία στην έλξη. Για κάθε περίπτωση ελήφθησαν οι αντίστοιχες τιμές. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 6.

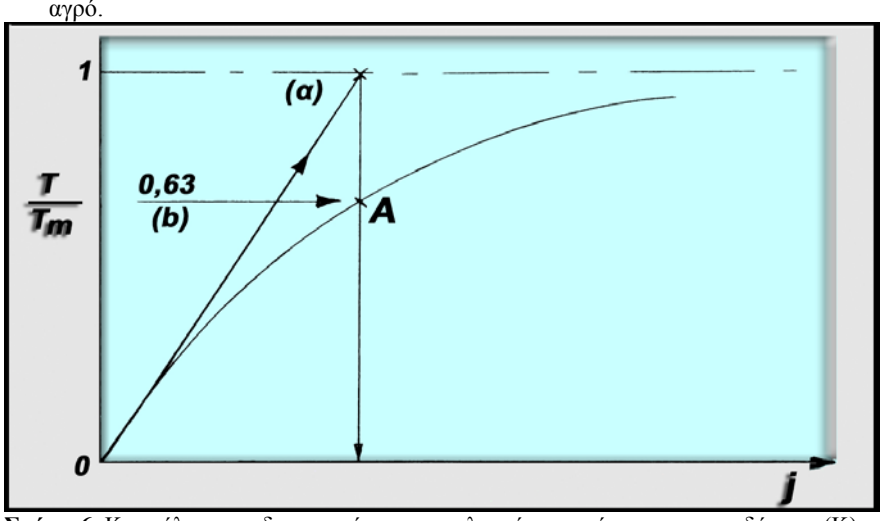
Πίνακας 6. Μεταβολή της ολίσθησης, συναρτήσει της απόστασης του πρόσθιου βάρους και του φορτίου στην έλξη.

	(Α) W=0Kg, Z=0m		(Β) W=8Kg, Z=0,11m		(Γ) W =8Kg, Z=0,22m		(Δ) W=8Kg, Z=0,33m	
F (N)	Απόστ. Xi (m)	S %	Απόστ. Xi (m)	S %	Απόστ. Xi (m)	S %	Απόστ. Xi (m)	S %
294,30	0,279	0,536	0,278	0,714	0,279	0,357	0,280	0,107
441,45	0,278	0,714	0,278	0,714	0,278	0,714	0,280	0,178
588,60	0,277	1,071	0,277	1,071	0,278	0,893	0,279	0,357
735,75	0,274	2,214	0,276	1,428	0,277	1,071	0,277	1,071
882,90	0,268	4,464	0,274	2,142	0,275	1,785	0,276	1,428

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 ερπυστριοφόρου ελκυστήρα με τετμημένη τον λόγο της διατμητικής τάσης T/T_m και τεταγμένη τον λόγο της ανηγμένης μετατόπισης j.
- Από το διάγραμμα 3 παρατηρούμε μία απότομη μεταβολή της καμπύλης σε σχέση με τα υπόλοιπα διαγράμματα, σε σχέση με τις αρχικές τιμές μετατόπισης. Οι καμπύλες προσδιορίζονται από την εκθετική συνάρτηση $\mathbf{T = T_m\ (1-e^{-j/k})}$. Η εφαπτομένη της καμπύλης στην αρχή των αξόνων τέμνει την τεταγμένη $\mathbf{T/T_m}$ στην τιμή 1 και η προβολή του σημείου αυτού στην τετμημένη η τιμή της οποίας είναι $T/T_m=0,63$, (σχήμα 6). Οι αντίστοιχες τιμές της τετμημένης j για την τεταγμένη 0,63 για τις τρεις καμπύλες στα διαγράμματα 3, 4 και 5, προσδιορίζουν τρεις διαφορετικούς συντελεστές παραμόρφωσης του εδάφους K. Από τις παραπάνω καμπύλες προκύπτουν : $j_3 = K_3 = 0,22$, $j_4 = K_4 = 0,15$, $j_5 = K_5 = 0,22$.

- Υπάρχει δυνατότητα καθορισμού του συντελεστή παραμόρφωσης K του εδάφους, με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου, για πραγματικές συνθήκες σε αγρό.



Σχήμα 6. Καμπύλες προσδιορισμού του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους (K).

- Από τον Πίνακα 3, διαπιστώνεται ότι: α) για γωνία διάτμησης $\Theta=5^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους K=0,151 , με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης από M_D=21,582 Nm μέχρι M_D=22,563 Nm. β) για γωνία διάτμησης $\Theta=10^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους K=0,210 , με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης M_D=24,525 Nm.
- Από τον Πίνακα 4, διαπιστώνεται ότι για γωνία διάτμησης $\Theta=15^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους K=0,211 , με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης M_D=21,582 Nm.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. Γέμτος. Α.. Θ.. 1984. Μηχανική Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών. Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων. Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Λάρισα.
2. Τσατσαρέλης. Α.. Κ.. 1997. Γεωργικοί Ελκυστήρες. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
3. Smith. M.. J.. 1981. Soil Mechanics. George Godwin. England.
4. Barger. E.. L.. Liljedahl. J.B.. Carleton. W.. M.. McKibben. E.. G.. 1963. Tractors and their power units. John Wiley & Sons. Inc.. USA.
5. 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.
6. Bekker. M.. G.. 1960. Off-the-Road Locomotion. University of Michigan Press. USA.
7. 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).
8. Reece. A. R.. 1965. Principles of Soil/Vehicle Mechanics. Auto Div. I.Mech.E..

ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟ-ΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Σ. Φουντάς[*], S. Pedersen[**], S. Blackmore[**], Θ. Γέμτος[*]
[*] Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Φυτόκο, 38 446 Ν. Ιωνία
[**] Βασιλεικό Κτηνιατρικό και Γεωργικό Πανεπιστήμιο, Κοπεγχάγη, Δανία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια τεχνικοοικονομική μελέτη εφαρμογής αυτοκινούμενων οχημάτων στη γεωργία. Τρεις διαφορετικές εφαρμογές εξετάστηκαν: ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων, παρακολούθηση ανάπτυξης καλλιεργειών και κοπή χόρτου. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι εφαρμογές αυτοκινούμενων οχημάτων είναι οικονομικότερες σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο εκμηχάνισης. Το υψηλό κόστος RTK-GPS και το μικρό μέγεθος των προτεινόμενων μηχανημάτων, είναι οι παράγοντες αύξησης της τιμής.

TECHNICO-ECONOMIC ANALYSIS OF AUTONOMOUS VEHICLES IN AGRICULTURE

S. Fountas[*], S. Pedersen[**], S. Blackmore[**], T.A. Gemtos[*]
[*] Uni. of Thessaly, Dept. of Crop Sci. and R. Env., Fytoko str. N. Ionia, GR 38 446
[**] The Royal Vet. and Agr. University, Dept. of Crop Sciences, Copenhagen, Denmark

ABSTRACT

This paper focuses on the economic feasibility of applying autonomous robotic vehicles compared to conventional systems in three different applications: robotic weeding, crop scouting and grass cutting. The results showed that in all three scenarios, the robotic applications are more economical feasible than the conventional systems. The high cost of RTK-GPS and the small capacity of the vehicles are the main parameters that increase the cost of the robotic systems.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακριβείας δίνει τη δυνατότητα διαφοροποίησης της διαχείρισης των αγροτεμαχίων από την παραδοσιακή μορφή καθολικής εφαρμογής των καλλιεργητικών εργασιών, στη διαχείριση επιμέρους τμημάτων του αγρού. Αυτή η δυνατότητα στη διαχείριση μπορεί να γίνει πιο εξειδικευμένη παρεμβαίνοντας σε επίπεδο μεμονωμένων φυτών, κάτι που ονομάστηκε 'phytotechnology' [1]. Η διαχείριση μεμονωμένων φυτών, ωστόσο, συνεπάγεται μία τεράστια συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, ελαχιστοποιώντας την παρέμβαση του καλλιεργητή. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία αυξανόμενη τάση στην κατασκευή αυτοκινούμενων οχημάτων, με σκοπό αυτή την διαχείριση μεμονωμένων φυτών, κυρίως σε καλλιέργειες μεγάλης αξίας. Ασφαλώς, η εισαγωγή αυτοκινούμενων οχημάτων στη γεωργία, απαιτεί μία διεξοδική μελέτη ως προς την οικονομικότητα αυτού του τρόπου εκμηχάνισης.

Οι Blackmore et al (2004) αναφέρουν τις προδιαγραφές για αυτοκινούμενα οχήματα στη γεωργία [2]. Αναφέρουν πως τα οχήματα αυτά θα πρέπει να έχουν μικρό μέγεθος, μικρό βάρος και αυτόνομη συμπεριφορά σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Θα πρέπει επίσης να μπορούν να επικοινωνούν με τον υπολογιστή της γεωργικής εκμετάλλευσης, με τα διάφορα εξωτερικά τμήματα του οχήματος (παρελκόμενα ή ρομποτικούς βραχίονες) καθώς επίσης και με άλλα οχήματα που θα δουλεύουν ταυτόχρονα. Ο πιο σημαντικός παράγοντας όμως είναι αυτός της ασφάλειας και εντατική έρευνα πραγματοποιείται σ' αυτόν τον τομέα. 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 [3]. Η μεθοδολογία αυτή βασίστηκε σε ένα από τα πιο διαδεδομένα πρότυπα ρομποτικής, το λεγόμενο "hybrid system architecture" [4] το οποίο συνδυάζει στοχαστική ή τυχαία (reactive) και προκαθορισμένη (deterministic) συμπεριφορές. Η προκαθορισμένη συμπεριφορά αποφασίζει την βασική κατεύθυνση του οχήματος με βάση τις απαιτήσεις για να πραγματοποιηθεί η εργασία. Η τυχαία συμπεριφορά, αντιδρά στιγμιαία και αυτόβουλα σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος, π.χ. για την αποφυγή εμποδίων ή για την μη σωστή κατεργασία του εδάφους. Ο συνδυασμός των δύο αυτών συμπεριφορών εκτιμάται ότι θα προσδώσει ευφυή συμπεριφορά στα αυτοκινούμενα οχήματα που θα μπορούν να λειτουργούν με ικανοποιητική ασφάλεια πραγματοποιώντας ακριβείς εργασίες στον αγρό.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές για μόνο δύο οικονομικές μελέτες για αυτοκινούμενα οχήματα οι οποίες έχουν πραγαμτοποιηθεί από τα εργαστήρια γεωργικής μηχανολογίας στο KVL της Δανίας [5] και στο Wageningen της Ολλανδίας [6]. Ο πρώτος έδειξε πως στην περίπτωση των αυτοκινούμενων οχημάτων, το μέγεθος του οχήματος και των παρελκομένων που χρειάζεται ένα αγρόκτημα μπορεί να μειωθεί στο μισό, η επένδυση της αγοράς των μηχανημάτων στο 60% και του ετήσιου κόστους στο 65%. Η προϋποθέσεις που έθεσε ήταν πως ο λόγος μεταξύ αυτοκινούμενων και παραδοσιακών μηχανημάτων είναι 1.2, 0.2 και 2 αντίστοιχα. Ο δεύτερος θεώρησε πως αν τα αυτοκινούμενα οχήματα εργάζονταν μέχρι και 23 ώρες ημερησίως θα μπορούσε να είναι δυνατή η οικονομικότητα της χρήσης τους με την προϋπόθεση της μείωσης των τιμών συστημάτων πλοήγησης (RTK-GPS) και αύξησης των εργατικών ημερομισθίων.

Αυτή η εργασία παρουσιάζει την οικονομικότητα μετατροπής τριών αυτόνομων συστημάτων εργασιών στον αγρό σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συμβατικές μεθόδους. Αναλύθηκαν τρία σενάρια. Στα δύο σενάρια, που αναέφονται, στην ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων (robotic weeding) σε καλλιέργειες υψηλής αξίας και κυρίως ζαχαρότευτλα και στην ανίχνευση ζιζανίων (crop scouting) σε σιτηρά, χρησιμοποιήθηκε ως βάση, η ερευνητική πλατφόρμα του Δανέζικου Ινστιτούτου Γεωργικής Μηχανικής (API) [7]. Το τρίτο σενάριο αναφέρεται στην κοπή χόρτου (grass cutting) σε γήπεδα γκολφ, όπου τα δεδομένα προέρχονται από την παρακολούθηση και ανάλυση των πραγματικών αναγκών στη χρήση μηχανημάτων σε ένα γήπεδο γκολφ στη Δανία. Σ' αυτήν την περίπτωση εξετάσαμε το κόστος μετατροπής των υπαρχόντων μηχανημάτων κοπής χόρτου σε αυτοκινούμενα.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα τρία αυτά σενάρια επιλέχθηκαν με γνώμονα α) τις δυνατότητες αυτοματοποίησης της εκμηχάνισης, β) την ύπαρξη δεδομένων προς ανάλυση, από προσωπικές παρακολουθήσεις των ήδη υπαρχόντων μεθόδων εκμηχάνισης και γ) από ερευνητικά δεδομένα.

Οι υπολογισμοί βασίστηκαν στον μερικό προϋπολογισμό (partial budgeting), όπου οι αλλαγές κεφαλαίου και κόστους (revenue and cost change) συγκρίνονται με τις συμβατικές μορφές εκμηχάνισης. Η αρχική επένδυση, το κόστος ημερομισθίων, η ταχύτητα και οι ώρες εργασίας των μηχανημάτων, η κατανάλωση ενέργειας και το κόστος αυτοματισμού και πλοήγησης, ήταν τα στοιχεία που συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση. Σε όλα τα σενάρια, ο χρόνος απόσβεσης ορίστηκε στα 10 χρόνια και το ποσοστό επιτοκίου στο 5%. Επιπρόσθετα προστέθηκε ένας χρόνος προσαρμογής και εκπαίδευσης του προσωπικού στα αυτοκινούμενα οχήματα. Οι κύριες παραδοχές για τα τρία σενάρια είναι τα ακόλουθες:

2.1 Αυτοκινούμενο χορτοκοπτικό για γήπεδα γκολφ

Το υπό εξέταση γήπεδο γκολφ ήταν ένα γήπεδο γκολφ 65 εκταρίων, 40 km έξω από την πόλη της Κοπεγχάγης. Για τις ανάγκες κοπής και περιποίησης του χόρτου εργάζονται 6 άτομα όλο τον χρόνο. Τα γήπεδα γκολφ χωρίζονται σε διάφορες ζώνες ανάλογα με τις ανάγκες κοπής του χόρτου (greens, semi-greens, fairway, semi-rough και rough). Οι ζώνες greens και semi-greens, όπου βρίσκονται γύρω από τις οπές για τις μπάλες του γκολφ, απαιτούν την καθημερινή κοπή του χόρτου σε ύψος 4 και 7 mm από το έδαφος, αντίστοιχα. Στις περιοχές fairway και semi-graph που καλύπτουν 16 και 20 εκτάρια αντίστοιχα, η κοπή του χόρτου πραγματοποιείται από 3 και 1 φορές την εβδομάδα αντίστοιχα, σε ύψος 20 και 40 mm από το έδαφος αντίστοιχα. Τα μηχανήματα για τις δύο αυτές ζώνες (fairway και semi-graph) επιλέχθηκαν για την οικονομικότητα τους στο να μετατραπούν από παραδοσιακά μηχανήματα σε αυτοκινούμενα, λόγω της ομοιότητας των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την κοπή του χόρτου και την λιγότερο ακριβέστερη ανάγκη κοπής του χόρτου. Ο συνολικός ετήσιος αριθμός ωρών που απαιτούνται για την κοπή του χόρτου σ' αυτές τις δύο ζώνες είναι 784 ώρες. Όλα τα δεδομένα προέρχονται από προσωπική ανάλυση και παρατηρήσεις του τρόπου κοπής του χόρτου στο συγκεκριμένο γήπεδο γκολφ.

Για την τροποποίηση των ήδη συμβατικών εμπορικών χορτοκοπτικών μηχανών απαιτείται ένα σύστημα ηλεκτρονικών, ένα σύστημα RTK-GPS για ακριβή πλοήγηση,

αισθητήρες laser scanner και ultrasonic range για την αποφυγή εμποδίων και ένα κομπιούτερ πάνω στο μηχάνημα. Μία τέτοια μετατροπή έχει ήδη πραγματοποιηθεί στο Πανεπιστήμιο του KVL της Δανίας όπου ένα παραδοσιακό χορτοκοπτικό μετατράπηκε σε αυτοκινούμενο, για την μηχανική καταπολέμηση ζιζανίων σε αγροκτήματα με χριστουγεννιάτικα δέντρα. Το δεδομένα από αυτήν την μετατροπή χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτό το σενάριο [8].

2.2 Ανίχνευση ζιζανίων σε καλλιέργειες σιτηρών

Σ' αυτήν την περίπτωση συγκρίναμε την ανίχνευση ζιζανίων σε καλλιέργειες σιτηρών με τη χρήση αυτοκινούμενου οχήματος και συμβατικών μεθόδων. Η αυτοκινούμενη ερευνητική πλατφόρμα API του Ερευνητικού Ινστιτούτου Γεωργικής Μηχανικής της Δανίας χρησιμοποιήθηκε, ως βάση των υπολογισμών. Το Ινστιτούτο έχει πραγματοποιήσει εκτεταμένες μελέτες για την ανίχνευση ζιζανίων και τα αποτελέσματα από αυτές τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση μας.

Η πλατφόρμα API (Σχήμα 1), κατασκευάστηκε αρχικά το 2002 και σήμερα βρίσκεται στην τρίτη γενιά. Είναι ένα σύστημα με τέσσερις κινητήριους και κατευθυντήριους τροχούς four-wheel drive, four-wheel steering με δύο κινητήρες σε κάθε τροχό για μεγαλύτερη αντίσταση στην ολίσθηση και μεγαλύτερη κινητικότητα [9]. Η πλατφόρμα αυτή έχει 60 cm απόσταση από το έδαφος και πλάτος εργασίας 1 m. Είναι εφοδιασμένο με σύστημα RTK-GPS, με φορητό υπολογιστή και έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με διάφορα παρελκόμενα, όπως ψεκαστικό και μηχάνημα κοπής χόρτου. Είναι εφοδιασμένο επίσης με κάμερα για την αναγνώριση των ζιζανίων και αισθητήρες για αποφυγή εμποδίων.

Σχήμα 1. Η ερευνητική αυτοκινούμενη πλατφόρμα API

2.3 Ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων σε ζαχαρότευτλα

Σ' αυτό το σενάριο χρησιμοποιήθηκε η ίδια πλατφόρμα API, αλλά με το σύστημα ψεκασμού micro-spraying για την καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Αυτό το σενάριο είναι η συνέχιση του προηγούμενου σεναρίου, όπου έχουν ανιχνευθεί τα ζιζάνια στο έδαφος, χρησιμοποιήθηκε ψεκασμός για την καταπολέμησή τους. Το σύστημα micro spraying έχει κατασκευασθεί με τη συνεργασία του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Davis και του Ινστιτούτου Γεωργικής Μηχανικής στη Δανία. Το σύστημα αυτό αποτελείται

από 8 μικρο-βαλβίδες με ανεξάρτητο μηχανισμό ενεργοποίησης του κάθε ακροφυσίου (driver circuit) , όπου το κάθε ακροφύσιο έχει 5 ανοίγματα (micro tubes). Το πλάτος ψεκασμού του κάθε ακροφυσίου είναι από 1,27-10,16 cm για να καλύπτει το συνολικό πλάτος εργασίας [10]. Σ' αυτό το σενάριο υπολογίστηκε το κόστος για την καταπολέμηση των ζιζανίων μεταξύ των γραμμών με τις συμβατικές μεθόδους και με το σύστημα micro-spraying επί των γραμμών, όπου έχει εκτιμηθεί πως μπορεί να μειώσει το ποσό των ζιζανιοκτόνων στο 90%.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 αναγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των τριών σεναρίων. Η συνολική έκταση για το αυτοκινούμενο χορτοκοπτικό σε γήπεδα γκολφ είναι 36 εκτάρια για τις ζώνες fairway και semi-graph. Το σύστημα για αυτοκινούμενη ανίχνευση ζιζανίων σε σιτηρά θα καλύπτει την υποτιθέμενη έκταση των 80 εκταρίων και το σύστημα για την ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων σε ζαχαρότευτλα θα καλύπτει 500 εκτάρια. Στην περίπτωση του χορτοκοπτικού θεωρούμαι πως το ίδιο χορτοκοπτικό που εφαρμόζεται στο γήπεδο γκολφ θα εφαρμοστεί και στην περίπτωση του αυτοκινούμενου οχήματος. Οι διαφορές μεταξύ αυτοκινούμενου και παραδοσιακής μορφής οχήματος επάγονται στην μη ύπαρξη χειριστή και στο κόστος μετατροπής και λειτουργίας του αυτοκινούμενου οχήματος.

Στην περίπτωση του αυτοκινούμενου οχήματος για την ανίχνευση ζιζανίων, η σύγκριση γίνεται με τις ανάγκες για την χειρωνακτική παρατήρηση των ζιζανίων. Η χειρωνακτική ανίχνευση έχει υπολογιστεί να απαιτεί 0,7 ανθρωποώρες το χρόνο, ανά εκτάριο [11[. Οι μεγαλύτερες απαιτήσεις για την χειρωνακτική ανίχνευση ζιζανίων ανάγονται στον πρώτο χρόνο, ενώ τα επόμενα χρόνια απαιτείται μία δευτερεύουσα επαναλαμβανόμενη ανίχνευση. Οι περιοχές ζιζανίων καταγράφονται από το GPS και με τη βοήθεια συστήματος GIS δημιουργούνται χάρτες ζιζανίων για κάθε αγροτεμάχιο. Η συνολική υποτιθέμενη έκταση των 500 εκταρίων ορίστηκε για την κάλυψη της επένδυσης μιας και απαιτείται μόνο μία εφαρμογή το χρόνο, όπου η ταχύτητα της πλατφόρμας είναι 3,6 km/h με δυναμικότητά (capacity) στα 4,32 ha/h.

Στην περίπτωση του συστήματος για την ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων με το σύστημα micro-spraying, απαιτείται περισσότερος χρόνος για την εκτέλεση της εργασίας αυτής. Το σύστημα αυτό συγκρίνεται με το κόστος για την καταπολέμηση των ζιζανίων μεταξύ των γραμμών, με βάση τις υπάρχουσες παραδοσιακές μεθόδους, όπου τα δεδομένα πάρθηκαν από το Εθνικό Αγροτικό Κέντρο Αγροτικών Συμβούλων της Δανία, όπου υπάρχουν αναλυτικές καταστάσεις για το κόστος κάθε μορφής εκμηχάνισης όλων των καλλιεργειών [12]. Η πλατφόρμα API θα χρησιμοποιηθεί για αυτήν την περίπτωση. Τέσσερα συστήματα micro-spraying θα χρησιμοποιηθούν με κόστος 6.730 ευρώ το καθένα, έτσι ώστε να καλύπτουν τέσσερις γραμμές στην καλλιέργεια. Η ταχύτητα λειτουργίας έχει υπολογιστεί στα 1,8 km/h με δυνατότητα κάλυψης 0,4 εκτάρια την ώρα.

Πίνακας 1. Τεχνικές προδιαγραφές των τριών σεαρίων

	Αυτοκινούμενο χορτοκοπτικό σε γήπεδα γκολφ	Αυτοκινούμενη ανίχνευση ζιζανίων σε σιτηρά	Ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων σε ζαχαρότευτλα
Πλατφόρμα	TORO 5200-D	Σύστημα API	Σύστημα API
Σύστημα GPS	RTK-GPS	RTK-GPS	RTK-GPS
Συνολική έκταση	36 ha	500 ha	80 ha
Ταχύτητα	10 km/h	1.8 km/h	3.6 km/h
Πλάτος εργασίας	2,4 m	12 m	2 m 4 γραμμές
Δυναμικότητα (capacity)	2.4 ha/h	4.32 ha/h	0,4 ha/h
Αριθμός παρεμβάσεων	96 παρεμβάσεις/ χρόνο	1 παρέμβαση/ χρόνο	3 παρεμβάσεις/ χρόνο
Χρόνος εξικοίωσης	2 εβδομάδες	2 εβδομάδες	2 εβδομάδες
Ημερήσιος χρόνος εργασίας	8-16 h	16 h	16 h
Ετήσιος χρόνος εργασίας	784 h	116 h	667 h
Ετήσιος χρόνος εργασίας	*	7 μέρες	42 μέρες
Περίοδος εργασιών	Απρίλιο-Οκτώβριο	Απρίλιο-Ιούλιο	Απρίλιο-Ιούνιο

* Ίδιος με τον παραδοσιακό τρόπο

Deleted: ,

Το συνολικό κόστος επένδυσης των τριών αυτών συστημάτων αναφέρεται στον Ππίνακα 2, όπου η επένδυση κυμαίνεται από 38.000 έως και 65.000 ευρώ. Το σύστημα εντοπισμού ακριβής θέσης RTK-GPS είναι αυτό που ανεβάζει αρκετά το κόστος των αυτοκινούμενων οχημάτων. Παρ' όλα αυτά, εκτιμάται πως στα επόμενα χρόνια το κόστος αυτό θα μειωθεί δραστικά και ειδικά με την λειτουργία του Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος Galileo που θα λειτουργήσει μέσα στο 2008. Στον Πίνακα 3 δίνεται η ανάλυση των σταθερών και μεταβλητών δαπανών των συστημάτων αυτών. Οι δαπάνες αυτές ανά χρόνο κυμαίνονται από 7.999 ευρώ το χρόνο για την ανίχνευση ζιζανίων σε 20.834 ευρώ για την καταπολέμηση ζιζανίων.

Πίνακας 2. Επένδυση των αυτοκινούμενων συστημάτων

	Αυτοκινούμενο χορτοκοπτικό σε γήπεδα γκολφ	Αυτοκινούμενη ανίχνευση ζιζανίων σε σιτηρά	Ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων σε ζαχαρότευτλα
	---------- EURO ----------		
Σύστημα API		15,141	15,141
RTK-GPS	20,188	20,188	20,188
Σύστημα micro-spraying, 4 γραμμών			26,918

Σύστημα ηλεκτρονικών	20,188		
Testing	2,692	2,692	2,692
Σύνολο	43,069	38,022	64,939

Πίνακας 3. Ανάλυση κόστους των αυτοκινούμενων συστημάτων

	Αυτοκινούμενο χορτοκοπτικό σε γήπεδα γκολφ	Αυτοκινούμενη ανίχνευση ζιζανίων σε σιτηρά	Ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων σε ζαχαρότευτλα
	---------- EURO/ χρόνο ----------		
Κεφάλαιο επένδυσης	1,077	951	1,624
Απόσβεση	4,307	3,802	6,494
Συντήρηση	1,292	1,141	1,984
GPS-RTK signal, ετήσια συνδρομή	1,615	1,615	1,615
GPS-RTK signal κόστος, μεταβλητό	1,055	156	897
Δημιουργία χάρτη ζιζανίων			150
Κόστος ζιζανιοκτόνου			1,731
Κόστος ζιζανιοκτονίας στην γραμμή			5,599
Άλλα έξοδα, π.χ. καυσίμου, φόρτωσης, κλπ	844	135	776
Συνολικά έξοδα	10,190	7,799	20,834

Στην περίπτωση της καταπολέμησης ζιζανίων σε ζαχαρότευτλα έχει συμπεριληφθεί και το κόστος για την καταπολέμηση των ζιζανίων πάνω στις γραμμές με μηχανική καταπολέμηση ζιζανίων με συμβατικές μεθόδους, όπου το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 5.599 ευρώ το χρόνο. Για αυτήν την περίπτωση έχουν υπολογιστεί δύο εφαρμογές μηχανικής κατεργασίας πάνω στην γραμμή τον χρόνο.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται το ετήσιο κόστος των τριών συστημάτων χρησιμοποιώντας αυτοκινούμενα οχήματα ή ακολουθώντας τις συμβατικές μεθόδους. Σε όλες τις περιπτώσεις τα αυτοκινούμενα συστήματα είναι πιο αποδοτικά και κερδοφόρα από τις συμβατικές μεθόδους. Η μείωση του κόστους για την κοπή χόρτου, την ανίχνευση ζιζανίων και την καταπολέμηση των ζιζανίων ανέρχεται σε 52%, 20% και 12% αντίστοιχα.

Πίνακας 4. Διαφορά κόστους εργασίας μεταξύ αυτοκινούμενων και συμβατικών συστημάτων

	Αυτοκινούμενα	Συμβατικά
	---------- EURO/ha ----------	
Χορτοκοπτικό	283.0	586.3
Ανίχνευση ζιζανίων	15.6	19.4

Καταπολέμηση ζιζανίων	260.4	296.6

Στην περίπτωση της κοπής χόρτου στα γήπεδα γκολφ, τα ημερομίσθια των χειριστών έχουν υπολογιστεί με βάση τις μέσες τιμές χειριστών μηχανημάτων στη Δανία, που ανέρχεται κατά μέσον όρο στα 27 ευρώ την ώρα, συμπεριλαμβάνοντας φόρους και ασφάλιση. Ασφαλώς οι τιμές αυτές κυμαίνονται σημαντικά στις διαφορετικές χώρες της Ευρώπης, αν σκεφτεί κανείς πως η Δανία έχει από τα υψηλότερα ημερομίσθια στην Ευρώπη. Ο χρόνος απόσβεσης έχει ορισθεί στα 10 χρόνια, ωστόσο είναι δόκιμο να μειωθεί στα 5-8 χρόνια στις περιπτώσεις του χορτοκοπτικού και της ρομποτικής καταπολέμησης ζιζανίων που θα λειτουργούν αρκετές ώρες τον χρόνο. Αντιθέτως, στην περίπτωση της ανίχνευσης ζιζανίων, που είναι μία καινούργια σχετικά εργασία στα πλαίσια της εκμηχάνισης που συνδέεται με τις αρχές της γεωργίας ακριβείας, ο χρόνος απόσβεσης, μπορεί να είναι και μεγαλύτερος από 10 χρόνια, λόγω του μικρού αριθμού ωρών λειτουργίας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε μία οικονομοτεχνική μελέτη τριών υποθετικών συστημάτων εκμηχάνισης. Τα συστήματα αυτά επιλέχθηκαν με γνώμονα τις υψηλές απαιτήσεις σε εργατικά ημερομίσθια, που θα μπορούσαν να αντικατασταθούν με αυτοκινούμενα οχήματα χωρίς την ύπαρξη χειριστή. Μία προϋπόθεση είναι πως τα οχήματα αυτά θα είναι πολύ εύκολα στη χρήση και δεν θα απαιτούνται επιπρόσθετα έξοδα για την λειτουργία του υπολογιστή που φέρουν και τον προγραμματισμό τους. Αυτά τα σενάρια μπορούν να επεκταθούν και σε άλλες καλλιεργητικές φροντίδες, όπως κατεργασίες εδάφους και κοπή χόρτου σε ποδοσφαιρικά γήπεδα και πάρκα. Το αυτοκινούμενο όχημα για την κοπή χόρτου στα γήπεδα γκολφ είναι η πιο οικονομική εφαρμογή, λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε εργατικά και την συχνή εφαρμογή αυτής της εργασίας. Η ψηφιακή ανίχνευση ζιζανίων μπορεί να μας δώσει μία καινούργια εφαρμογή για ψεκασμούς με μεταβλητές δόσεις στο χώρο. Στην περίπτωση δε, της ρομποτικής καταπολέμησης των ζιζανίων, πέρα από τις πιθανές μειώσεις στο κόστος εφαρμογής της μεθόδου αυτής, τα οφέλη από μείωση των ζιζανιοκτόνων μέχρι και 90% εμπεριέχουν περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. Στην ανάλυση του κόστους φαίνεται πως η κύρια πηγή εξόδων στα αυτοκινούμενα συστήματα είναι το υψηλό κόστους αγοράς και χρήσης του συστήματος πλοήγησης RTK-GPS.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Shibusawa, S. 1996. PhytoTechnology - An introduction to the concept and topic of a new project. School of Bio-Applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology.

2. Blackmore, S., Fountas, S., Tang, L., and Have, H., 2004. Systems requirements for small autonomous agricultural vehicles. Journal of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). Manuscript PM 04 001. Vol. VI. July 2004.

3. Blackmore, S., Fountas, S., Vougioukas, S., Tang, L., Sørensen, C.G. and Jørgensen, R., 2005. Decomposition of agricultural tasks into robotic behaviours. Journal of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). Accepted.

4. Arkin, C.R., 1998. Behavior-based robotics. MIT Press.

5. Have, H. 2004. Effects of automation on sizes and costs of tractor and machinery. European Conference of Agricultural Engineering. Leuven, Belgium, June 2004.

6. Goense, D. 2003. The economics of autonomous vehicles. –Proceeding of the VDI-MEG Conference on Agricultural Engineering in Hanover, 2003.

7. Bak, T. and Jakobsen, H. 2004. Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection. Biosystems Engineering 87(2) 125–136.

8. 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, Sveden, July 9-12, 2005.

9. Bisgaard, M., D., Vinther and K. Z. Østergaard. 2004. Modelling and Fault-Tolerant Control of an Autonomous Wheeled Robot. Group Report 04gr1030a. Institute of Control Engineering, Aalborg University, Denmark.

10. Lee, W.S., Slaughter, D.C. and Giles, D.K., 1999. Robotic weed control system for tomatoes. Precision Agriculture 1, 1999, pp. 95-113.

11. Pedersen S.M. 2003. Precision farming – Technology assessment of site-specific input application in cereals, Ph.D. dissertation, IPL, Danish Technical University

12. Dansk Landbrugsrådgivning 2004. Budgetkalkyler for 2004, (in English) Budget and Gross margin calculations for Danish cropping systems, Landbrugsforlaget.

Formatted: Bullets and Numbering

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ Ν. ΑΙΤΩΛ/ΝΙΑΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Γ. Παστρωμάς[*] , Ι. Καλαβρουζιώτης[**], Α.Νάτσης[***]

* Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Διατμηματικό Π.Μ.Σ. Πιστοποίησης Αγροτικών Προϊόντων Ποιότητας, Γ.Σεφέρη 2, Αγρίνιο, 30100.

** Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Γ.Σεφέρη 2, Αγρίνιο, 30100.

*** Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Α.Φ.Π. και Γ.Μ., Ιερά οδός 75, Αθήνα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η επίδραση της χρήσης των συστημάτων εδαφικής κατεργασίας από βιοκαλλιεργητές του Ν. Αιτωλ/νίας. Η ανάλυση όλων των παραμέτρων, που αποδεικνύουν τη διατήρηση των εδαφικών πόρων και που προσφέρουν τη δυνατότητα επιλογής και χρήσης ενός από τα συστήματα κατεργασίας σε τέσσερις γεωγραφικές περιοχές του Ν. Αιτωλ/νίας, αποτελεί αναμφισβήτητα ένα σημαντικό εργαλείο για την ορθή διαχείριση των εδαφικών πόρων στα πλαίσια της αειφορικής διαχείρισης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ : Σύστημα αειφορίας , συμβατικό σύστημα κατεργασίας, μειωμένη κατεργασία, ακαλλιέργεια.

ASSESMENT OF SOIL SYSTEMS IN PERFECTURE AITOLOAKARNANIAS IN FRAMEWORK OF SUSTAINABLE MANAGEMENT OF SOIL RESOURCES

G. Pastromas*, I. Kalavrouziotis, A. Natsis*****

* University of Ioannina, Postgratuate student, G.Seferi 2, Agrinion, Greece

** University of Ioannina, Department of environmental and natural Resources Management, G.Seferi, 2, Agrinion, Greece

* **Agronomic University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering 75, Iera Odos street – 11855 Greece

ABSTRACT

There has been an assessment and evaluation of the impact soil use in biocultivation of Perfecture of Aitoloakarnanias. The analysis of all parameters show the sustainability of soil resources and the possibility in choosing and using one of the systems in four geographic areas of Perfecture of Aitoloakarnanias undowbtley is a significant factor in the proper management of soil resources in the framework of sustainable management.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για το μέλλον της γεωργίας και η επίδραση των υφιστάμενων γεωργικών πρακτικών, οδήγησαν στη δημιουργία μιας νέας έννοιας , της « αειφορικής γεωργίας ». Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζουμε τη γεωργία που αποσκοπεί στην μακροπρόθεσμη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων, εξασφαλίζει τα βασικά τρόφιμα, είναι οικονομικά ζώσα και βελτιώνει την ποιότητα της ζωής των παραγωγών αλλά και των καταναλωτών [1]. Πρόκειται για μία φιλοσοφία και συλλογή πρακτικών προκειμένου να προστατευτούν οι φυσικοί πόροι (έδαφος , νερό, κλπ) , χωρίς ταυτόχρονη μείωση της παραγωγικότητας.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της αειφορικής γεωργίας είναι η διαχείριση του εδάφους, αποσκοπώντας στην προστασία του από τη διάβρωση, στη βελτίωση της δομής και των άλλων φυσικών χαρακτηριστικών, στη μείωση των ενεργειακών εισροών, του κόστους και του χρόνου κατεργασίας του, στην προστασία της βιοποικιλότητας και τέλος στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος [2,3].

Τα κύρια συστήματα κατεργασίας του εδάφους είναι τα παρακάτω:

i.συμβατικό σύστημα κατεργασίας: πρόκειται για το παραδοσιακό σύστημα κατεργασίας το οποίο χωρίζεται σε βασική και δευτερεύουσα κατεργασία. Κατά τη βασική κατεργασία γίνεται όργωμα του χωραφιού και ενσωμάτωση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας, ενώ κατά τη δευτερεύουσα κατεργασία πραγματοποιούνται οι αναγκαίες μηχανικές επεμβάσεις για την προετοιμασία της σποροκλίνης [4]. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο, όμως τα τελευταία χρόνια δέχεται έντονη κριτική που εντοπίζεται στη διάβρωση του εδάφους , στην καταστροφή της δομής του, στο παράχωμα των οργανικών υπολειμμάτων κλπ, με αποτέλεσμα να μη γίνεται αποδεκτό στην αειφορική διαχείριση του εδάφους.

ii. σύστημα μειωμένης κατεργασίας : με αυτόν τον όρο χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε απλοποίηση του συμβατικού συστήματος κατεργασίας [5]. Συνήθως δεν χρησιμοποιείται άροτρο για αναστροφή του εδάφους, έτσι ώστε μεγάλο μέρος των υπολειμμάτων να παραμένουν στην εδαφική επιφάνεια. Γενικότερα, το συγκεκριμένο σύστημα συμβάλλει στην καλύτερη προστασία του εδάφους και του νερού σε συνθήκες μειωμένης υγρασίας, διατηρώντας την υγρασία και περιορίζοντας την απώλειά της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βελτιώνονται οι αποδόσεις [4], όπως έδειξε πείραμα με αραβόσιτο [6]. Λόγω του οικονομικού οφέλους και της συντήρησης του εδάφους , η συγκεκριμένη μέθοδος έχει διαδοθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια.

iii. σύστημα ακαλλιέργειας : πρόκειται για τη διαδικασία απευθείας σποράς ή φύτευσης στο έδαφος , χωρίς να προηγηθεί βασική ή δευτερεύουσα κατεργασία [7]. Από τα βασικά πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, η προστασία της δομής του εδάφους και ο εμπλουτισμός του εδάφους σε οργανική ουσία [2]. Το συγκεκριμένο σύστημα κατεργασίας χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στη βιολογική γεωργία, δηλαδή στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων α) χωρίς συνθετικές ουσίες ώστε τα προϊόντα να είναι ακίνδυνα για τον άνθρωπο και τα ζώα και β) μέσω της σωστής χρήσης των μέσων παραγωγής ώστε να διατηρείται η γονιμότητα του εδάφους και να μην καταστρέφονται τα φυσικά οικοσυστήματα [8].

Η βιολογική γεωργία είναι ένα είδος αειφορικής γεωργίας. Η διατήρηση και η προστασία των εδαφικών πόρων μπορεί επίσης να επιτευχθεί και με τη βοήθεια ορισμένων μεθόδων που εφαρμόζονται στα πλαίσια της βιολογικής γεωργίας. Τέτοιες μέθοδοι είναι η εφαρμογή χλωράς λίπανσης , δηλαδή της ενσωμάτωσης στο έδαφος φυτικής μάζας που παράγεται στο διάστημα μεταξύ δύο καλλιεργειών [9], η εναλλαγή καλλιεργειών στον ίδιο αγρό, η εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων και κοπριάς κ.α.

Η εργασία έχει ως σκοπό να μελετήσει και να αξιολογήσει τα συστήματα κατεργασίας, που περιγράφηκαν πιό πάνω, και τα οποία χρησιμοποιούνται από βιοκαλλιεργητές του Νομού Αιτωλοακαρνανίας. Στοχεύει επίσης στην καταγραφή των επιμέρους εργασιών που γίνονται από τους παραγωγούς, καθώς και στην περιγραφή των εναλλακτικών μεθόδων που εφαρμόζονται στα πλαίσια της βιολογικής γεωργίας , λόγω των περιορισμών που αυτή επιβάλλει.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο νομός Αιτωλοακαρνανίας καταλαμβάνει έκταση 5461 Km^2 μαζί με τα εσωτερικά ύδατα και 5193 Km^2 χωρίς τα εσωτερικά ύδατα. Τα τελευταία χρόνια, στο νομό έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα η βιολογική γεωργία. Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, το έτος 2003 είχαν ενταχθεί στο πρόγραμμα της βιολογικής γεωργίας 798 παραγωγοί, με διάφορες καλλιέργειες που καταλάμβαναν 41031,6 στρέμματα καλλιεργήσιμης γης. Η έρευνα ξεκίνησε στις αρχές του έτους 2004 και ολοκληρώθηκε στα τέλη του ίδιου έτους. Επιλέχθηκαν τυχαία 100 παραγωγοί (ποσοστό 13 %) , με διάφορες καλλιέργειες και από διάφορες εδαφικές περιοχές του νομού. Οι καλλιέργειες αυτές καταλάμβαναν έκταση 7637,5 στρεμμάτων και αντιπροσώπευαν το 19 % της συνολικής έκτασης που ήταν ενταγμένη στο συγκεκριμένο πρόγραμμα. Οι παραγωγοί που ελέγχθηκαν, βρίσκονταν σε διάφορα στάδια ένταξής τους στη βιολογική γεωργία (συμβατικό, μεταβατικό, βιολογικό). Η έκταση των 7637,5 στρεμμάτων χωρίστηκε σε τέσσερις γεωγραφικές εδαφικές ενότητες (πρώην επαρχίες του νομού).

Συγκεκριμένα, οι τέσσερις γεωγραφικές ενότητες και τα αντίστοιχα στρέμματα / περιφέρεια είναι :

1. Βάλτου : 1104,5 στρ.
2. Μεσολλογγίου : 1430,5 στρ.
3. Ξηρομέρου : 4110 στρ.
4. Τριχωνίδας : 992,5 στρ.

Σημειώνεται ότι η διαφοροποίηση των στρεμμάτων στις τέσσερις γεωγραφικές ενότητες οφείλεται στο διαφορετικό αριθμό παραγωγών / ενότητα, που έχουν ενταχθεί στο πρόγραμμα καθώς και στην τυχαία επιλογή τους.

Η έρευνα εστιάστηκε στην μελέτη των πιο κάτω παραγόντων :

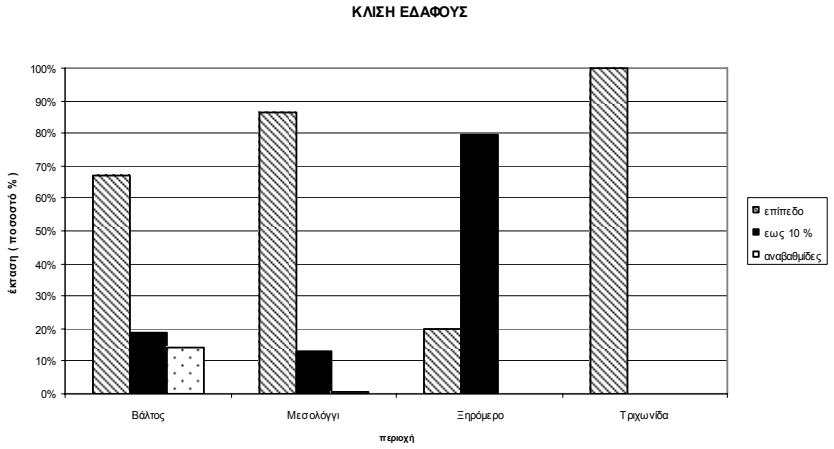
1. σύσταση του εδάφους : έγινε μακροσκοπική περιγραφή της σύστασης των εδαφών. Σε πολλές περιπτώσεις, η περιγραφή αυτή συνδυάστηκε και με στοιχεία από πρόσφατες ή και παλαιότερες αναλύσεις εδάφους. Τα εδάφη ταξινομήθηκαν σε τρεις κατηγορίες (ελαφριά, μέση και βαριά σύσταση).
2. κλίση του εδάφους : έγινε κι εδώ μακροσκοπική περιγραφή της κλίσης των εδαφών και χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες (επίπεδα, με κλίση έως 10 % και διαμορφωμένα σε αναβαθμίδες).
3. κατεργασία του εδάφους : εξετάστηκε ο τρόπος κατεργασίας και τα γεωργικά μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν την τρέχουσα καλλιεργητική περίοδο. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν με βάση τις δηλώσεις των παραγωγών καθώς και τον έλεγχο των ημερολογίων εργασιών που τηρούν στα πλαίσια του προγράμματος και ταξινομήθηκαν σε τρεις κύριες κατηγορίες (ακαλλιέργεια, σύστημα μειωμένης κατεργασίας και σύστημα συμβατικής κατεργασίας).
4. εφαρμογή χλωρής λίπανσης : εξετάστηκε η εφαρμογή ή μη χλωρής λίπανσης καθώς και ο τρόπος εφαρμογής στις περιπτώσεις όπου έγινε (χρήση ψυχανθών ή απλή ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων και των ζιζανίων).

5. λίπανση με κοπριά : έγινε καταγραφή των εκτάσεων που δεν είχαμε εφαρμογή λίπανσης με κοπριά και αυτών που λιπάνθηκαν. Στη δεύτερη περίπτωση έγινε διαχωρισμός σε δύο υποκατηγορίες (αχώνευτη και χωνεμένη κοπριά).
6. σύστημα αμειψισποράς : εξετάστηκαν οι εκτάσεις που καλλιεργούνταν με ετήσιες καλλιέργειες για την εφαρμογή ή μη συστήματος αμειψισποράς καθώς και το σύστημα που εφαρμόστηκε (μηδική – αραβόσιτος, χειμερινά σιτηρά – αγρανάπαυση).
7. καταπολέμηση ζιζανίων : έγινε καταγραφή και περιγραφή όλων των τρόπων ελέγχου των ζιζανίων (καμία καταπολέμηση, βόσκηση, φρεζάρισμα, επέμβαση με καταστροφέα, συνδυασμός φρέζας και καταστροφέα, σκάλισμα).
8. σύστημα άρδευσης : εξετάστηκε ο τρόπος εφαρμογής των αρδεύσεων (στάγδην άρδευση, κατάκλυση ή φυσική ροή και τεχνητή βροχή).
9. προέλευση του νερού άρδευσης : έγινε καταγραφή της προέλευσης του νερού (γεώτρηση ή δίκτυο Τ.Ο.Ε.Β.), στις αρδευόμενες εκτάσεις.

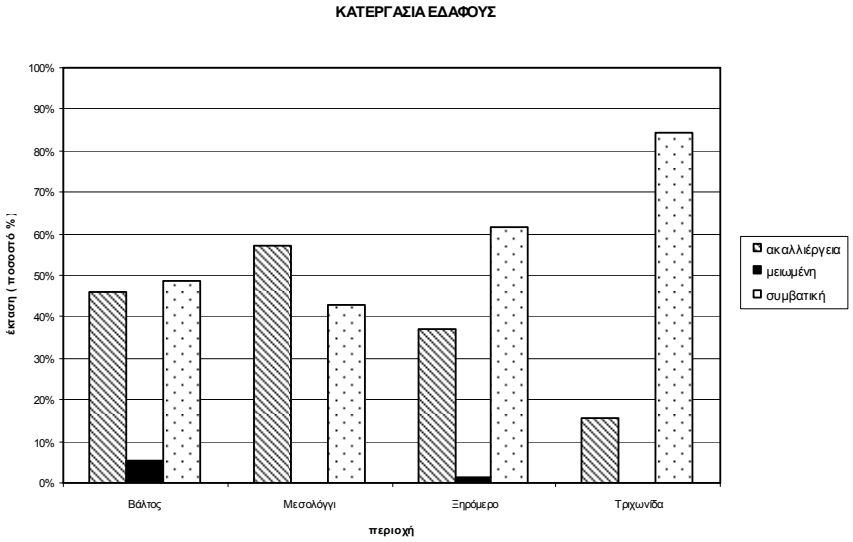
Τα αποτελέσματα της έρευνας ταξινομήθηκαν κατά γεωγραφική ενότητα, αλλά και κατά καλλιέργεια στην αντίστοιχη γεωγραφική ενότητα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

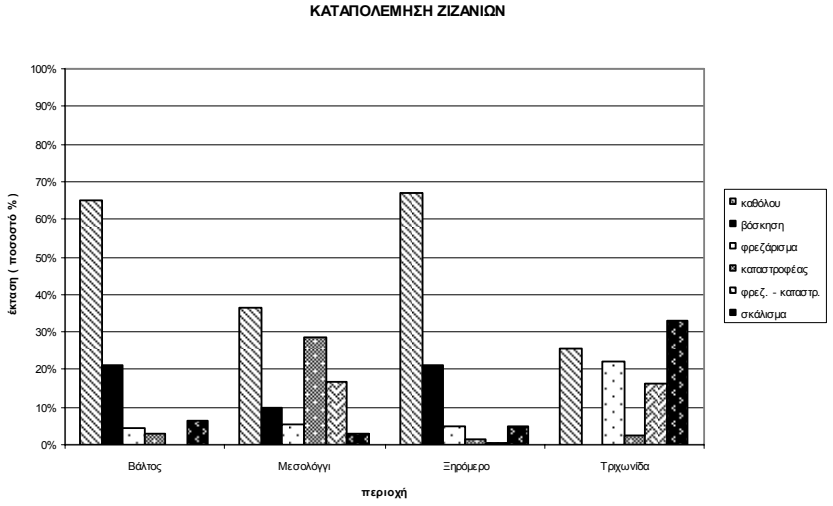
Η ανάλυση των στοιχείων μέσα από τα ερωτηματολόγια μας δίδει ποσοτικά χαρακτηριστικά αναφορικά με τις εδαφικές κλίσεις, το σύστημα καλλιέργειας, την εφαρμογή χλωράς λίπανσης, το σύστημα αμειψισποράς, η καταπολέμηση των ζιζανίων και το σύστημα άρδευσης στις τέσσερις αναλυθείσες γεωγραφικές εδαφικές ενότητες. Αξιολογώντας τα στοιχεία που καταγράφηκαν και που εμφανίζονται στα διαγράμματα των σχημάτων 1-6, καταλήγουμε σε ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα για το σύνολο των γεωγραφικών ενοτήτων που μελετήθηκαν.



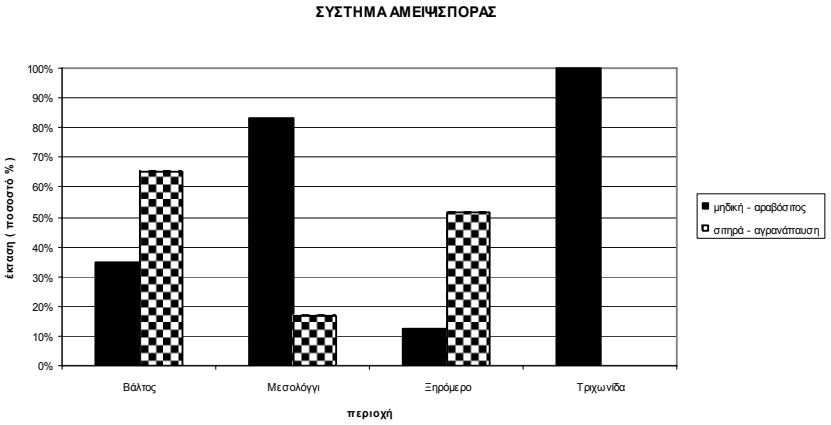
Σχήμα 1. κλίσεις καλλιεργούμενων εδαφών ανά γεωγραφική ενότητα



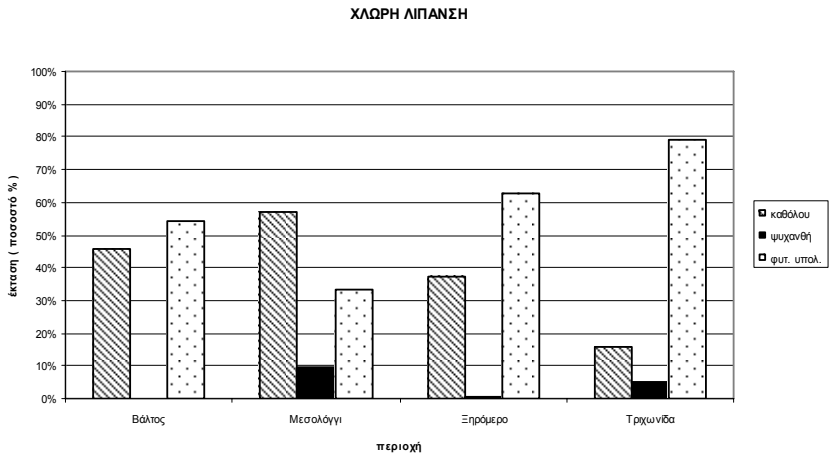
Σχήμα 2. κατεργασία καλλιεργούμενων εδαφών ανά γεωγραφική ενότητα



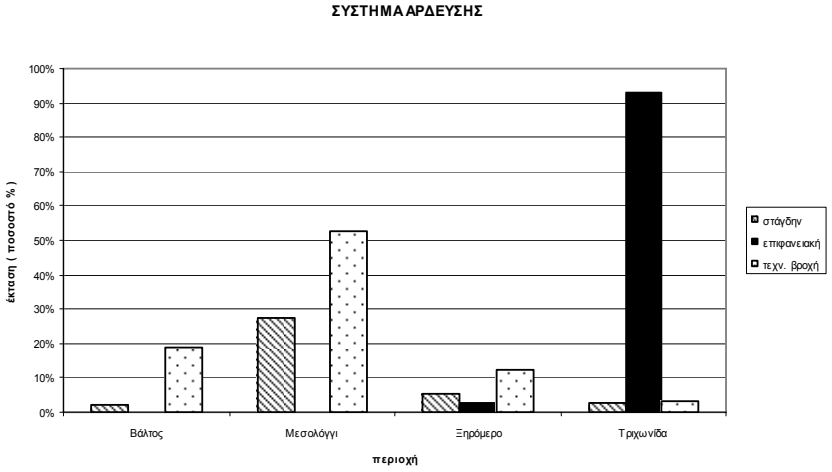
Σχήμα 3. καταπολέμηση ζιζανίων ανά γεωγραφική ενότητα



Σχήμα 4. εφαρμογή συστήματος αμειψισποράς ανά γεωγραφική ενότητα



Σχήμα 5. εφαρμογή χλωράς λίπανσης καλλιεργούμενων εδαφών ανά γεωγραφική ενότητα



Σχήμα 6. σύστημα άρδευσης καλλιεργούμενων εδαφών ανά γεωγραφική ενότητα

Διαπιστώθηκε πως στις περιοχές Βάλτου και Ξηρομέρου υπάρχουν κατά κύριο λόγο εδάφη βαριάς σύστασης και με αυτά του Ξηρομέρου να είναι σε μεγάλο ποσοστό επικλινή. Αυτές οι δύο περιοχές είναι και οι μοναδικές στις οποίες εφαρμόζεται έστω και ένα μικρό ποσοστό μειωμένης κατεργασίας, ενώ μαζί με την περιοχή Μεσολογγίου κατέχουν ένα πολύ ικανοποιητικό ποσοστό ακαλλιέργειας. Τα αποτελέσματα δεν είναι καθόλου ενθαρρυντικά όσον αφορά την εφαρμογή χλωρής λίπανσης, αφού οι παραγωγοί σε Βάλτο και Ξηρόμερο δεν γνωρίζουν στην κυριολεξία τι είναι χλωρή λίπανση. Αντίθετα, στις άλλες δύο περιοχές γίνεται μια μικρή προσπάθεια. Ένα άλλο κοινό χαρακτηριστικό που συναντούμε στις δύο πρώτες περιοχές είναι η ενσωμάτωση κοπριάς στο έδαφος, γεγονός που συνδέεται άμεσα με την αυξημένη κτηνοτροφία που έχει αναπτυχθεί στις συγκεκριμένες περιφέρειες. Η αμειψισπορά εφαρμόζεται από όλους σχεδόν τους παραγωγούς, εκτός από ένα ποσοστό 36% στην περιοχή Ξηρομέρου, με όλες τις θετικές επιδράσεις που έχει μια τέτοια εφαρμογή. Σημαντικό όμως ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση των ζιζανίων, αφού ως γνωστό δεν επιτρέπεται η χρήση ζιζανιοκτόνων. Συγκεκριμένα, στις εδαφικές περιοχές Βάλτου και Ξηρομέρου δεν χρησιμοποιούνται σχεδόν καθόλου γεωργικά μηχανήματα κατεργασίας εδάφους για τον έλεγχο των ζιζανίων, ενώ στην περιοχή Μεσολογγίου διακρίνεται μία σημαντική τάση για χρησιμοποίηση χορτοκοπτικών. Η έρευνα έδειξε ακόμη πως οι λιγοστές εκτάσεις που αρδεύονται στις δύο πρώτες περιοχές, αρδεύονται με σύστημα τεχνητής βροχής. Το συγκεκριμένο σύστημα άρδευσης μειώνει τον κίνδυνο διάβρωσης των εδαφών καθώς και την πιθανότητα επιφανειακής απορροής. Ανάλογα είναι και τα συστήματα άρδευσης στην περιοχή Μεσολογγίου, όπου χρησιμοποιείται τόσο η τεχνητή βροχή όσο και η

στάγδην άρδευση. Κάτι τέτοιο όμως δε συμβαίνει και στην Τριχωνίδα, αφού σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% γίνεται επιφανειακή άρδευση, με αποτέλεσμα την αύξηση των επιφανειακών απορροών και την έκπλυση των νιτρικών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάζοντας πιο αναλυτικά την κάθε γεωγραφική ενότητα καθώς και την κάθε καλλιέργεια στη συγκεκριμένη εδαφική ενότητα, προκύπτουν επιμέρους συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε πως τα επικλινή εδάφη καλλιεργούνται κατά κύριο λόγο με ελιές και στους ελαιώνες αυτούς μόνο στο 18% γίνεται κατεργασία του εδάφους για τον έλεγχο των ζιζανίων. Αυτό σημαίνει πως στο μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων αυτών υπάρχει συνέχεια φυτοκάλυψη, μειώνοντας έτσι τη διάβρωση του εδάφους κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων. Στη μείωση της διάβρωσης συμβάλλει και η ενσωμάτωση χωνεμένης κοπριάς στο 60% περίπου των ελαιώνων, αφού βελτιώνει τη δομή του εδάφους.

Στην γεωγραφική ενότητα Μεσολογγίου παρατηρήθηκε πως οι επικλινείς εκτάσεις καλλιεργούνται με ελιές και πως στις δενδρώδεις καλλιέργειες (ελιές & εσπεριδοειδή) εφαρμόζεται ακαλλιέργεια σε ποσοστό μεγαλύτερο του 60%. Στην καλλιέργεια εσπεριδοειδών γίνεται επίσης χλωρή λίπανση με ψυχανθή και ενσωμάτωση κοπριάς. Η τελευταία πρακτική εφαρμόζεται σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες και σε όλες τις εκτάσεις. Όλα τα παραπάνω συνδυάζονται και με το σύστημα άρδευσης που χρησιμοποιείται και συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της δομής του εδάφους, στη μείωση της απορροής και της απώλειας θρεπτικών στοιχείων. Σε όλες τις καλλιέργειες που αρδεύονται, εφαρμόζεται το σύστημα της τεχνητής βροχής ή και της στάγδην άρδευσης στα εσπεριδοειδή και τις ελιές. Αξίζει να σημειωθεί πως δεν γίνεται καθόλου επιφανειακή άρδευση.

Παρόμοια με την γεωγραφική ενότητα Βάλτου είναι και τα συμπεράσματα στην αντίστοιχη του Ξηρομέρου. Έχουμε κι εδώ μεγάλο ποσοστό επικλινών εδαφών στα οποία εφαρμόζεται ακαλλιέργεια σε πολύ μεγάλο ποσοστό στη μηδική, τις ελιές και την αγρανάπαυση, ενώ καθόλου στα εσπεριδοειδή και τα χειμερινά σιτηρά. Η κτηνοτροφία στην εδαφική αυτή ενότητα έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό και για το λόγο αυτό η προσθήκη κοπριάς σε όλες τις καλλιέργειες φτάνει σε μεγάλα ποσοστά. Στην καλλιέργεια αραβοσίτου και μηδικής η άρδευση γίνεται με τεχνητή βροχή, κάτι που επιβάλλεται στα επικλινή εδάφη.

Τέλος, στην γεωγραφική ενότητα της Τριχωνίδας παρατηρήθηκε πως παρόλο που όλα τα εδάφη είναι επίπεδα, οι παραγωγοί έρχονται αντιμέτωποι με προβλήματα επιφανειακής απορροής και έκπλυσης των νιτρικών. Στις καλλιέργειες της περιοχής αυτής (αραβόσιτος, μηδική, εσπεριδοειδή, ελιές) εφαρμόζεται σύστημα συμβατικής κατεργασίας. Επιπλέον, η προσπάθεια για εφαρμογή χλωρής λίπανσης ή για ενσωμάτωση κοπριάς είναι πολύ μικρή. Το πιο ανησυχητικό όμως στοιχείο είναι αυτό του συστήματος άρδευσης που επιλέγεται από τους παραγωγούς της περιφέρειας αυτής. Αν και υπάρχουν πολλές ιδιόκτητες γεωτρήσεις, οι παραγωγοί χρησιμοποιούν το νερό από το δίκτυο του Τ. Ο. Ε. Β. και στη συντριπτική πλειοψηφία γίνεται επιφανειακή άρδευση με κατάκλυση. Πολλά εδάφη στην εδαφική αυτή ενότητα είναι ελαφριάς ή μέσης σύστασης και δύσκολα συγκρατούν το νερό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τις υπερβολικές απώλειες νερού και θρεπτικών στοιχείων από βαθιά διήθηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wienhold, B.,Hendrickson, J., & Karn, J..2001. Pasture management influences on soil properties in the northern Great Plains. Journal of Soil and Water Conservation, 56(1). 27-31.
2. Τσατσαρέλης, Α. Κ..2001. Τα αειφορικά καλλιεργητικά συστήματα. Ευρωπαϊκή και Εθνική πολιτική. Γεωργική Τεχνολογία-Νέα Γεωργία, 1.14-24.
3. Καλαβρουζιώτης Ι.Κ. 2005. Αειφορική Διαχείριση Εδαφικών Πόρων, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ιωαννίνων, σελ. 266.
4. Plaster E. 2003. Soil Science & Management. 4th edition.
5. Σιδηράς, Κ. Ν. 1994. Εδαφικό Περιβάλλον. Πανεπιστημιακές σημειώσεις– Εργαστήριο Γεωργίας Γ.Π.Α. 175-203, 242
6. Ginting, D., Moncrief, J., & Gupta, S..2003. Performance of a Variable Tillage System Based on Interactions with Landscape and Soil. Precision Agriculture, 4.19-34
7. Machado, P. & Silva, C..2001. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61. 119-130
8. Σακελλαριάδης, Σ. 2000. Οικοσυστήματα-Ειδικά θέματα αειφορικής γεωργίας, Α.Π.Θ., ΕΠΕΑΕΚ 3.1α
9. Σιδηράς, Κ. Ν. 1997. Οργανική λίπανση και αμειψισπορές. Δ.Η.Ω. Αθήνα.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΘΩΡΙΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Καβαλάρης Χ.[1], Μυγδάκος, Ε.[2] και Γέμτος Θ.[1]
[1]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας Τ.Κ. 38446 e-mail: chkaval@agr.uth.gr
[2] Τμήμα Οργάνωσης και Διαχείρισης Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων – Αγρίνιο, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε ένα πείραμα με 5 μεθόδους κατεργασίας του εδάφους υπολογίστηκε το κόστος παραγωγής του βαμβακιού. Οι μέθοδοι ήταν: 1) συμβατική κατεργασία 2) μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή 3) με περιστροφικό σκαπτικό 4) με δισκοσβάρνα και 5) ακαλλιέργεια. Μετρήθηκε η κατανάλωση ενέργειας για την κατεργασία του εδάφους και εκτιμήθηκε το συνολικό κόστος παραγωγής με κάθε μεταχείριση. Διαπιστώθηκε μια μικρή μείωση (1,5-3%) του κόστους και μια πολύ μεγαλύτερη απώλεια εισοδήματος εξαιτίας μειωμένης παραγωγής στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. Η μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή δύναται να δώσει υψηλότερο οικονομικό όφελος από την συμβατική κατεργασία αν ληφθεί υπόψη η διεθνής τιμή του βαμβακιού.

Λέξεις κλειδιά: Μειωμένη κατεργασία, ακαλλιέργεια, βαμβάκι, κόστος παραγωγής.

POTENTIAL COST SAVINGS IN THE COTTON CROP VIA REDUCED TILLAGE APPLICATION

C. Cavalaris[1], E. Mygdakos [2] and T.A. Gemtos[1]
[1]Laboratory of Farm Mechanization. University of Thessaly. Fytoko street, 38446 N. Ionia Magnisias. e-mail: chkaval@agr.uth.gr
[2]Department of Organization and Management of Farm Enterprices, Univ.of Ioannina.

ABSTRACT

Production costs of cotton growing were estimated for five tillage methods: Conventional tillage, reduced tillage with heavy cultivator, reduced tillage with rotary cultivator, reduced tillage with disk harrow and no-tillage. In each method the energy consumption during the tillage operations was measured and the corresponding costs were estimated. The results showed a limited potential for total cost savings with reduced tillage application (1,5-3%) and a much greater income loss due to reduced production. However, the method of heavy cultivator may prove more beneficial from conventional tillage, if the international cotton price is taken into account.

Key words: Conservation tillage, no tillage, cotton, production costs.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαμόρφωση των τιμών των αγροτικών προϊόντων και των αγροτικών εφοδίων στα πλαίσια της νέας Κ.Α.Π. οδηγεί στον περιορισμό των περιθωρίων κέρδους για τις ελληνικές αγροτικές επιχειρήσεις οι οποίες για να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους θα πρέπει να καταφύγουν στην εξεύρεση τρόπων μείωσης του κόστους παραγωγής Σημαντικά οφέλη στην περίπτωση αυτή μπορεί να δώσει η εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους [3]. Η αντικατάσταση του αρότρου με άλλα εργαλεία για μειωμένη κατεργασία του εδάφους (βαρύς καλλιεργητής, δισκοσβάρνα, περιστροφικός καλλιεργητής) μπορεί να δώσει μια μείωση του ετήσιου κόστους για την κατεργασία από 10-60% [7]. Το σύστημα της ακαλλιέργειας μειώνει κατά 100% το κόστος κατεργασίας, απαιτεί όμως την εφαρμογή καθολικής ζιζανιοκτονίας για τον έλεγχο των ζιζανίων. Στην περίπτωση αυτή το βραχυπρόθεσμο κόστος της ζιζανιοκτονίας μπορεί να υπερβαίνει το κόστος της κατεργασίας του εδάφους, μακροπρόθεσμα όμως λαμβανομένων υπόψη των στοιχείων του κόστους χρήσης, συντήρησης, απόσβεσης κλπ. του απαιτούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού το συνολικό όφελος είναι υπέρ της μειωμένης κατεργασίας ή της ακαλλιέργειας [9]. Μακροπρόθεσμα, το οικονομικό όφελος από την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας βελτιώνεται και μπορεί να υπερβεί αυτό της συμβατικής μεθόδου, εξαιτίας της σταδιακής αύξησης των αποδόσεων και του περιορισμού του κόστους χρήσης των γεωργικών μηχανημάτων [2].

Σε μια σχετική μελέτη για το βαμβάκι στον Ν. Καρδίτσας διαπιστώθηκε ότι το σύστημα της ακαλλιέργειας έδωσε μεγαλύτερη παραγωγή, μικρότερο κόστος και μεγαλύτερο ακαθάριστο κέρδος σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία. [5]. Σε μια τριετή έρευνα συστημάτων συμβατικής κατεργασίας, μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας στα πλαίσια ενός ευρύτερου προγράμματος έρευνας του Οργανισμού Βάμβακος και του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, βρέθηκε ότι το σύστημα της ακαλλιέργειας έδωσε σχεδόν την ίδια απόδοση και την ίδια ακαθάριστη πρόσοδο με την συμβατική, ενώ το σύστημα της μειωμένης κατεργασίας είχε μικρότερο κόστος και μεγαλύτερο ακαθάριστο κέρδος [6].

Σε ένα πείραμα που εγκαταστάθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο έγινε σύγκριση μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους, υπολογίστηκε η κατανάλωση ενέργειας για την κατεργασία και έγινε κατάρτιση ενεργειακών ισοζυγίων για τη συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων [4]. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι με την μείωση της εντατικότητας της κατεργασίας μπορεί να προκύψει μια μείωση των συνολικών εισροών ενέργειας της τάξης του 1,8 με 4,2% [4]. Προέκυψε ωστόσο και μια μείωση της απόδοσης του βαμβακιού από 4,7-33% [4].

Στην παρούσα εργασία με βάση τα στοιχεία της κατανάλωσης ενέργειας που μετατράπηκαν σε κόστος καυσίμου και την επιβάρυνση του εξοπλισμού υπολογίζεται το κόστος της κατεργασίας του εδάφους με τις διάφορες μεθόδους. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας στοιχεία της αγοράς για τις λοιπές εργασίες και υπολογίζοντας από τα δεδομένα της παραγωγής την ακαθάριστη πρόσοδο, γίνεται κατάρτιση οικονομικών ισοζυγίων και υπολογίζεται η καθαρή πρόσοδος για τις διάφορες μεθόδους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα ήταν τριετές και περιελάβανε την αξιολόγηση των εξής πέντε μεθόδων κατεργασίας του εδάφους: 1) Συμβατική κατεργασία (Σ) με όργωμα σε βάθος 25-30 cm,

2) μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ) σε βάθος 20-25 cm 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. Οι επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν κάθε έτος σε κάθε μεταχείριση φαίνονται στον Πίνακα 4. Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με υπο-ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις σε δύο πειραματικούς αγρούς. Στις κύριες ομάδες υπήρχαν τέσσερα συστήματα αμειψισποράς με καλλιέργειες βαμβακιού, καλαμποκιού και τεύτλων ενώ στις υπο-ομάδες τοποθετήθηκαν τα πέντε συστήματα κατεργασίας του εδάφους. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα οικονομικά αποτελέσματα για την καλλιέργεια του βαμβακιού.

Το βαμβάκι σπέρνονταν σε γραμμές πλάτους 1m με μια τετράσειρη πνευματική σπαρτική. Χρησιμοποιήθηκαν περί τα 2,5 kg σπόρου ανά στρέμμα. Για την λίπανση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν κατά μέσο όρο ετησίως 14 μονάδες αζώτο, 8,33 μονάδες φωσφόρου και 12 μονάδες καλίου. Για τον έλεγχο των ζιζανίων, την πρώτη και δεύτερη χρονιά εφαρμόστηκαν 0,2 kg/στρ προμετρίνη και 0,4 kg/στρ LASSO ενώ την τρίτη έγινε εφαρμογή 0,6 kg/στρ ΚΟΝΤΑΛ και 0,4 kg/στρ ΚΟΤΟΡΑΝ. Η άρδευση γινόταν από γεώτρηση με το σύστημα σταγόνας με τοποθέτηση των σταλακτηφόρων σωλήνων ανά δεύτερη γραμμή καλλιέργειας. Σε κάθε καλλιεργητική περίοδο εφαρμόστηκαν περί τα 60 m^3/στρέμμα νερού συνολικά.

Κατά την κατεργασία του εδάφους, προσαρμόστηκε σε έναν γεωργικό ελκυστήρα 82 KW ένα σύστημα μέτρησης και καταγραφής της αναπτυσσόμενης ελκτικής δύναμης και της ροπής στον δυναμοδοτικό άξονα καθώς επίσης και της ταχύτητας κίνησης του ελκυστήρα και της γωνιακής ταχύτητας στον δυναμοδότη [4]. Από τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκε η απαιτούμενη ισχύς και η καταναλισκομένη ενέργεια για την κατεργασία του εδάφους με τα διάφορα μηχανήματα [4] (Πίνακας 1). Στη συνέχεια με την χρησιμοποίηση συντελεστών μετάδοσης της κίνησης [8] εκτιμήθηκε η ειδική κατανάλωση καυσίμου και υπολογίστηκε η ανά ώρα και η ανά στρέμμα κατανάλωση καυσίμου για την κατεργασία του εδάφους με τα μηχανήματα (Πίνακας 1) [4].

Ο υπολογισμός του κόστους χρήσης των γεωργικών μηχανημάτων στηρίχθηκε στα στοιχεία της κατανάλωσης καυσίμου καθώς και σε στοιχεία της βιβλιογραφίας και της ελληνικής αγοράς. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπευτικές τιμές της αγοράς για το 2004. Οι υπολογισμοί στηρίχθηκαν στην παραδοχή ότι όλα τα μηχανήματα (εκτός των μηχανών συγκομιδής) χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο σε μια υποθετική αγροτική επιχείρηση 300 στρεμμάτων. Η επιχείρηση διαθέτει έναν γεωργικό ελκυστήρα 82 KW. Ο ελκυστήρας αυτός πέρα από τις ώρες που υπολογίζονται για τις διάφορες επεμβάσεις θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιείται επιπλέον 100 ώρες ετησίως για να καλύψει λοιπές ανάγκες της γεωργικής επιχείρησης (Πίνακας 2). Τα μηχανήματα θεωρήθηκε ότι βρίσκονται στον 10° χρόνο λειτουργίας (περίπου στο μεσοδιάστημα της οικονομικής τους ζωής). Ο συνολικός χρόνος ετήσιας απασχόλησης του κάθε μηχανήματος στην γεωργική επιχείρηση υπολογίστηκε διαιρώντας την έκταση της αγροτικής επιχείρησης με τη μέση στρεμματική απόδοση του κάθε μηχανήματος, όπως αυτή μετρήθηκε κατά τις επεμβάσεις κατεργασίας (Πίνακας 2) και πολλαπλασιάζοντας με τον αριθμό των επεμβάσεων που πραγματοποιούνται ετησίως. Οι δαπάνες που υπολογιστήκαν ήταν: η απόσβεση των μηχανημάτων, ο τόκος του επενδεδυμένου και του κυκλοφορούντος κεφαλαίου, τα ασφάλιστρα, οι δαπάνες για τη στέγαση, το κόστος του καυσίμου και των λιπαντικών, η αμοιβή του χειριστή και οι δαπάνες συντήρησης και επισκευών.

Για τον υπολογισμό της απόσβεσης των μηχανημάτων επιλέχθηκε η μέθοδος της σταθερής ετήσιας απόσβεσης εκτιμώντας μια υπολειμματική αξία 10%. Η αρχική αξία και η διάρκεια οικονομικής ζωής των μηχανημάτων φαίνονται στον Πίνακα 2. Για τον υπολογισμό των τόκων του επενδεδυμένου και του κυκλοφορούντος κεφαλαίου χρησιμοποιήθηκε ένα μέσο ετήσιο επιτόκιο των καταθέσεων ίσο με 4%. Οι δαπάνες στέγασης υπολογίστηκαν με την παραδοχή ότι τα μηχανήματα στεγάζονται σε ένα υπόστεγο από σκυρόδεμα (Πίνακας 2).

Το κόστος του καυσίμου για κάθε εργασία υπολογίστηκε από τα στοιχεία της ωριαίας κατανάλωσης καυσίμου και του συνολικού χρόνου ετήσιας λειτουργίας των μηχανημάτων. (Πίνακες 1 & 2). Για το πετρέλαιο θεωρήθηκε μια μέση τιμή ίση με 0,50 €/λίτρο. Η κατανάλωση λιπαντικών εκτιμήθηκε από τη σχέση [1]:

$$OC_{(a)} = 0{,}00059P + 0{,}02169 \qquad (1)$$

Όπου: $OC_{(a)}$ = η κατανάλωση λιπαντικών σε λίτρα ανά ώρα λειτουργίας του ελκυστήρα και P = η μέγιστη ισχύς του ελκυστήρα (82 kW) Το κόστος των λιπαντικών εκτιμήθηκε λαμβάνοντας υπόψη μια μέση τιμή ίση με 3 €/λίτρο.

Για την αμοιβή του χειριστή υπολογίστηκε ένα ωρομίσθιο ίσο με 5€. Ο χρόνος χειρισμού των μηχανημάτων προσαυξήθηκε κατά 7,5% για να συμπεριληφθεί και ο χρόνος που αφιερώνεται σε ρυθμίσεις, καθαρισμό και καθημερινή συντήρηση των μηχανημάτων. Το κόστος συντήρησης και επισκευών υπολογίστηκε από την σχέση [1].

$$C_{rm} = (RF_1)Q_o\left[\frac{h}{1000}\right]^{(RF_2)} \qquad (2)$$

Όπου: C_{rm} = το σωρευμένο κόστος συντήρησης και επισκευών από το έτος αγοράς του μηχανήματος έως τον πρώτο μήνα του έτους ν, Q_0 = το κόστος αγοράς, h = οι συνολικές ώρες λειτουργίας, RF_1, RF_2 = σταθεροί συντελεστές [1] (Πίνακας 2). Υπολογίστηκε το σωρευμένο κόστος επισκευών και συντήρησης στις αρχές του 10ου και του 11ου έτους λειτουργίας. Η διαφορά έδωσε τις ετήσιες δαπάνες επισκευών και συντήρησης για τον 10ο χρόνο της λειτουργίας.

Για τα γεωργικά εφόδια (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, σπόροι) χρησιμοποιήθηκαν τρέχουσες τιμές της αγοράς (τιμές 2004). Για την άρδευση θεωρήθηκε ένα κόστος νερού ίσο με με 44 €/στρ σύμφωνα με στοιχεία τιμολόγησης του ΤΟΕΒ Στεφανοβικείου Μαγνησίας. Επιπλέον υπολογίστηκε το κόστος της απόσβεσης των αγωγών του αρδευτικού εξοπλισμού θεωρώντας μια μέγιστη διάρκεια ζωής 10 ετών. Το κόστος προσαυξήθηκε κατά 2% για έξοδα αναλώσιμων και υλικών συντήρησης. Επίσης θεωρώντας ένα συνολικό χρόνο 1,5 h/στρ για εγκατάσταση, απεγκατάσταση και εργασίες συντήρησης του δικτύου άρδευσης και ένα ωρομίσθιο των εργατών 3 € υπολογίστηκε το κόστος της εργασίας για την τοποθέτηση και τη λειτουργία του δικτύου άρδευσης.

Κάθε έτος πραγματοποιήθηκαν 1-2 σκαλίσματα με το χέρι. Η απόδοση των εργατών ήταν διαφορετική σε κάθε μεταχείριση κατεργασίας διότι ήταν διαφορετική και η ανάπτυξη των ζιζανίων. Η συμβατική κατεργασία είχε λιγότερα ζιζάνια και το σκάλισμα γινόταν ταχύτερα ενώ η ακαλλιέργεια είχε πολλά ζιζάνια και χρειαζόταν πολύ περισσότερο χρόνο. Ο χρόνος αυτός μετρήθηκε και ήταν 4 h/στρ για την μέθοδο Σ, 4,2 h/στρ για την ΒΚ, 5,4 h/στρ για την ΠΣ, 5,7 h/στρ για την Δ και 7,7 h/στρ για την Α. Λαμβάνοντας υπόψη ένα ωρομίσθιο των εργατών γης ίσο με 3€/h υπολογίστηκε σε κάθε μεταχείριση το κόστος του σκαλίσματος.

Το κόστος της συγκομιδής υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη ένα μίσθιο για την μηχανή συγκομιδής ίσο με 20 €/στρ Για τα γεωργικά εφόδια και την εργασία εγκατάστασης του δικτύου άρδευσης υπολογίστηκε ο τόκος του κυκλοφορούντος κεφαλαίου για ένα εξάμηνο. Για τη συγκομιδή ο τόκος του κυκλοφορούντος κεφαλαίου υπολογίστηκε για έναν μήνα. Στα ετήσια έξοδα της παραγωγής δεν συμπεριλήφθηκε το ενοίκιο γης με την υπόθεση ότι η γεωργική επιχείρηση λειτουργεί σε ιδιόκτητη έκταση και η χρησιμοποίηση σε κάθε περίπτωση μιας ενιαίας τιμής τεκμαρτού ενοικίου δεν θα άλλαζε τα αποτελέσματα. Τέλος με βάση την απόδοση της καλλιέργειας και θεωρώντας μια τιμή για το σύσπορο ίση με 0,82 €/kg υπολογίστηκε για κάθε μέθοδο κατεργασίας η αξία της παραγωγής.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 1 υπολογίζεται το κόστος του καυσίμου και των λιπαντικών για τις διάφορες επεμβάσεις κατεργασίας του εδάφους. Το όργωμα ως η πλέον ενεργοβόρος μέθοδος έχει το υψηλότερο ετήσιο κόστος εφαρμογής. Ακολουθούν ο βαρύς καλλιεργητής και το περιστροφικό σκαπτικό που προσφέρουν περίπου 50% εξοικονόμηση σε καύσιμα. Σημαντικά μειωμένη είναι η κατανάλωση και το κόστος του καυσίμου με τα ελαφρύτερα μηχανήματα κατεργασίας (δισκοσβάρνα, ελαφρύς καλλιεργητής) εξαιτίας των σημαντικά μικρότερων απαιτήσεων σε ενέργεια.

Το ίδιο ισχύει και για τα μηχανήματα των υπόλοιπων καλλιεργητικών φροντίδων. Η υψηλή ειδική κατανάλωση καυσίμου που εκτιμήθηκε για τις ελαφρύτερες εργασίες οφείλεται στο γεγονός ότι για τις εργασίες αυτές χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος γεωργικός ελκυστήρας που χρησιμοποιήθηκε και για τις βαρύτερες εργασίες της κατεργασίας του εδάφους. Κατά συνέπεια το ποσοστό αξιοποίησης της ισχύος στην περίπτωση αυτή ήταν μικρό οδηγώντας σε μια υψηλή ειδική κατανάλωση. Αν και η πρακτική αυτή αντιπροσωπεύει τις περισσότερες ελληνικές γεωργικές επιχειρήσεις που συνήθως διαθέτουν έναν γεωργικό ελκυστήρα μεγάλης ισχύος για την κάλυψη όλων των καλλιεργητικών αναγκών, η ενδεχόμενη χρήση ενός μικρότερου ελκυστήρα θα έδιδε καλύτερη αξιοποίηση της ισχύος και επομένως μικρότερη κατανάλωση καυσίμου.

Πίνακας 1. Κόστος καυσίμου και λιπαντικών.

	Απορροφόμενη ενέργεια (kWh/στρ)	Ειδική κατανάλωση καυσίμου (l/kWh)	Κατανάλωση καυσίμου (l/h)	(l/στρ)	Κόστος καυσίμου (€/h)	(€/στρ)	Κόστος καυσίμου (€/έτος)	Κόστος λιπαντικών (€/έτος)
Άροτρο	*6,45*	*0,36*	17,2	5,46	8,6	2,7	819	20,0
Βαρύς καλλιεργητής	*3,75*	*0,35*	21,4	2,60	10,7	1,3	390	7,6
Περιστροφ. σκαπτικό	*5,84*	*0,35*	22,2	2,68	11,1	1,3	402	7,6
Δισκοσβάρνα	*0,63*	*0,41*	15,0	0,76	7,5	0,4	228	6,4
Ελαφρύς καλλιεργητής	*0,98*	*0,37*	16,6	0,99	8,3	0,5	222	5,6
Σπαρτική	0,17	0,62	9,18	0,49	4,59	0,25	74	3,4
Στελεχοκόπτης	0,98	0,63	8,2	0,80	4,1	0,4	119	6,2
Ψεκαστικό	*0,09*	*0,63*	8,0	0,09	4,0	0,0	28	1,5
Λιπασματοδιανομέας	*0,17*	*0,6*	9,4	0,15	4,7	0,1	33	1,5
Σκαλιστήρι	0,81	0,6	13,8	0,58	6,9	0,3	86	2,6

Πίνακας 2. Στοιχεία απόδοσης, χρήσης, κίνησης και στέγασης των γ. μηχανημάτων

	Μέση στρεμ. απόδοση (στρ/h)	Αριθμός επεμβάσεων ετησίως	Ώρες λειτουργίας ετησίως μηχαν	γ.ε.	Αρχική αξία (€)	Επιφάνεια αποθήκευσης (m^2)	Διάρκεια οικονομ ζωής* (h)	RF_1*	RF_2*
Γεωργικός ελκυστήρας (4 κιν τροχοί)					60.000	24	16.000	0,007	2,0
Άροτρο	3,2	1	95,2	267	2.000	6	2.000	0,29	1,8
Βαρύς καλλιεργητής	8,2	1	36,4	208	2.000	6	2.000	0,28	1,4
Περιστροφ. σκαπτικό	8,3	1	36,2	208	3.500	6	1.500	0,36	2,0
Δισκοσβάρνα	19,8	1-4	30,4	202	3.000	6	2.000	0,18	1,7
Ελαφρύς καλλιεργητής	16,8	1-2	26,8	199	1.800	6	2.000	0,27	1,4
Σπαρτική	18,7	1	16,0	217	5.000	6	1.500	0,32	2,1
Στελεχοκόπτης	10,2	1	29,3	217	1.800	2	1.500	0,46	1,7
Ψεκαστικό	84,5	1-3	7,1	217	1.800	2	1.500	0,41	1,3
Λιπασματοδιανομέας	63,0	1-2	7,1	217	1.400	2	1.500	0,63	1,3
Σκαλιστήρι	24,0	1	12,5	217	2.000	6	2.000	0,17	2,2

στοιχεία από ASAE Standards D497.4

Στον Πίνακα 3 υπολογίζονται όλες οι σταθερές και μεταβλητές δαπάνες κατά την χρήση των γεωργικών μηχανημάτων. Στην πρώτη σειρά υπολογίζονται οι ετήσιες σταθερές δαπάνες του γ.ε. Στην 9η στήλη του πίνακα γίνεται καταμερισμός αυτών των δαπανών ανά καλλιεργητική επέμβαση με βάση τη ποσοστιαία συμβολή της κάθε επέμβασης στον συνολικό ετήσιο χρόνο λειτουργίας του γ.ε. Η κατεργασία του εδάφους με άροτρο παρουσιάζει το υψηλότερο κόστος ανά στρέμμα. Η κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή και περιστροφικό σκαπτικό παρουσιάζει τις μισές περίπου δαπάνες. Σημαντικά μειωμένο είναι το κόστος όταν χρησιμοποιείται δισκοσβάρνα και ελαφρύς καλλιεργητής. Οι τιμές που προέκυψαν από τους υπολογισμούς συγκλίνουν με τις πραγματικές τιμές της αγοράς για την εκμίσθωση των ανωτέρω εργασιών.

Στον Πίνακα 4, παρουσιάζεται για κάθε έτος και για κάθε σύστημα κατεργασίας το συνολικό κόστος ανά στρέμμα για την προετοιμασία του εδάφους ανάλογα με τις επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν. Η πλέον πολυδάπανη μέθοδος αποδεικνύεται η Σ με κόστος παραγωγής 15-15,7 €/στρ. Οι μέθοδοι μειωμένης κατεργασίας προσφέρουν μείωση των δαπανών 40%-60% και η μέθοδος Α μείωση 100%.

Στον Πίνακα 5 συγκρίνονται οι πέντε μέθοδοι κατεργασίας με βάση το σύνολο των δαπανών για τις διάφορες καλλιεργητικές επεμβάσεις και καταρτίζεται ένα οικονομικό ισοζύγιο για κάθε περίπτωση συμπεριλαμβάνοντας και την αξία της παραγωγής από τα στοιχεία της απόδοσης. Με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας προέκυψε μια μείωση του κόστους παραγωγής κατά 3,1% με την μέθοδο ΒΚ, 1,6-1,9% με τις μεθόδους ΠΣ και Δ και μια αύξηση του κόστους κατά 5,4% με την Α. Η τελευταία οφείλονταν στην υψηλή αξία του *glyphosate* καθώς και στο αυξημένο κόστος για τα σκαλίσματα. Από τα στοιχεία της παραγωγής (Πίνακας 5) διαπιστώνεται επίσης ότι στα τρία έτη του πειράματος προέκυψε μια μέση μείωση της απόδοσης κατά 4,7% στην μέθοδο ΒΚ κατά 22-23% στις μεθόδους ΠΣ και Δ και κατά 33% στην μέθοδο Α οδηγώντας σε μια ανάλογη μείωση της ακαθάριστης προσόδου. Από την καθαρή ετήσια πρόσοδο προκύπτει ότι το βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με την συμβατική κατεργασία του εδάφους (Πίνακας 5). Με την μέθοδο ΒΚ προέκυψε μια μείωση του κέρδους κατά 7€/στρ ενώ με τις μεθόδους ΠΣ και Δ η απώλεια εισοδήματος προσεγγίζει τα 60€/στρ. Τέλος η μέθοδος Α δίνει το μεγαλύτερο παθητικό εξαιτίας του υψηλότερου κόστους παραγωγής και της σημαντικά μειωμένης απόδοσης

Πίνακας 3. Αναλυτική κατάσταση του κόστους χρήσης των γεωργικών μηχανημάτων σε μια αγροτική επιχείρηση 300 στρ.

	Σταθερές δαπάνες				Μεταβλητές δαπάνες					Σταθερές δαπάνες γεωργ ελκυστήρα (€/έτος)	Συνολικό κόστος καλλιεργητικής επέμβασης			Τιμές αγοράς (€/στρ)
	1. Ετήσια απόσβεση (€/έτος)	2. Τόκος επεν-δεδυμένου κεφαλαίου (€/έτος)	3. Έξοδα στέγασης (€/έτος)	4. Ασ-φάλεια (€/έτος)	5. Έξοδα καυσίμων και λιπαντικών (€/έτος)	6. Αμοιβή χειριστή (€/έτος)	7. Κόστος επισκευών και συντήρησης (€/έτος) μηχ	γ.ε.	8. Τόκος κυκλοφο-ρούντος κεφαλαίου (€/έτος)		(€/έτος)	(€/h)	(€/στρ)	
Γεωργικός ελκυστήρας	2700	1266	57,2	150						4173				
Άροτρο	90	42,2	14,3		839	512	101	116	29,1	1487	3230	33,9	10,8	11,2 - 14,7
Βαρύς καλλιεργητής	90	42,2	14,3		398	196	20	25	12,5	729	1526	41,9	5,1	5,9 - 7,3
Περιστροφ. σκαπτικό	158	73,9	14,3		409	195	35	25	12,7	726	1649	45,5	5,5	5,9 - 8,8
Δισκοσβάρνα	135	63,3	14,3		234	163	13	20	8,3	626	1277	42,0	2,1	1,5 - 2,1
Ελαφρύς καλλιεργητής	81	38,0	14,3		228	144	11	16	8,7	562	1103	41,2	2,5	1,5 - 2,1
Σπαρτική πνευμ. (βαμβ)	225	105,5	14,3		77	86	8	8	3,4	308	835	52,1	2,8	2,6 - 3,2
Στελεχοκόπτης	81	38,0	9,5		126	157	18	19	6,0	563	1018	34,7	3,4	2,3 - 2,9
Ψεκαστικό	81	38,0	9,5		30	38	3	3	1,8	137	341	48,1	0,6	0,6 - 0,9
Λιπασματοδιανομέας	63	29,5	9,5		35	38	4	3	1,8	137	321	45,0	0,7	0,6 - 0,9
Σκαλιστήρι	63	29,5	14,3		89	67	1	6	3,2	240	513	41,0	1,7	1,5 - 2,1

Πίνακας 4. Συνοπτικό κόστος των επεμβάσεων κατεργασίας που πραγματοποιήθηκαν κάθε χρονιά στις πέντε μεταχειρίσεις του πειράματος.

	1997					1998					1999				
Συστήμ κατεργ:	Σ	ΒΚ	ΠΣ	Δ	Α	Σ	ΒΚ	ΠΣ	Δ	Α	Σ	ΒΚ	ΠΣ	Δ	Α
	(€/στρ)					(€/στρ)					(€/στρ)				
Άροτρο	10,8					10,8					10,8				
Βαρύς καλλιεργ		5,1					5,1					5,1			
Περιστρ σκαπτικό			5,5					5,5					5,5		
Δισκοσβάρνα (1η)	2,1	2,1	2,1	2,1		2,1	2,1		2,1					2,1	
Δισκοσβάρνα (2η)	2,1	2,1	2,1	2,1		2,1			2,1					2,1	
Δισκοσβάρνα (3η)				2,1											
Δισκοσβάρνα (4η)				2,1											
Ελαφρ καλ (1ος)											2,5	2,5	2,5	2,5	
Ελαφρ καλ (2ος)											2,5	2,5			
ΣΥΝΟΛΟ	15,0	9,3	9,8	8,5	0,0	15,0	7,2	5,5	4,3	0,0	15,7	10,0	7,9	6,7	0,0

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι με τις υπάρχουσες συνθήκες η υποκατάσταση του αρότρου από κάποιο άλλο μηχάνημα κατεργασίας είναι ασύμφορη. Η σχετικά περιορισμένη ελάττωση του κόστους παραγωγής με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους οφείλεται στο γεγονός ότι η κατεργασία καταλαμβάνει μικρό ποσοστό στο συνολικό κόστος παραγωγής (8,1% στην συμβατική κατεργασία, 4,2-4,9%

στο περιστροφικό σκαπτικό και το βαρύ καλλιεργητή 3,5% στη δισκοσβάρνα και 0% στην ακαλλιέργεια) με συνέπεια να περιορίζονται σημαντικά τα περιθώρια εξοικονόμησης δαπανών αλλά και στο αυξημένο κόστος για το σκάλισμα. Επιπλέον, οι μεγάλες απώλειες εισοδήματος σχετίζονται με την υψηλή εμπορική αξία του προϊόντος εξαιτίας της επιδότησης της παραγωγής. Στον Πίνακα 5, οι αριθμοί στις παρενθέσεις υποδηλώνουν την καθαρή ετήσια πρόσοδο όταν ληφθεί ως βάση η διεθνής τιμή του προϊόντος που είναι 0,25 €/kg.. Σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο φαίνεται ότι η καλλιέργεια του βαμβακιού θα καταστεί παθητική εξαιτίας των υψηλών εισροών κεφαλαίου για την παραγωγή. Σημαντικό είναι όμως το γεγονός ότι τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται υπέρ της μεθόδου ΒΚ.

Πίνακας 5. Κατάρτιση οικονομικού ισοζυγίου για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους με βάση τους μέσους όρους από τα τρία έτη του πειράματος.

	Σ	ΒΚ	ΠΣ	Δ	Α
Ετήσιες δαπάνες (€/στρ)					
1 κατεργασία	15,2	8,8	7,7	6,5	0,0
2 ζιζανιοκτονία	10,3	10,3	10,3	10,3	24,1
3 σκαλίσματα	13,8	14,5	18,2	19,1	25,4
4 σπορά	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
5 λίπανση	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4
6 άρδευση	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
7 συγκομιδή	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4
8 στελεχοκοπή	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
σύνολο	187,4	181,7	184,3	183,9	197,5
Απόδοση (kg/στρ)	329	313	251	254	219
Αξία παραγωγής (€/στρ)	269	257	206	208	180
Καθαρή ετήσια πρόσοδος (€/στρ)	82,0(-105,3)	75,0(-103,4)	21,5(-121.6)	24,4(-120,4)	-17,9(-142,8)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους προσέφερε μείωση του κόστους παραγωγής εκτός από την περίπτωση της ακαλλιέργειας όπου το κόστος ήταν υψηλότερο από την συμβατική κατεργασία εξαιτίας της χρήσης του *glyphosate* και του αυξημένου κόστους για το σκάλισμα.
- Στο σύνολο των δαπανών παραγωγής η κατεργασία του εδάφους καταλαμβάνει μικρό ποσοστό επιτρέποντας περιορισμένα περιθώρια μείωσης του κόστους.
- Με την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας προκύπτει μια μείωση της ακαθάριστης προσόδου εξαιτίας της μείωσης της παραγωγής του βαμβακιού.
- Με τις υπάρχουσες συνθήκες η πλέον προσοδοφόρος μέθοδος αποδεικνύεται η συμβατική καθότι εξασφαλίζει το υψηλότερο εισόδημα. Εάν όμως αφαιρεθεί η επιδότηση από την τιμή του προϊόντος τότε η μέθοδος ΒΚ εξασφαλίζει ελαφρώς μικρότερη απόδοση από την Σ με όμως σημαντικά μειωμένο κόστος παραγωγής.
- Στην παρούσα εργασία δεν εκτιμήθηκε η επίπτωση από τη διαφορική χρήση ενός μικρότερου ελκυστήρα στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας που θα είχε μικρότερες σταθερές και μεταβλητές δαπάνες. Το θέμα αυτό χρίζει περαιτέρω διερεύνηση προκειμένου να υπάρχει πληρέστερη απάντηση στη

σύγκριση της συμβατικής καλλιέργειας με τα λοιπά συστήματα μειωμένης κατεργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ASAE (2002). Standard D497.4. Agricultural machinery management data. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.
2. Harman, W.L., Michels, G.J. and Wiese, A.F. (1989). A conservation tillage system for profitable cotton production in Central Texas high plains. Agron J. 81. 615-18
3. Hernanz, J.L., Giron, V.S. and Cerisola, C. (1995). Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain, Soil and Tillage Research, l35 (4), 183-198
4. Καβαλάρης, Χ. (2004). Μελέτη εναλλακτικών μεθόδων κατεργασίας του εδάφους σε συστήματα αμειψισποράς ζαχαροτεύτλων, καλαμποκιού και βαμβακιού. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
5. Κωτούλας Β. (2005). Επιδράσεις των αποστάσεων σποράς σε παράγοντες της ανάπτυξης και τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού σε σύστημα συμβατικής κατεργασίας και ακατεργασίας του εδάφους. Μεταπτ. διατριβή. Γ.Π. Αθηνών
6. Mygdakos E., Avgoulas C., Patsialis K., Kotoulas E. (2000). Comparisson between conventional, reduced tillage and no-till systems on cotton growing in Grecce : Economic results of three years experimentation. Proceedings of the 4th European Symposium on European Farming and Rural Systems Research and Extension into the Next Millenium, Environmental, Agricultural and Socio-economic Issues, AFSRE, Volos 3-7 April, 55-62.
7. Sijtsma, C.H., Campbell, A.J. McLaughlin, N.B. and Carter, M.R. (1998). Comparative tillage costs for crop rotations utilizing minimum tillage on a farm scale, Soil and Tillage Research, 49 (3) 223-31
8. Τσατσαρέλης, Α. Κ. (1995). Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης. Υπηρεσία δημοσιευμάτων (σ. 134).
9. Weise, A.F., Harman, W.L. and Regier, C. (1994). Economic evaluation of conservation tillage systems for dryland and irrigated cotton (Gossypium hirsutum) in the Southern Great Plains. Weed Science, 42. 316-21.

ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΕΔΑΦΟΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ι. Παπαθανασίου* Χρ. Καραμούτης* Θ.Α. Γέμτος*
*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φ.Π. & Α.Π., Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Φυτόκο, 38446 Ν.Ιωνία Μαγνησίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία παρουσιάζονται δοκιμές εφαρμογής, διαφορετικών αποστάσεων στα κύρια στελέχη ενός υπεδαφοκαλλιεργητή, καθώς και συνδυασμοί τους με αβαθή βοηθητικά στελέχη, με σκοπό την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και την ποιοτικότερη εργασία. Παρατηρήθηκε μείωση της ενέργειας με την αύξηση της απόστασης των κύριων στελεχών. Η προσθήκη βοηθητικών στελεχών οδηγεί σε περεταίρω μείωση στις μεγαλύτερες αποστάσεις των κύριων στελεχών ενώ δεν επηρεάζει στις μικρότερες. Η ποιότητα αναμόχλευσης που επιτεύχθηκε μετά την κατεργασία δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων σχεδιασμών.

Λέξεις κλειδιά: Υπεδαφοκαλλιεργητής, κατανάλωση ενέργειας, ποιότητα εργασίας

REDESIGN OF A SUBSOILER TO DECREASE ENERGY CONSUMPTION

I. Papathanassiou* Ch. Karamoutis* T.A. Gemtos*
*University of Thessaly, School of Agricultural Sciences, Department of Agriculture C.P. & A.E., Lab. of Farm Mechanization, Fytoko, 38446 N. Ionia Magnesia.

ABSTRACT

This work shows various tests of a subsoiler through the application of several spaces between the main tines and their combinations with shallower assistant tines. The aim was the decrease of energy consumption and improvement of work quality. Increase of main tines space led to decrease of energy consumption. Adding assistant tines decrease energy consumption only in the cases of wide spaces between main tines and there wasn't any influence in other cases. Work quality didn't influence in several conducted tests.

Key words: Subsoiler, energy consumption, tillage quality

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία στις ανεπτυγμένες χώρες προσανατολίζεται σε ένα συνδυασμό ικανοποιητικής απόδοσης των καλλιεργειών, με ταυτόχρονη μείωση των εισροών. Θα πρέπει να συμπιεστεί το κόστος παραγωγής μέσω της μείωσης των εισροών, κάνοντας τα γεωργικά προϊόντα περισσότερο ανταγωνιστικά στις διεθνείς αγορές. Παράλληλα επιδιώκεται προστασία του περιβάλλοντος μειώνοντας την επιβάρυνσή του. Μια σημαντική εισροή στα σημερινά βιομηχανικά γεωργικά συστήματα που ασκούνται στις ανεπτυγμένες χώρες είναι η ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Τα τελευταία προέρχονται από μη ανανεώσιμες πηγές που τα αποθέματά τους μειώνονται συνεχώς κάνοντας ανασφαλή τη μελλοντική τροφοδοσία. Επομένως γίνεται επιτακτική η προσπάθεια μείωσης της ενέργειας που καταναλώνεται με διάφορες μορφές στη γεωργία.

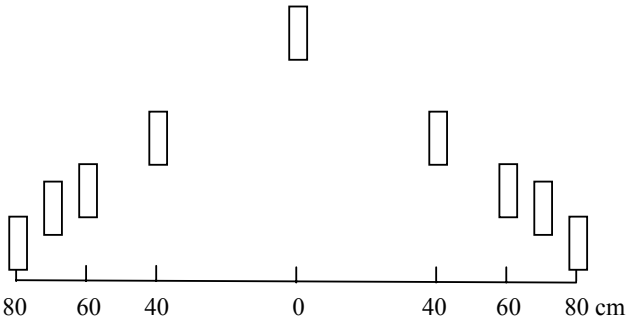
Σημαντικό ποσοστό της ενέργειας που απαιτείται από μια καλλιέργεια καταναλώνεται κατά το στάδιο της προετοιμασίας του εδάφους. Οι σημερινές πρακτικές συνίστανται σε πολλαπλά περάσματα μηχανημάτων στο χωράφι (πρωτογενής, δευτερογενής κατεργασία) που καταναλώνουν σημαντικά ποσά ενέργειας. Στο παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί προσπάθειες ανάπτυξης εναλλακτικών μεθόδων κατεργασίας του εδάφους, λιγότερο απαιτητικών σε ενέργεια [1],[2], ενώ σήμερα εφαρμόζονται και αποτελούν πρακτικές κατεργασίας του εδάφους [3]. Οι μελλοντικές προσπάθειες θα πρέπει να οδηγήσουν σε βελτίωση των πρακτικών αυτών μέσω της χρησιμοποίησης αποδοτικότερων γεωργικών εργαλείων.

Η χρήση ενός βαρύ καλλιεργητή ή ενός υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να αντικαταστήσει τη χρήση του αρότρου για την πρωτογενή κατεργασία του εδάφους με σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και χωρίς σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή των φυτών [2]. Ένας σωστότερος σχεδιασμός του υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να οδηγήσει σε επιπλέον μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αυξάνοντας το όφελος από τη χρήση του. Η προσθήκη αβαθών βοηθητικών στελεχών που προηγούνται στην κατάλληλη απόσταση των κύριων στελεχών ενός υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 15% καθώς και σε ποιοτικότερη αναμόχλευση του εδάφους όπως αποδείχθηκε με προηγούμενες εργασίες [4],[5],[6],[7]. Η χρήση αβαθών εργαλείων μπροστά από τα κύρια έχει αποδειχθεί [7] ότι μειώνει την απαιτούμενη ενέργεια όταν βρίσκονται στη βέλτιστη απόσταση από τα κύρια στελέχη (50 cm) και έχουν το βέλτιστο βάθος εργασίας (15 cm) όταν το βάθος εργασίας των κύριων στελεχών είναι 40 cm. Επομένως στη συνέχεια θα πρέπει να διερευνηθεί κατά πόσο διαφορετικές σχετικές θέσεις αβαθών και κύριων στελεχών επηρεάζουν ή όχι την κατανάλωση ενέργειας. Δηλαδή αν η προσθήκη και δεύτερης σειράς αβαθών εργαλείων, ώστε να μειωθεί η απόσταση μεταξύ τους κατά πλάτος, μπροστά από την πρώτη σειρά, μειώνει περεταίρω ή όχι την κατανάλωση ενέργειας. Επίσης θα πρέπει να διερευνηθεί η απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών τόσο κατά πλάτος όσο και κατά μήκος αν επηρεάζει ή όχι την κατανάλωση ενέργειας καθώς και την αναμόχλευση που επιτυγχάνεται στο έδαφος.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η βελτίωση ενός υπεδαφοκαλλιεργητή, μειώνοντας την καταναλισκόμενη ενέργεια και επιτυγχάνοντας καλύτερη ποιότητα αναμόχλευσης του εδάφους, μέσω διαφόρων δοκιμών εναλλακτικών σχεδιασμών. Χρησιμοποιήθηκε ένας κοινός υπεδαφοκαλλιεργητής το πλαίσιο του οποίου έδινε τη

δυνατότητα τοποθέτησης των κύριων στελεχών σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους, τόσο κατά πλάτος όσο και κατά μήκος, τοποθετώντας τα σε συγκεκριμένες θέσεις (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Σχετικές θέσεις κύριων στελεχών του υπεδαφοκαλλιεργητή

Η μεταβολή της απόστασης κατά πλάτος, είχε ως αποτέλεσμα και τη μεταβολή της απόστασης κατά μήκος μεταξύ των κύριων στελεχών. Για την προσθήκη των αβαθών βοηθητικών στελεχών χρησιμοποιήθηκε ειδικό πλαίσιο που προηγούνταν του υπεδαφοκαλλιεργητή. Το πλαίσιο ήταν με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένο ώστε να δίνει τη δυνατότητα προσαρμογής των βοηθητικών στελεχών σε διάφορες θέσεις (Σχήμα 2).

Σχήμα 2. Πλαίσιο τοποθέτησης των βοηθητικών στελεχών μπροστά από τα κύρια σε διάφορες θέσεις.

Η δοκιμή κάθε εναλλακτικού σχεδιασμού περιελάμβανε δυναμομέτρηση της εργασίας στο χωράφι καθώς και εκτίμηση της ποιότητας αναμόχλευσης που επιτυγχάνονταν στο έδαφος με μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση του εδάφους μετά την κατεργασία. Οι μετρήσεις έγιναν στο Αγρόκτημα του Π.Θ. σε ένα έδαφος με ιδιότητες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οι δοκιμές τυχαιοποιήθηκαν σε ομάδες με τρεις επαναλήψεις.

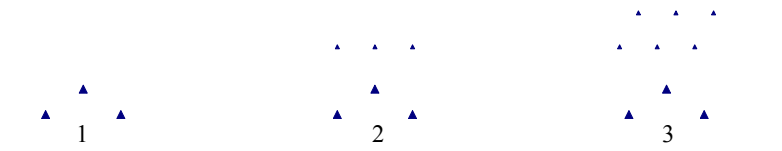
Πίνακας 1. Ιδιότητες εδάφους στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές.

Άμμος (%)	25
Ιλύς (%)	36
Άργιλλος (%)	39
Συνοχή (c)	5.65 kPa
Γωνία εσωτερικής τριβής εδάφους	32º
Υγρασία (% κ.β.)	19

Για τις δυναμομετρήσεις χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας με αισθητήρια μέτρησης των παραμέτρων λειτουργίας του [8]. Οι παράμετροι που μετρούνταν ήταν η ελκτική δύναμη, η ταχύτητα του γεωργικού ελκυστήρα, το βάθος κατεργασίας και η κατανάλωση καυσίμου. Η εκτίμηση της χαλάρωσης που παρουσίαζε το έδαφος μετά την κατεργασία, πραγματοποιήθηκε με μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση κώνου, με χρήση ηλεκτρονικού διεισδυσίμετρου [9]. Με τη χρήση μιας πλάκας, που τοποθετούνταν στο κατεργασμένο έδαφος και έφερε οπές ανά 10 cm εξασφαλίστηκε η ίδια θέση και βάθος πραγματοποίησης των μετρήσεων. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μεταξύ του μεσαίου και ενός ακραίου στελέχους του υπεδαφοκαλλιεργητή.

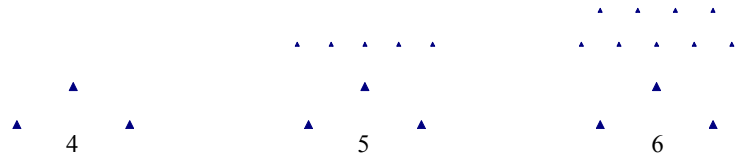
Δοκιμάστηκαν τέσσερεις διαφορετικές σχετικές θέσεις μεταξύ των κύριων στελεχών του υπεδαφοκαλλιεργητή με αποστάσεις κατά πλάτος (40, 60, 70, 80 cm). Ο αριθμός των κύριων στελεχών παρέμενε σταθερός σε όλες τις δοκιμές (3) όπως και το βάθος κατεργασίας (40 cm) που ελέγχονταν από τροχούς εδάφους. Το πλάτος κάθε κύριου στελέχους ήταν 6 cm. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε προσθήκη μίας σειράς βοηθητικών στελεχών (τα οποία βρίσκονταν στην ίδια ευθεία μεταξύ τους) σε απόσταση κατά μήκος 50 cm από το μεσαίο κύριο στέλεχος, Η σειρά έφερε τον κατάλληλο αριθμό βοηθητικών στελεχών, ανάλογα με την σχετική θέση των κύριων στελεχών και επομένως ανάλογα με το πλάτος εργασίας τους (Σχήμα 3). Τέλος πραγματοποιήθηκαν δοκιμές και με προσθήκη δεύτερης σειράς βοηθητικών στελεχών (τα οποία επίσης βρίσκονταν επίσης στην ίδια ευθεία κατά μήκος) που τοποθετήθηκε 40 cm μπροστά από την πρώτη ώστε να πραγματοποιείται πιο πλήρης επιφανειακή κατεργασία του εδάφους αφού ελαττώθηκε η απόστασή τους κατά πλάτος για τις δύο σειρές (Σχήμα 3). Το βάθος κατεργασίας των βοηθητικών στελεχών που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές όλων των σχεδιασμών ήταν 15 cm όπως προαναφέρθηκε ενώ το πλάτος τους ήταν 5 cm. Η ταχύτητα πραγματοποίησης της κατεργασίας παρέμενε σταθερή (0,95-1 m/s) σε όλες τις δοκιμές.

Οι πρώτες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με τα κύρια στελέχη του υπεδαφοκαλλιεργητή σε απόσταση 40 cm. Αρχικά έγινε δοκιμή χωρίς αβαθή βοηθητικά στελέχη ενώ στη συνέχεια προστέθηκε μία και κατόπιν δύο σειρές αβαθών βοηθητικών στελεχών. Στη συνέχεια αυξάνονταν οι αποστάσεις μεταξύ των κύριων στελεχών διαδοχικά ως τα 80 cm και ακολουθούσαν οι ίδιες δοκιμές (χωρίς βοηθητικά στελέχη, με μία και δύο σειρές βοηθητικών στελεχών). Το σύνολο των εναλλακτικών σχεδιασμών που δοκιμάστηκαν απεικονίζεται στο σχήμα 3.



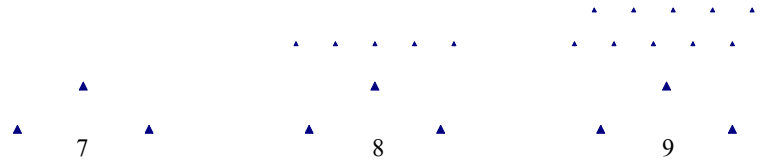
1 2 3

Απόσταση στελεχών κατά πλάτος 40 cm. Πλάτος εργασίας 1,2 m



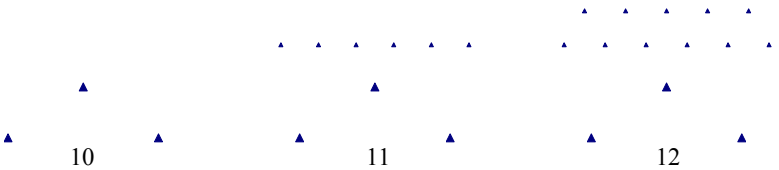
4 5 6

Απόσταση στελεχών κατά πλάτος 60 cm. Πλάτος εργασίας 1,8 m



7 8 9

Απόσταση στελεχών κατά πλάτος 70 cm. Πλάτος εργασίας 2,1 m



10 11 12

Απόσταση στελεχών κατά πλάτος 80 cm. Πλάτος εργασίας 2,4 m

▲ Κύριο στέλεχος
▲ Βοηθητικό αβαθές στέλεχος

Σχήμα 3. Εναλλακτικοί σχεδιασμοί που δοκιμάστηκαν (κάτοψη σχεδιασμών)

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αρχικά όπως προαναφέρθηκε πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές των σχεδιασμών με τα κύρια στελέχη του υπεδαφοκαλλιεργητή σε απόσταση 40 cm μεταξύ τους κατά πλάτος. Λόγω της ύπαρξης φυτικών υπολειμμάτων στον πειραματικό αγρό, παρατηρήθηκαν έντονες εμπλοκές τους (μπουκώματα) με τα στελέχη, σε όλους τους σχεδιασμούς (χωρίς, με μία σειρά και δύο σειρές βοηθητικών στελεχών) με αποτέλεσμα να υπάρξει σημαντική αύξηση των δυνάμεων και της καταναλισκόμενης ενέργειας. Επομένως οι συγκεκριμένες μετρήσεις δεν χρησιμοποιήθηκαν στις επόμενες στατιστικές

αναλύσεις και συμπεράσματα. Στη συνέχεια αυξάνοντας διαδοχικά την απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών κατά πλάτος δεν παρουσιάστηκε πρόβλημα σε κανένα σχεδιασμό. Τα αποτελέσματα των ελκτικών δυνάμεων που απαιτήθηκαν καθώς και της ενεργειακής κατανάλωσης αυτών των δοκιμών εναλλακτικών σχεδιασμών του υπεδαφοκαλλιεργητή παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ελκτική Δύναμη και Ενεργειακή Κατανάλωση για κάθε σχεδιασμό

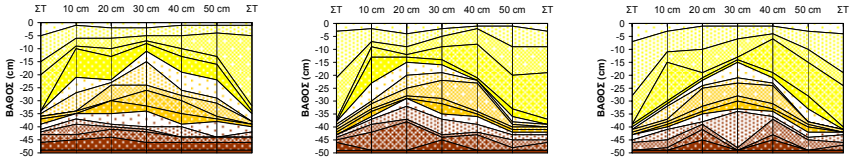
Σχεδιασμός	Απόσταση Κύριων Στελεχών (cm)	Σειρές Βοηθητικών Στελεχών	Πλάτος Εργασίας	Συνολική Ελκτική Δύναμη (N)	Καταναλισκόμενη Ενέργεια (kJ/στρέμμα)
4	60	-	1,8	16231	9017
5	60	1	1,8	16064	8924
6	60	2	1,8	16165	8980
7	70	-	2,1	15122	7201
8	70	1	2,1	12828	6108
9	70	2	2,1	14491	6900
10	80	-	2,4	18177	7573
11	80	1	2,4	17489	7287
12	80	2	2,4	17933	7472
				Lsd: 1562	Lsd: 753

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δείχνουν, ότι απαιτήθηκαν οι υψηλότερες ελκτικές δυνάμεις στους σχεδιασμούς, με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 80 cm κατά πλάτος. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτήθηκαν κατά 10% περίπου, υψηλότερες ελκτικές δυνάμεις (στατιστικώς σημαντικές διαφορές) σε σχέση με τους σχεδιασμούς με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 60 cm κατά πλάτος. Αντίθετα απαιτήθηκαν κατά 12% περίπου μικρότερες ελκτικές δυνάμεις (στατιστικώς σημαντικές διαφορές) στους σχεδιασμούς με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 70 cm κατά πλάτος, σε σχέση με τους σχεδιασμούς με απόσταση 60 cm. Δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά ο σχεδιασμός με απόσταση κύριων στελεχών κατά πλάτος 70 cm χωρίς βοηθητικά στελέχη, ο οποίος απαίτησε ελκτικές δυνάμεις κοντά σε αυτές που απαιτήθηκαν από τους σχεδιασμούς με απόσταση κύριων στελεχών μεταξύ τους 60 cm. Η ενεργειακή κατανάλωση δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά, μεταξύ των σχεδιασμών με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 70 και 80 cm κατά πλάτος πλην της περίπτωσης του σχεδιασμού με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 70 cm σε συνδυασμό με μία σειρά αβαθών βοηθητικών στελεχών που απαίτησε στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερη ενέργεια. Αντίθετα στατιστικώς σημαντικά υψηλότερη ενέργεια καταναλώθηκε στους σχεδιασμούς με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 60 cm κατά πλάτος σε σχέση με τους υπόλοιπους σχεδιασμούς. Επομένως φαίνεται πως η αύξηση της απόστασης μεταξύ των κύριων στελεχών του υπεδαφοκαλλιεργητή, από τα 60 στα 70 cm κατά πλάτος μειώνει τις ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται και σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση. Αντίθετα περεταίρω αύξηση στα 80 cm αυξάνει σημαντικά τις ελκτικές δυνάμεις με αποτέλεσμα παρόμοια ενεργειακή κατανάλωση με τους σχεδιασμούς με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 70 cm. Φαίνεται λοιπόν πως η χρήση απόστασης 70 cm μεταξύ των κύριων στελεχών του υπεδαφοκαλλιεργητή οδηγεί σε ελαχιστοποίηση των αναπτυσσομένων ελκτικών δυνάμεων και

καταναλισκόμενης ενέργειας λόγω κατάλληλου βαθμού αλληλεπίδρασης μεταξύ των στελεχών (ελαχιστοποιημένες αλλά όχι μηδενικές).

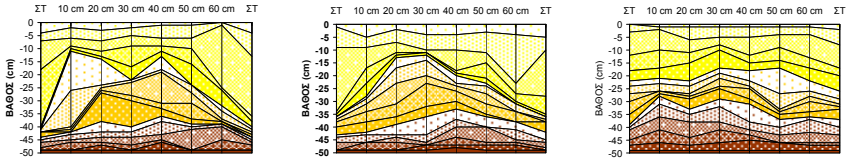
Η προσθήκη μιας σειράς βοηθητικών στελεχών οδήγησε σε μείωση των ελκτικών δυνάμεων και της καταναλισκόμενης ενέργειας σε όλες τις αποστάσεις κύριων στελεχών που δοκιμάστηκαν. Στη περίπτωση του σχεδιασμού με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 60 cm, παρατηρήθηκε μείωση κατά 1% (στατιστικώς μη σημαντική διαφορά), στο σχεδιασμό με απόσταση κύριων στελεχών 70 cm, κατά 15% (στατιστικώς σημαντική διαφορά) και στο σχεδιασμό με απόσταση κύριων στελεχών 80 cm, κατά 4% (στατιστικώς μη σημαντική διαφορά). Η προσθήκη και δεύτερης σειράς βοηθητικών στελεχών αύξησε τις ελκτικές δυνάμεις και την κατανάλωση ενέργειας που απαιτήθηκε, στα επίπεδα αυτών που απαιτήθηκαν στους σχεδιασμούς χωρίς βοηθητικά στελέχη (στατιστικώς μη σημαντικές διαφορές). Φαίνεται λοιπόν πως η προσθήκη μιας σειράς βοηθητικών στελεχών βοηθά στην μείωση των αναπτυσσομένων ελκτικών δυνάμεων καθώς και των ενεργειακών απαιτήσεων ενός υπεδαφοκαλλιεργητή σε όλες τις αποστάσεις μεταξύ των κύριων στελεχών που δοκιμάστηκαν λόγω βελτίωσης του βαθμού αλληλεπίδρασης μεταξύ των κύριων στελεχών (αύξηση κρίσιμου βάθους, αλλαγή μορφής διάτμησης του εδάφους). Ιδιαίτερα στον σχεδιασμό με απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών 70 cm η μείωση ήταν ιδιαίτερα σημαντική λόγω της βελτιστοποίησης του βαθμού αλληλεπίδρασης των κύριων στελεχών.

Οι μετρήσεις της ποιότητας αναμόχλευσης δεν έδειξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών σχεδιασμών του υπεδαφοκαλλιεργητή. Στους σχεδιασμούς με αποστάσεις μεταξύ των κύριων στελεχών 70 και 80 cm σε συνδυασμό με μια σειρά βοηθητικών στελεχών επιτεύχθηκε ελαφρώς καλύτερη αναμόχλευση του επιφανειακού στρώματος του εδάφους αντίθετα με τον σχεδιασμό με απόσταση 60 cm. Επίσης με όλους τους σχεδιασμούς που χρησιμοποιήθηκε δεύτερη σειρά βοηθητικών στελεχών επιτεύχθηκε ελαφρώς δυσμενέστερη αναμόχλευση του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. (Σχήματα 2.1 – 2.3). Στα σχήματα απεικονίζεται η αντίσταση στη διείσδυση (μέσος όρος των επαναλήψεων για κάθε σχεδιασμό) που παρουσίαζε το έδαφος μέχρι βάθους 50 cm, στο τμήμα μεταξύ δύο κύριων στελεχών και εμφανίζεται σε ζώνες χωρισμένες ανά 100 kPa. Βάση παρόμοιων σχημάτων για κάθε επανάληψη υπολογίστηκε το εμβαδό κάθε ζώνης για όλο το πλάτος κατεργασίας, για κάθε σχεδιασμό και πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση.



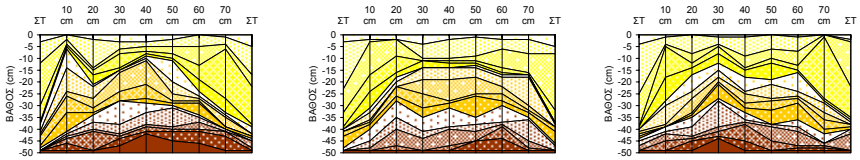
Χωρίς βοηθητικά Στελέχη | Μια σειρά βοηθητικών στελεχών | Δύο σειρές βοηθητικών στελεχών

Σχήμα 2.1. Προφίλ εδάφους μετά την κατεργασία για το σχεδιασμό υπεδαφοκαλλιεργητή με απόσταση στελεχών 60 cm χωρίς, με μία σειρά και δύο σειρές βοηθητικών στελεχών.



Χωρίς βοηθητικά Στελέχη | Μια σειρά βοηθητικών στελεχών | Δύο σειρές βοηθητικών στελεχών

Σχήμα 2.2. Προφίλ εδάφους μετά την κατεργασία για το σχεδιασμό υπεδαφοκαλλιεργητή με απόσταση στελεχών 70 cm χωρίς, με μία σειρά και δύο σειρές βοηθητικών στελεχών.



Χωρίς βοηθητικά Στελέχη | Μια σειρά βοηθητικών στελεχών | Δύο σειρές βοηθητικών στελεχών

Σχήμα 2.3. Προφίλ εδάφους μετά την κατεργασία για το σχεδιασμό υπεδαφοκαλλιεργητή με απόσταση στελεχών 80 cm χωρίς, με μία σειρά και δύο σειρές βοηθητικών στελεχών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η αύξηση της απόστασης μεταξύ των κύριων στελεχών ενός υπεδαφοκαλλιεργητή μειώνει σε σημαντικό βαθμό τις ενεργειακές απαιτήσεις για την κατεργασία του εδάφους ενώ δεν επηρεάζει την ποιότητα αναμόχλευσής του.
2. Η απόσταση μεταξύ των κύριων στελεχών ενός υπεδαφοκαλλιεργητή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 70 cm (1,75 επί το βάθος εργασίας). Πάνω από αυτό το όριο παρατηρείται αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων.
3. Δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται μικρή απόσταση (40 cm) μεταξύ των κύριων στελεχών ενός υπεδαφοκαλλιεργητή λόγω έντονης αλληλεπίδρασής τους και ιδιαίτερα σε εδάφη που υπάρχει βλάστηση (Εμφάνιση μπουκωμάτων).
4. Η προσθήκη μιας σειράς βοηθητικών στελεχών σε ένα υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να μειώσει την ενέργεια που απαιτείται για την κατεργασία του εδάφους από 1 %μέχρι και 15 %.
5. Η προσθήκη δεύτερης σειράς βοηθητικών στελεχών δεν έχει κανένα αποτέλεσμα στις ενεργειακές απαιτήσεις ενός υπεδαφοκαλλιεργητή (βρίσκονται στα ίδια επίπεδα είτε χρησιμοποιούνται, είτε όχι βοηθητικά στελέχη) και θα πρέπει να αποφεύγεται γιατί προκαλεί έντονη αλληλεπίδραση μεταξύ των στελεχών.

5 . ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Gemtos T.A, Galanopoulou ST. and Kavalaris Chr. 1998. Wheat establishment after cotton with minimal tillage. European Journal of Agronomy 8 137-147.
2. Hernanz J.L., Giron V.S. and Cerisola C. 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. Soil & Tillage Research 35 183 – 198.
3. ASAE Standards 2002. Tillage systems. American Society of Agricultural Engineers 115.
4. Spoor G. and Godwin R.J 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. Journal of Agricultural Engineering Research 23 1-16.
5. Godwin R.J, Spoor G. and Soomro M.S.1984. The Effect of Tine Arrangement on Soil Forces and Disturbance. Journal of Agricultural Engineering Research 30 47-56.
6. Papathanassiou I., Kavalaris Chr., Karamoutis Chr. and Gemtos T.A. 2000 "Redesign of a heavy cultivator to optimize field work". 2nd National Conference of Agricultural Engineering, Volos, 28-30 September, Proceedings 489-496. (In Greek).
7. Papathanassiou I., Karamoutis Chr., Kavalaris Chr. and Gemtos T.A. 2003. "Use of shallow tines to minimize the energy consumption of a subsoiler". 3rd National Conference of Agricultural Engineering, Thessaloniki, 29-31 May, Proceedings 95-102. (In Greek).
8. Papathanassiou I., Kavalaris Ch., Karamoutis Ch. and Gemtos T.A. 2002 "Design, Construction and Testing of an Instrumented Tractor to Measure Forces on Agricultural Implements and Energy Consumption during field work". 1st conference of Hellenic Association of ICT in Agriculture, Food and Environment Athens 6-7 June, Proceedings 144-153.
9. ASAE Standards 2002. Soil cone penetrometer. American Society of Agricultural Engineers 861-862.

ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΕΝΤΕ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

Α. Αγγελοπούλου*, Χ. Καβαλάρης*, Χ. Καραμούτης*, Ε. Βαβουλίδου, Θ.Α. Γέμτος***

*Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν. Ιωνία Μαγνησίας,e-mail: aggelop@agr.uth.gr,**ΕΘΙΑΓΕ, Εργαστήριο Εδαφολογίας Αθηνών, Σ. Βενιζέλου1, 14123 Λυκόβρυση Αττικής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή έγινε σύγκριση των εξής μεθόδων κατεργασίας: συμβατική, μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό, μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα και ακαλλιέργεια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην ακαλλιέργεια και στη μειωμένη κατεργασία παρατηρήθηκε αύξηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας και της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση, μείωση της απόδοσης των τεύτλων και αύξηση της βιολογικής δραστηριότητας στο έδαφος σε σχέση με την συμβατική. Ο βαρύς καλλιεργητής είχε τα πλησιέστερα αποτελέσματα με την συμβατική από τις υπόλοιπες μεθόδους μειωμένης κατεργασίας.

LONGTERM EFFECTS OF FIVE TILLAGE METHODS IN SOIL AND SUGAR BEET CROP

A. Aggelopoulou*, C. Cavalaris*, C. Karamoutis,* E. Vavoulidou and T. A. Gemtos**

Laboratory of Farm Mechanization, Univirsity of Thessaly, Fytoko Street, N. Ionia, Magnesia, 38446 Greece, e-mail: aggelop@agr.uth.gr, **NAGREF, Soil Science Institute of Athens, S. Venizelou 1, 14123 Licovrici, Attiki, Greece.

ABSTRACT

In the present study the following tillage methods were compared: conventional tillage, reduced tillage with heavy cultivator, reduced tillage with rotary cultivator, reduced tillage with disc harrow and no-tillage. The results showed that in no-tillage and reduced tillage methods soil bulk density and penetration resistance were increased, sugar beet yield decreased and the biological activity in soil increased compared to conventional tillage. The heavy cultivator presented the best results from the other reduced tillage methods compared to conventional tillage.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμβατική κατεργασία του εδάφους ακολουθείται παραδοσιακά από αιώνες και περιλαμβάνει βαθιά πρωτογενή κατεργασία με αναστροφή του εδάφους με άροτρο και δευτερογενή κατεργασία με ελαφρύτερα μηχανήματα για προετοιμασία του εδάφους για την σπορά. Είναι πολύ διαδεδομένο σύστημα σε όλο τον κόσμο διότι επιτυγχάνει καλές αποδόσεις και ελέγχει αποτελεσματικά τα ζιζάνια. Όμως η συμβατική κατεργασία είναι ένα σύστημα εντατικής διαχείρισης του εδάφους που αυξάνει το κόστος παραγωγής. Επιπλέον η εφαρμογή της επί σειρά ετών έχει δημιουργήσει προβλήματα στο έδαφος όπως είναι η συμπίεση, η διάβρωση, η καταστροφή της οργανικής ουσίας και η δημιουργία σκληρού και αδιαπέραστου ορίζοντα [1].

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή της συμβατικής κατεργασίας, τις τελευταίες δεκαετίες αναπτύχθηκαν τα συστήματα που στοχεύουν στην αειφορική διαχείριση του εδάφους. Τα συστήματα αειφορίας περιλαμβάνουν διάφορα συστήματα κατεργασίας όπως είναι η μειωμένη κατεργασία, η ελάχιστη κατεργασία, η ακαλλιέργεια κ.α., που έχουν ως κοινό γνώρισμα την διατήρηση της επιφάνειας του εδάφους καλυμμένης με φυτικά υπολείμματα τουλάχιστον κατά 30% [2]. Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στη προστασία του εδάφους από την διάβρωση και τη συμπίεση, στην διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους, στην εξοικονόμηση εδαφικής υγρασίας και στην μείωση του κόστους παραγωγής μέσω του περιορισμού των επεμβάσεων κατεργασίας. Με την εφαρμογή των συστημάτων αυτών βελτιώνεται η δομή και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους, αυξάνεται η οργανική ουσία του εδάφους, μειώνονται οι εκπομπές CO_2 και αυξάνεται η δραστηριότητα των οργανισμών που ζουν στο έδαφος [3].

Στην χώρα μας έχουν γίνει λίγες έρευνες σχετικά με την εφαρμογή των μεθόδων μειωμένης κατεργασίας [4, 5, 6]. Για το λόγο αυτό, το έτος 1997, εγκαταστάθηκε ένα πείραμα στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, με σκοπό να μελετηθούν οι μακροχρόνιες επιπτώσεις διαφόρων συστημάτων κατεργασίας στο έδαφος και σε διάφορες καλλιέργειες που έχουν οικονομική σημασία για τη χώρα μας (βαμβάκι, καλαμπόκι, ζαχαρότευτλα, σιτηρά). Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται μετρήσεις που λήφθηκαν στο $7^{ο}$ έτος του πειράματος σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων και διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις πέντε συστημάτων κατεργασίας στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, στην πανίδα του εδάφους, στο φύτρωμα και στην απόδοση των τεύτλων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ένα πείραμα που εγκαταστάθηκε το έτος 1997 στο Αγρόκτημα του Πανεπιστήμιου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Για την παρούσα εργασία ληφθήκαν μετρήσεις το έβδομο έτος διεξαγωγής του πειράματος σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Το έδαφος του πειραματικού αγρού είναι ιλυοαργιλώδες. Οι καλλιέργειες κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος ήταν οι εξής: τα έτη 1997-97 αμειψισπορές βαμβακιού καλαμποκιού και τεύτλων, το 2000 σιτάρι, το 2001 έγινε αλλαγή της κατεύθυνσης κατεργασίας και καλλιεργήθηκαν τεύτλα, το 2002 έγινε επαναφορά της κατεύθυνσης κατεργασίας και καλλιεργήθηκε καλαμπόκι, το 2003 τεύτλα, το 2004 κριθάρι και το 2005 βαμβάκι.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν διαχωριζόμενες ομάδες (strip-plot design) με δύο παράγοντες και τέσσερις επαναλήψεις. Ο ένας παράγοντας ήταν οι πέντε μέθοδοι κατεργασίας που εφαρμόστηκαν το έτος 2003 (πρόσφατη κατεργασία). Ο άλλος

παράγοντας ήταν οι ίδιες πέντε μέθοδοι κατεργασίας που εφαρμόστηκαν το έτος 2001 (προηγούμενη κατεργασία) που έγινε η αλλαγή της κατεύθυνσης κατεργασίας.

Με την αλλαγή της κατεύθυνσης κατεργασίας έγινε δυνατή η σύγκριση των τεμαχίων με την ίδια κατεργασία επί πέντε συνεχή έτη με τεμάχια με την ίδια κατεργασία για τέσσερα έτη και το πέμπτο μία από τις μεταχειρίσεις που δοκιμάστηκαν. Το πείραμα είχε συνολικά 5 x 5 x 4 = 100 πειραματικά τεμάχια. Τα τεμάχια είχαν διαστάσεις 6 x 9 m και περιλάμβαναν τις εξής μεθόδους κατεργασίας του εδάφους:

Συμβατική κατεργασία (Σ). Πρωτογενής κατεργασία με όργωμα σε βάθος 0,25-0,30 m. Η δευτερογενής κατεργασία έγινε με ένα πέραμα με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα. Κατά την πρωτογενή κατεργασία δημιουργήθηκαν μεγάλοι βώλοι οι οποίοι στεγνώνοντας ήταν δύσκολο να τεμαχιστούν. Το περιστροφικό σκαπτικό προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί στην δευτερογενή κατεργασία μετά το όργωμα έναντι άλλων μηχανημάτων διότι ήταν δυνατό να επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα με τον μικρότερο αριθμό επεμβάσεων.

Μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ). Πρωτογενής κατεργασία με ένα πέρασμα βαρύ καλλιεργητή στα 0,20-0,25 m και δευτερογενής κατεργασία με δύο περάσματα με δισκοσβάρνα.

Μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα (ΠΚ). Κατεργασία του εδάφους με ένα πέρασμα με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα σε βάθος 0,10-0,12 m

Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ). Κατεργασία του εδάφους με δύο περάσματα με δισκοσβάρνα σε βάθος 0,07-0,0 8 m.

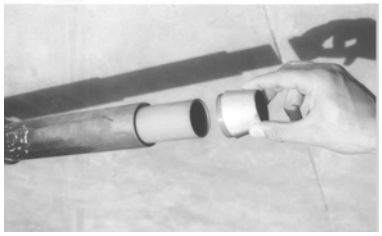
Ακαλλιέργεια (Α). Απευθείας σπορά σε ακατέργαστο έδαφος και καταστροφή της υπάρχουσας βλάστησης με glyphosate πριν το φύτρωμα της καλλιέργειας.

Οι επεμβάσεις κατεργασίας πραγματοποιήθηκαν το διάστημα 20-28/3/03. Η βασική λίπανση πραγματοποιήθηκε στις 20/4/03 με 9-9-9μονάδες N-P-K και η επιφανειακή στις 3/7/03 με 2,5 μονάδες N με υδρολίπανση. Η σπορά έγινε στις 20/5/03 με την ποικιλία Ariette και πληθυσμό 17700 σπόρους/στρέμμα. Για την καταστροφή των ζιζανίων πραγματοποιήθηκε στις 18/4/03 ψεκασμός με προφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα. Στην μεταχείριση της ακαλλιέργγειας έγινε επιπλέον εφαρμογή glyphosate. Στις 2/6 και στις 25/6/03 έγιναν ψεκασμοί με μικροδόσεις για τα ζιζάνια που βρίσκονταν σε νεαρό στάδιο. Επίσης έγιναν δύο σκαλίσματα με το χέρι στις 14/6 και στις 14/7/03. Για την άρδευση της καλλιέργειας εφαρμόστηκαν συνολικά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 420m^3 νερό με στάγδην άρδευση. Για την προστασία της φυτείας από την κερκόσπορα και τα έντομα ακολουθήθηκε το πρόγραμμα ψεκασμών της Ε.Β.Ζ. Η συγκομιδή των τεύτλων έγινε στις 7/11/03 μηχανικά.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις που αφορούσαν την ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους, την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση, τον πληθυσμό και την βιομάζα των γαιοσκωλήκων, το φύτρωμα και την απόδοση των ζαχαροτεύτλων. Για την μέτρηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας λήφθηκαν εδαφικά δείγματα με ένα δειγματολήπτη που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστήμιου Θεσσαλίας για το σκοπό αυτό. Ο δειγματολήπτης λαμβάνει κυλινδρικά δείγματα διαμέτρου 44 mm και ύψους 25cm. Τα δείγματα κόβονται σε μικρότερα δείγματα της ίδιας διαμέτρου και ύψους 5 cm. Στην συνέχεια τα δείγματα αποξηράθηκαν στους 104^oC για 48 ώρες ζυγίστηκε το ξηρό βάρος τους και υπολογίστηκε η ξηρή φαινομενική τους πυκνότητα διαιρώντας το ξηρό βάρος του δείγματος με τον όγκο του.

Περιγραφή του εδαφικού δειγματολήπτη. Το σύστημα του δειγματολήπτη αποτελείται από τα εξής μέρη :

Δειγματολήπτης. Αποτελείται από ένα σωλήνα διαμέτρου 60 cm, ο οποίος λαμβάνει το δείγμα. Στο σωλήνα αυτό είναι κοχλιωμένος ένας σωλήνας σε σχήμα κόλουρου κώνου με μικρή διάμετρο 0,46 m που βοηθάει τον δειγματολήπτη να διεισδύει στο έδαφος. Στο εσωτερικό του σωλήνα που λαμβάνει το δείγμα τοποθετείται ένας πλαστικός σωλήνας από P.V.C. διαμέτρου 0,46 m στον οποίο τοποθετείται το δείγμα (σχήμα 1). Καθώς ο δειγματολήπτης εισέρχεται στο έδαφος ο κώνος κόβει ένα κυλινδρικό δείγμα εδάφους το οποίο τοποθετείται στον πλαστικό σωλήνα. Ο πλαστικός σωλήνας λιπαίνεται για να αποφευχθούν οι τριβές μεταξύ του εδαφικού δείγματος και των τοιχωμάτων του σωλήνα, οι οποίες είναι δυνατόν να συμπιέσουν το δείγμα.



Σχήμα 1. Τμήμα του εδαφολήπτη όπου διακρίνεται ο εσωτερικός πλαστικός σωλήνας που τοποθετείται το δείγμα και ο κωνικός σωλήνας που βοηθά στη διεισδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος

Πλαίσιο στήριξης. Περιλαμβάνει μία κοιλοδοκό μήκους 3 m που είναι παράλληλη προς το έδαφος πάνω στην οποία μπορεί να κινείται ο δειγματολήπτης δεξιά και αριστερά ώστε να παίρνει δείγματα σε διάφορα σημεία. Το σύστημα σταθεροποιείται με δέσιμο με αλυσίδες των κάτω βραχιόνων των τριών σημείων σύνδεσης του γ.ε. με την δοκό έλξης.

Υδραυλικό σύστημα για την κίνηση του δειγματολήπτη. Είναι διπλής ενέργειας έτσι ώστε να κινείται σε δύο κατευθύνσεις. Η μία κίνηση είναι η ώθηση του δειγματολήπτη προς στο έδαφος για να λάβει το δείγμα και η άλλη κίνηση είναι η επαναφορά του δειγματολήπτη έξω από έδαφος. Το υδραυλικό σύστημα συνδέεται με τις υδραυλικές αναμονές του γεωργικού ελκυστήρα από τον οποίο παίρνει υδραυλική ισχύ.

Χειριστήριο. Είναι τριών θέσεων. Η μία θέση είναι κάτω για να εισέλθει ο δειγματολήπτης στο έδαφος, η άλλη θέση είναι πάνω ώστε να εξέλθει από το έδαφος και μία ουδέτερη.

Διαδικασία μέτρησης. Η μέτρηση γίνεται ως εξής: Καθαρίζεται η επιφάνεια του εδάφους. Τοποθετείται ο δειγματολήπτης σε κατακόρυφη θέση. Ξεβιδώνεται ο κώνος από τον δειγματολήπτη και τοποθετεί ο πλαστικός σωλήνας. Δίνεται εντολή με το χειριστήριο να εισέλθει ο δειγματολήπτης στο έδαφος. Καθώς ο δειγματολήπτης εισέρχεται στο έδαφος ο κώνος κόβει ένα κυλινδρικό δείγμα εδάφους το οποίο τοποθετείται στον εσωτερικό πλαστικό σωλήνα. Όταν ο δειγματολήπτης φτάσει στο επιθυμητό βάθος, διακόπτεται η κίνησή του και δίνεται εντολή για την έξοδό του από το έδαφος. Στη συνέχεια λαμβάνεται ο πλαστικός σωλήνας που περιέχει το δείγμα μέσα από τον δειγματολήπτη. Οι πλαστικοί σωλήνες που περιέχουν τα δείγματα τοποθετούνται σε πλαστικές σακούλες και μεταφέρονται στο εργαστήριο, όπου εξάγονται τα δείγματα από τους σωλήνες και γίνονται οι μετρήσεις. Ο δειγματολήπτης λειτούργησε ικανοποιητικά στο έδαφος και έφτανε στο επιθυμητό βάθος. Τα δείγματα

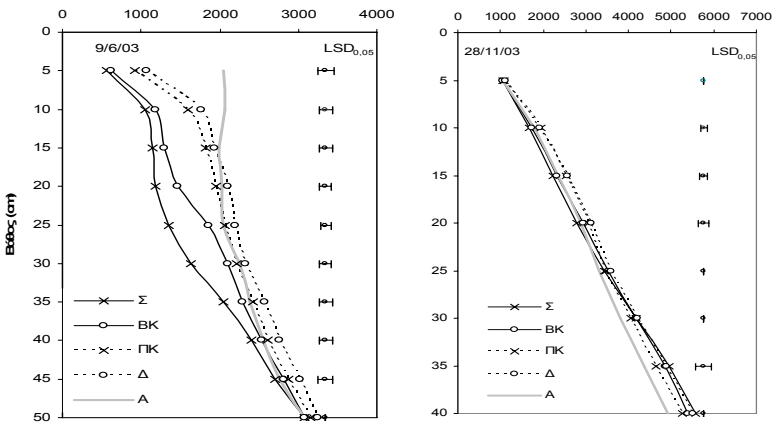
λήφθηκαν εύκολα και γρήγορα. Τα εδαφικά δείγματα δεν συμπιέστηκαν διότι οι πλαστικοί σωλήνες λιπάνθηκαν πριν να ληφθεί το δείγμα και αποφεύχθηκαν οι τριβές μεταξύ των τοιχωμάτων του σωλήνα και του δείγματος. Η εξαγωγή των δειγμάτων από τους πλαστικούς σωλήνες έγινε εύκολα διότι τα δείγματα είχαν λίγο μικρότερη διάμετρο από τους πλαστικούς σωλήνες και διότι σωλήνες είχαν λιπανθεί όπως προαναφέρθηκε.

Η αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση μετρήθηκε με κωνικό διεισδυσιόμετρο, με διάμετρο βάσης 12,83 mm και γωνία κορυφής 30°. Ο κώνος πιεζόταν στο έδαφος με μια ταχύτητα περίπου 30mm/s [7]. Για την μέτρηση των γαιοσκωλήκων ορίστηκε ένα πλαίσιο $0,25m^2$ σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, στο οποίο εφαρμόστηκε διάλυμα φορμαλδεΰδης με ποτιστήρι. Με τη δράση του διαλύματος οι γαιοσκώληκες ανέβηκαν στην επιφάνεια του εδάφους μετά από μερικά λεπτά, όπου συλλέχθηκαν, μετρήθηκε ο αριθμός τους ανά τεμάχιο και ζυγίστηκαν. Στην συνέχεια έγινε η αναγωγή του αριθμού και του βάρους των γαιοσκωλήκων ανά στρέμμα. Για την εκτίμηση του φυτρώματος ορίστηκε μία γραμμή παρατηρήσεων μήκους 4m σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Στην γραμμή αυτή καταγραφόταν σε τακτά διαστήματα δύο με τριών ημερών ο αριθμός των φυτών που φύτρωσαν. Για την εκτίμηση της απόδοσης των τεύτλων έγινε συγκομιδή με το χέρι μιας γραμμής μήκους 6m σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν ξεχωριστά οι ρίζες και οι κορυφές και έγινε αναγωγή της απόδοσης ανά στρέμμα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση

Η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση μετρήθηκε αμέσως μετά τις κατεργασίες του εδάφους στις 9/6/03 και μετά την συγκομιδή των τεύτλων στις 28/11/03 (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση μετά την κατεργασία του εδάφους (αριστερά) και μετά την συγκομιδή (δεξιά).

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι αμέσως μετά την κατεργασία του εδάφους υπάρχουν μεγάλες διαφορές στη αντίσταση στη διείσδυση ανάμεσα στις μεθόδους κατεργασίας. Η συμβατική κατεργασία χαλαρώνει το έδαφος μέχρι τα 30 cm που είναι

το βάθος κατεργασίας. Ο βαρύς καλλιεργητής μέχρι τα 25 cm περίπου. Το περιστροφικό σκαπτικό και η δισκοσβάρνα χαλαρώνουν το έδαφος επιφανειακά μέχρι τα 10 cm. Η ακαλλιέργεια έχει το πιο συνεκτικό έδαφος διότι δεν γίνεται καμία κατεργασία. Από το βάθος των 30 cm και κάτω όλες οι μέθοδοι έχουν την ίδια περίπου αντίσταση στη διείσδυση εκτός από την συμβατική που έχει μικρότερες τιμές.

Στο τέλος όμως της καλλιεργητικής περιόδου μετά την συγκομιδή των τεύτλων οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων κατεργασίας ελαττώνονται. Το έδαφος συμπιέζεται από την δράση των καιρικών συνθηκών, το πέρασμα των γεωργικών μηχανημάτων από τον αγρό και ιδιαίτερα της μηχανής συγκομιδής που έχει μεγάλο βάρος και πιθανόν από την αύξηση της ρίζας των τεύτλων. Μέχρι τα 30 cm όλες οι μεταχειρίσεις έχουν παρόμοιες τιμές ενώ κάτω από τα 30 cm η ακαλλιέργεια έχει ελαφρώς χαμηλότερες τιμές.

3.2. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους

Και στις δύο ημερομηνίες των μετρήσεων οι μέθοδοι μειωμένης κατεργασίας παρουσίαζαν αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα στο έδαφος (Πίνακας 1). Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στην ακαλλιέργεια και ακολουθούσαν οι μέθοδοι της δισκοσβάρνας και του περιστροφικού σκαπτικού, ενώ ο βαρύς καλλιεργητής πλησίαζε τις τιμές της συμβατικής κατεργασίας, προκαλώντας παραπλήσια χαλάρωση στο έδαφος με το άροτρο. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με το βάθος κατεργασίας του κάθε μηχανήματος. Το άροτρο κατεργάζεται το έδαφος στο βάθος των 25-30cm και ο βαρύς καλλιεργητής στα 20-25 cm με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα χαλαρό στρώμα εδάφους μέχρι το βάθος κατεργασίας. Το περιστροφικό σκαπτικό και η δισκοσβάρνα εργάζονται σε μικρότερα βάθη (10-12 cm το περιστροφικό σκαπτικό και 7-8 cm η δισκοσβάρνα) με αποτέλεσμα το έδαφος να είναι πιο συνεκτικό Τέλος στην ακαλλιέργεια που δεν γίνεται καμιά κατεργασία το έδαφος είναι ακόμη πιο συνεκτικό.

Πίνακας 1. Ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους σε δύο ημερομηνίες και σε τρία βάθη δειγματοληψίας

Ξηρή φαινομενική πυκνότητα (Mg /m^3)						
Κατεργασία	25/7/03			23/10/03		
	0-5cm	5-10 cm	10-15cm	0-5cm	5-10cm	10-15cm
Συμβατική	1,20	1,29	1,33	1,33	1,41	1,40
Βαρύς καλλιεργητής	1,23	1,32	1,35	1,37	1,44	1,42
Περιστροφικό σκαπτικό	1,26	1,40	1,37	1,39	1,50	1,45
Δισκοσβάρνα	1,24	1,38	1,41	1,38	1,50	1,48
Ακαλλιέργεια	1,32	1,40	1,41	1,43	1,53	1,48
LSD $_{0.05}$	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05

Στην δεύτερη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε τρεις περίπου μήνες μετά την πρώτη μέτρηση, παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας για όλες τις μεθόδους κατεργασίας και για όλα τα βάθη. Αυτό οφείλεται στη δράση των καιρικών συνθηκών, στη διέλευση των μηχανημάτων καλλιεργητικών εργασιών και πιθανόν στην αύξηση της ρίζας των τεύτλων. Μετά από επτά χρόνια διεξαγωγής του πειράματος παρατηρείται μια μικρή μείωση της ξηρής φαινομενική πυκνότητας του εδάφους στην μέθοδο της ακαλλιέργειας. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι ίσως έχει αρχίσει

να βελτιώνεται η δομή του εδάφους στην ακαλλιέργεια λόγω της αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων και λόγω της αυξημένης δραστηριότητας των γαιοσκωλήκων

3. 3. Πληθυσμός και βιομάζα γαιοσκωλήκων

Η κατεργασία του εδάφους επέδρασε αρνητικά στον πληθυσμό και τη βιομάζα των γαιοσκωλήκων που δραστηριοποιούνται στο έδαφος (Πίνακας 2). Η συμβατική κατεργασία είχε τους μικρότερους πληθυσμούς από τις υπόλοιπες μεθόδους κατεργασίας. Η κατεργασία του εδάφους επηρεάζει τους γαιοσκώληκες που βρίσκονται στο έδαφος άμεσα και έμμεσα. Η άμεση επίδραση οφείλεται στην μηχανική επίδραση των εργαλείων κατεργασίας και η έμμεση στις αλλαγές που προκαλούνται στο περιβάλλον του εδάφους (καταστροφή των στοών των γαιοακωλήκων, ανακατανομή των φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος και αλλαγές στη θερμοκρασία και τη υγρασία του εδάφους) [8]. Από τις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας το περιστροφικό σκαπτικό είχε τους μικρότερους πληθυσμούς γαιοσκωλήκων, πιθανόν λόγω της μεγάλης ανατάραξης που προκαλεί στο έδαφος το εργαλείο αυτό.

Η ακαλλιέργεια είχε τους μεγαλύτερους πληθυσμούς διότι επικρατούν πιο ευνοϊκές συνθήκες στο έδαφος για τους γαιοσκώληκες. Τα φυτικά υπολείμματα που παραμένουν στην επιφάνεια του εδάφους, παρέχουν τροφή στους γαιοσκώληκες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι αν είχαν ενσωματωθεί στο έδαφος. Επίσης δημιουργούν ένα προστατευτικό στρώμα που δεν αφήνει το έδαφος να ξεραθεί στο τέλος της άνοιξης και να πέσει απότομα η θερμοκρασία του στο τέλος του φθινοπώρου. Αυτό επιτρέπει στους γαιοσκώληκες να είναι δραστήριοι, να βρίσκουν τροφή και να αναπαράγονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα την άνοιξη και το φθινόπωρο. Επίσης τα φυτικά υπολείμματα δίνουν στους γαιοσκώληκες περισσότερο χρόνο να εγκλιματιστούν στο καλοκαίρι ή στον χειμώνα και να κατεβούν σε μεγαλύτερα βάθη για να περάσουν την περίοδο που είναι αδρανή [9].

Επίσης μετρήθηκαν οι γαιοσκώληκες στους διαδρόμους μεταξύ των τεμαχίων οι οποίοι ήταν κατά 1,6 % περισσότεροι από την ακαλλιέργεια, λόγω ότι το έδαφος δέχεται ακόμη λιγότερες καλλιεργητικές εργασίες και από την ακαλλιέργεια, ενώ δεν δέχεται επίσης καθόλου αγροχημικά (ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα, εντομοκτόνα) που μπορεί να ζημιώσουν τους γαιοσκώληκες.

Πίνακας 2. Πληθυσμός και βιομάζα γαιοσκωλήκων

Κατεργασία	**Πληθυσμός γαιοσκωλήκων /m^2**	**Βιομάζα γαιοσκωλήκων (g/m2)**
Συμβατική	26	4,1
Βαρύς καλλιεργητής	84	20,4
Περιστροφικό σκαπτικό.	53	12,9
Δισκοσβάρνα	76	19,4
Ακαλλιέργεια	107	31,7
$LSD_{0.05}$	48.7	ns

3. 4 Φύτρωμα

Με την ολοκλήρωση του φυτρώματος η μέθοδος του βαρύ καλλιεργητή είχε το πιο υψηλό ποσοστό φυτρώματος (55,2%), ακολουθούσε η συμβατική κατεργασία (49,3%), η δισκοσβάρνα (47,9%), το περιστροφικό σκαπτικό (45,1%) και τελευταία

ήταν η ακαλλιέργεια (44%), (Πίνακας 3). Το φύτρωμα ήταν ικανοποιητικό για όλες τις μεθόδους κατεργασίας και δεν αποτέλεσε πρόβλημα για την περαιτέρω ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Πίνακας 3. Εξέλιξη του φυτρώματος των τεύτλων.

	Φύτρωμα (φυτά/m)				
Κατεργασία	28/5/03	1/6/03	5/6/03	9/6/03	13/6/03
Συμβατική	3,10	5,53	7,05	8,35	8,73
Βαρύς καλλιεργητής	5,03	7,03	8,13	9,25	9,78
Περιστροφικό σκαπτικό	5,30	7,00	7,60	7,85	7,98
Δισκοσβάρνα	5,05	7,00	7,50	8,10	8,48
Ακαλλιέργεια	4,00	6,00	6,63	7,60	7,79
LSD $_{0.05}$	1,05	1,02	0,92	0,86	0,84

3. 5 Απόδοση

Η απόδοση των ζαχαροτεύτλων στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας ήταν μειωμένη σε σχέση με την συμβατική κατεργασία (Πίνακας 4). Στην κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή διαπιστώθηκε μια μικρή μείωση της απόδοσης της τάξης του 3,7%. Στις υπόλοιπες μεθόδους όμως η μείωση της απόδοσης ήταν σημαντική. Στην κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό η απόδοση ήταν μειωμένη κατά 25,7%, με δισκοσβάρνα 23,2%, και στην ακαλλιέργεια 27,1%. Οι αιτίες που προκάλεσαν μείωση των αποδόσεων στις μεθόδους αυτές ήταν 1) η συνεκτικότητα του εδάφους το οποίο παρουσίαζε αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και αντίσταση στη διείσδυση και 2) ο ανταγωνισμός από τα ζιζάνια.

Πίνακας 4. Απόδοση των τεύτλων σε βάρος ριζών και σε βάρος κορυφών.

Κατερεγασία	**Βάρος ριζών (t/στρ)**	**Βάρος κορυφών (t/στρ)**
Συμβατική	7,86	2,42
Βαρύς καλλιεργητής	7,58	2,25
Περιστροφικό σκαπτικό	5,84	1,86
Δισκοσβάρνα	6,03	1,93
Ακαλλιέργεια	5,73	1,78
LSD $_{0.05}$	0,52	0,19

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το έδαφος στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας παρουσίασε αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και αυξημένη αντίσταση στη διείσδυση. Ωστόσο μετά από επτά χρόνια πειραματισμού παρατηρείται μια μικρή μείωση της ξηρής φαινομενική πυκνότητας στην ακαλλιέργεια. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι ίσως έχει αρχίσει να βελτιώνεται η δομή του εδάφους στην ακαλλιέργεια λόγω της αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων και των ριζών μέσα στο έδαφος και λόγω της αυξημένης δραστηριότητας των γαιοσκωλήκων.

Οι μεγαλύτεροι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων παρατηρήθηκαν στην ακαλλιέργεια λόγω της μηδενικής ανατάραξης του εδάφους και λόγω της ύπαρξης άφθονων φυτικών υπολειμμάτων που προσέφεραν τροφή στους γαιοσκώληκες για μεγάλο χρονικό διάστημα και οι μικρότεροι στην συμβατική κατεργασία

Το φύτρωμα ήταν ικανοποιητικό για όλες τις μεθόδους κατεργασίας και δεν αποτέλεσε πρόβλημα για την περαιτέρω ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Η απόδοση των ζαχαροτεύτλων στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας και στην ακαλλιέργεια ήταν μειωμένη σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Στο βαρύ καλλιεργητή η μείωση ήταν 3,7%, στο περιστροφικό σκαπτικό 25,7%, στην δισκοσβάρνα 23,2%, και στην ακαλλιέργεια 27,1%. Οι αιτίες που προκάλεσαν μείωση των αποδόσεων στις μεθόδους αυτές ήταν 1) η συνεκτικότητα του εδάφους και 2) ο ανταγωνισμός από τα ζιζάνια.

Από τις μεθόδους της μειωμένης κατεργασίας η κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή είχε την μεγαλύτερη απόδοση, είχε τους μεγαλύτερους πληθυσμούς γαιοσκωλήκων και πέτυχε ικανοποιητική χαλάρωση στο έδαφος προσεγγίζοντας τη χαλάρωση που προκαλεί το άροτρο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τσατσαρέλης, Κ.(2000). Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
2. ASAE Standards (1993), EP 291.2. Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships. American Society of Agricultural Engeers. St. Joseph Michigan.
3. Holland J.M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. Agriculture Ecosystems and Environment 103, pp 1-25.
4. Καβαλάρης, Χ. (2004). Εφαρμογή μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους σε συστήματα αμιψεισποράς ζαχαροτεύτλων, βαμβακιού και καλαμποκιού. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
5. Gemtos T.A., Galanopoulou, S. and Kavalaris, C. (1998). Wheat establishment after cotton with minimum tillage. European Journal of Agronomy, 8 (1998), pp 137-147.
6. Μπιλάλης, Δ., Σιδηράς, Ν. και Ευθυμιάδης Π. (2000). Επίδραση τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας σε εδαφικά και φυτικά χαρακτηριστικά σε καλλιέργεια βαμβακιού. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος 2000, σελ 510-517.
7. ASAE Standards S313.2 (1998). Soil Cone Penetrometer. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.
8. Chan, K.Y., 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity- implications for functioning in soils. Soil and Tillage Research. 57: 179-191.

9 Kladivko, E.J., 2001. Tillage systems and soil ecology. Soil and Tillage Research 61: 61-76.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΑΠΛΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΘΡΑΥΣΤΩΝ

Γεώργιος Α. Καραντούνιας[1], Γεώργιος Δ. Κυριακαράκος[2]

[1] Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, email: gkarant@aua.gr
[2 1] Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, email: gk@aua.gr

Περίληψη

Σκοπός αυτής της ερευνητικής εργασίας ήταν να αναπτυχθεί ένα υπολογιστικό μοντέλο το οποίο να έχει την ιδιότητα με λίγες εισόδους να υπολογίζει την προστατευτική επίδραση των ανεμοθραυστών. Έγινε άμεση σύγκριση με δεδομένα που πάρθηκαν σε αεροσήραγγα και αποτελεσμάτων του μοντέλου με σκοπό την αξιολόγηση του δεύτερου. Για την αριθμητική προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το εμπορικό πακέτο FLUENT. Τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης συμφωνούν μέχρι 60 m μετά τον ανεμοθραύστη (10 φορές το ύψος του) όσο αφορά την προστατευτική του επίδραση. Οι διαφορές στην ταχύτητα του αέρα σε συγκεκριμένα σημεία μεταβάλλονται από 0 % μέχρι 40%.

CREATION AND EVALUATION OF A SIMPLE MODEL TO PREDICT THE EFFECT OF WINDBREAKS BASED ON EXPERIMENTAL WIND TUNNEL RESULTS

George A. Karantounias[1], George D. Kyriakarakos[2]

[1] Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Laboratory of Agricultural Hydraulics, Agricultural University of Athens, Greece; email: gkarant@aua.gr
[2] Department of Natural Resources Management and Agricultural Engineering, Laboratory of Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens, Greece; email: gk@aua.gr

ABSTRACT

Scope of this investigation was to create a simple standalone model using minimal inputs that is able to calculate adequately the protective effect of windbreaks. The direct comparison of measurements taken in the wind tunnel and the results of a numerical simulation of the model under the same wind conditions was made in order to evaluate the model. For the numerical study the commercial software package FLUENT was used. The results of the numerical study agree up to 60 m from the windbreak (10 times the height of the windbreak) as far as the protective effect of the windbreak in concerned. Most of the time the wind speed differences vary from 0 % to 40%.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανεμοθραύστες έχουν χρησιμοποιηθεί σε όλο τον κόσμο, ανάμεσα σε άλλες χρήσεις, για να βελτιώσουμε την απόδοση των φυτειών. Η προστασία που μπορούν να προσφέρουν οι ανεμοθραύστες μπορεί να είναι άμεση μειώνοντας την ταχύτητα και το τυρβώδες του αέρα, προστατεύοντας κατά αυτόν τον τρόπο το φυτό από βλάβες των ιστών του. Η προστασία μπορεί να είναι και έμμεση επηρεάζοντας το μικροπεριβάλλον εδάφους-αέρα-φυτού[1,2](Cleugh, 1988; Karantounias 1978).

Γενικά μιλώντας το προστατευτικό αποτέλεσμα ενός ανεμοθραύστη είναι μια συνάρτηση του ύψους, του πλάτους, του σχήματος και της περατότητας του, όσο και της διεύθυνσης του ανέμου, του τυρβώδους και της ατμοσφαιρικής σταθερότητας. Η επίδραση καθενός από αυτούς τους παράγοντες είναι σημαντική, αλλά η αλληλεπίδρασή τους δεν έχει αναλυθεί σε βάθος[1,3,4].

Η περατότητα του ανεμοθραύστη καθορίζει το ποσοστό της ροής του ανέμου που περνάει ανάμεσα από τα δέντρα και της ροής που περνάει πάνω από τον ανεμοφράκτη. Κατά αυτόν τον τρόπο η περατότητα επηρεάζει την ελάχιστη ταχύτητα ανέμου που μπορεί να επιτευχθεί και το ρυθμό ανάκτησης αυτής της ταχύτητας[5].

Σκοπός της έρευνάς μας είναι να δημιουργήσουμε ένα λογισμικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υπολογιστής προβλέποντας την προστατευτική επίδραση ενός ανεμοθραύστη χρησιμοποιώντας ελάχιστες εισόδους και πιο συγκεκριμένα το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου, το ύψος του ανεμοθραύστη και την περατότητά του. Ο ανεμοθράυστης μοντελοποιείται σαν τοίχος με ανοίγματα και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίνονται άμεσα με τα δεδομένα που μετρήθηκαν στην ανεμοσήραγγα. Ένα τέτοιο μοντέλο θα μπορούσε να κάνει το σχεδιασμό των άνεμοθραυστών ευκολότερο και πιο επιτυχημένο μιας και από πείρα να γνωρίζουμε ότι πολλοί αγρότες σε όλο τον κόσμο φυτεύουν ανεμοφράκτες βασισμένοι μόνον στην εμπειρία τους και χωρίς να συμβουλευτούν πρώτα ένα μηχανικό. Αυτό το μικρό και εύκολο στην χρήση λογισμικό που θέλουμε να αναπτύξουμε μπορεί να βοηθήσει τόσο τους αγρότες για να κάνουν ένα απλό έλεγχο αυτού που νομίζουν ότι θα έπρεπε να φυτέψουν αλλά και τους γεωργομηχανικούς σαν ένα πρώτο βήμα στη διαδικασία σχεδιασμού ενός ανεμοφράχτη.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Μελέτη στην ανεμοσήραγγα

Τα δεδομένα από την ανεμοσήραγγα πάρθηκαν στο εργαστήριο ανεμοσήραγγας του τμήματος πολιτικών μηχανικών του πανεπιστημίου της Καρλσρούης στη Γερμανία. Τα μοντέλα των δένδρων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη είχαν τους κορμούς τους φτιαγμένους από σκληρό πλαστικό και το φύλλωμά τους από πορώδες και ελαστικό πλαστικό. Η κλίμακα ήταν 1:100 και το ύψος 6 cm. Τα μοντέλα των δένδρων είχαν τοποθετηθεί σε μια δοκιμαστική ξύλινη πλάκα. Η περατότητα των μοντέλων των δένδρων ήταν 50%.

Το επιθυμητό μέσο προφίλ της ταχύτητας του ανέμου και του τυρβώδους του στην ανεμοσήραγγα δημιουργήθηκε από μια σειρά αδιαπέρατων και περατών φρακτών, καθώς και από άγριες επιφάνειες αποτελλούμενες από στρώματα άμμου. Η στατική πίεση μετρήθηκε κατά μήκος της οροφής της δοκιμαστικής πλάκας χρησιμοποιώντας ένα πιεσόμετρο χωρικού τύπου (capacitance type pressure meter). Η μέση ταχύτητα ανέμου μετρήθηκε χρησιμοποιώντας ένα σωλήνα πίεσης Pitot-Prandtl. Η κατανομή της μέσης ταχύτητας και το τυρβώδες, πριν, από πάνω και μετά τον ανεμοθράυστη μετρήθηκαν με ένα ανεμόμετρο θερμού καλωδίου.

2.2 Αριθμητική προσομοίωση

Ο ανεμοφράκτης προσωμοιώθηκε σαν ένας τοίχος με τετράγωνες τρύπες απείρου μήκους και περατότητα ίση με 50%. Η προσομοίωση έλαβε χώρα σε δύο διαστάσεις, υποθέτωντας ότι ο ανεμοθράυστης ήταν απείρου μήκους. Μια τομή του μοντέλου φαίνεται στην Εικόνα 1. Το εμπορικό λογισμικό πακέτο Fluent χρησιμοποιήθηκε για την αριθμητική προσομοίωση. Αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το standard k-ε μοντέλο για το τυρβώδες. Αυτό το μοντέλο είναι ένα μοντέλο δύο εξισώσεων στις οποίες η λύση δύο ξεχωριστών εξισώσεων φαινομένων μεταφοράς υπολογίζει ανεξάρτητα το τυρβώδες της ταχύητας και τις κλίμακες του μήκους. Είναι ένα ημι-εμπειρικό μοντέλο που προτάθηκε από τους Jones και Launder(FLUENT Inc., 1998).

Εικόνα 1: Τομή του ανεμοθραύστη όπως σχεδιάστηκε στο αρχείο εισόδου του Fluent.

Η κινητική ενέργεια του τυρβώδους, k, και ο ρυθμός έκλυσης υπολογίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις (FLUENT Inc., 1998).

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\vartheta}{\vartheta x_i}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\vartheta k}{\vartheta x_i}\right] + G_k + G_b - \rho\varepsilon \qquad (2.2\text{-}1)$$

και

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\vartheta}{\vartheta x_i}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma\varepsilon}\right)\frac{\vartheta\varepsilon}{\vartheta x_i}\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}G_k - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \qquad (2.2\text{-}2)$$

όπου:

- ρ: η πυκνότητα του ρευστού
- G_k: η δημιουργία τυρβώδους κινητικής ενέργειας λόγω των συνιστωσών της μέσης ταχύτητας
- $C_{1\varepsilon}$: σταθερά ίση με 1.44
- $C_{2\varepsilon}$: σταθερά ίση με 1.92
- σ_k: αριθμός Prandtl για k ίσο με 1.0

- σ_ε: αριθμός Prandtl για k ίσο με 1.3
- μ: το ιξώδες του ρευστού

Το τυρβώδες ιξώδες, μ_t, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \qquad (2.2\text{-}3)$$

όπου:
- C_μ: σταθερά ίση με 0.09

Η δημιουργία τυρβώδους κινητικής ενέργειας λόγω της μέσης ταχύτητας, G_k, ορίζεται από τη σχέση:

$$G_k = -\rho \overline{u_i' \cdot u_j'} \frac{\vartheta u_j}{\vartheta x_i}$$

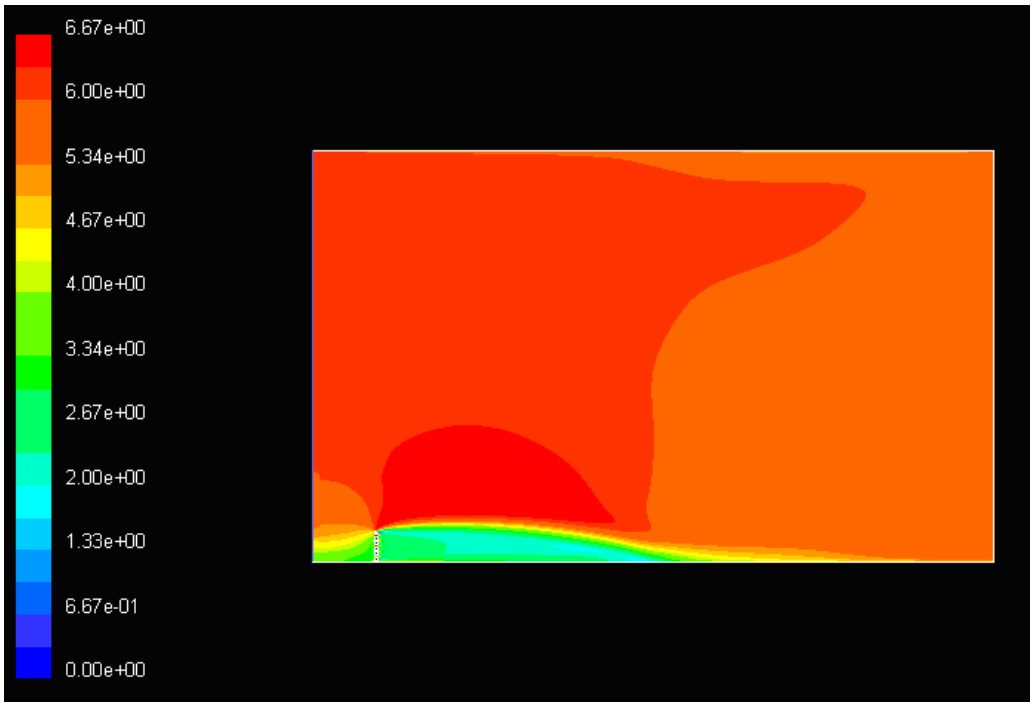
όπου:
- u: ταχύτητα του ρευστού

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

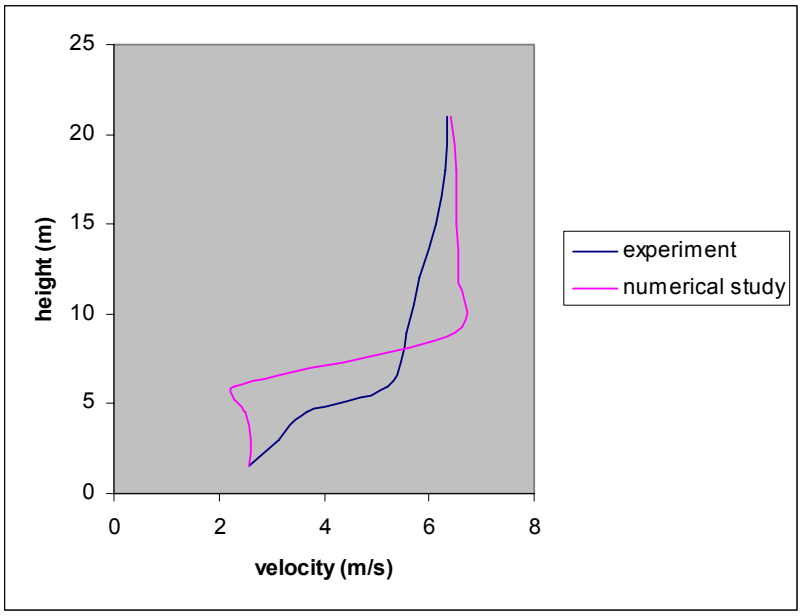
Τα αποτελέσματα από την ανεμοσήραγγα παρουσιάζονται γραφικά στην Εικόνα 2. Βλέπουμε ότι υπάρχει διαφοροποίηση όσο κοιτάμε μεμονωμένες τιμές. Η διαφοροποίηση κυμαίνεται μεταξύ 0% και 40 %, αλλά η διαφορά στην προστατευτική επίδραση του ανεμοφράκτη δεν είναι σημαντική μέχρι 60 μέτρα μετά τον ανεμοθραύστη (10 H, όπου H το ύψος του ανεμοφράκτη). Η προσομοίωση δείχνει ότι ο ανεμοθράυστης δεν επηρεάζει το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου μετά τα 10 H. Στις Εικόνες 3, 4 και 5 μπορούμε να δούμε τα προφίλ των ταχυτήτων μετά από 6 m (1 H), 30 m (5 H) και 48 m (8 H). Μπορούμε να δούμε πως το μοντέλο παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια όσο η απόσταση είναι μικρότερη από 48 m (8 H) από τον ανεμοθράυστη, ενώ μετά αρχίζει και χάνει την ακρίβειά του. Η προστατευτική επίδραση του ανεμοθραύστη υπολογίστηκε με μόνα δεδομένα το ύψος και την περατότητα του ανεμοθραύστη κάτω από τις ίδιες συνθήκες ανέμου.

Περεταίρω έρευνα πρέπει να γίνει στην προσομοίωση του ανεμοθραύστη ως πορώδη μεμβράνη. Αυτό υπονοεί όμως ότι πρέπει να ορίσουμε κάποιες σταθερές, που είναι εφικτό μόνο με την εισαγωγή

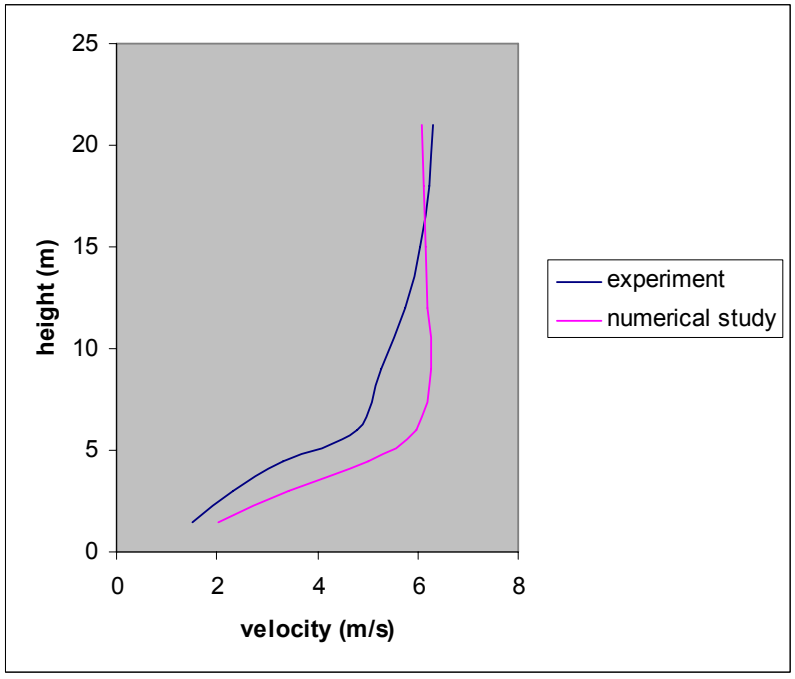
φυτών στην ανεμοσήραγγα και μετρώντας την πτώση πίεσης κατά μήκος τους για διάφορα προφίλ ανέμου. Μια βάση τέτοιων δεδομένων μπορεί να κάνει τη δημιουργία του απλού στη χρήση λογισμικού εφικτή, χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα εισόδου την ισοδύναμη περατότητα, το προφίλ του ανέμου και το ύψος του ανεμοθραύστη. Στην αρχή αυτής της μελέτης δεν ήταν αναμενόμενο ότι θα χρειάζονταν τέτοιου είδους δεδομένα, όπως η πτώση πίεσης, για να υπολογιστεί η προστατευτική επίδραση. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν όμως το αντίθετο. Σχεδιάζουμε μελλοντικά πειράματα στην ανεμοσήραγγα για να μετρήσουμε την πτώση πίεσης που προκαλεί κάθε φυτό έτσι ώστε να δημιουργήσουμε ένα ακριβέστερο μοντέλο.



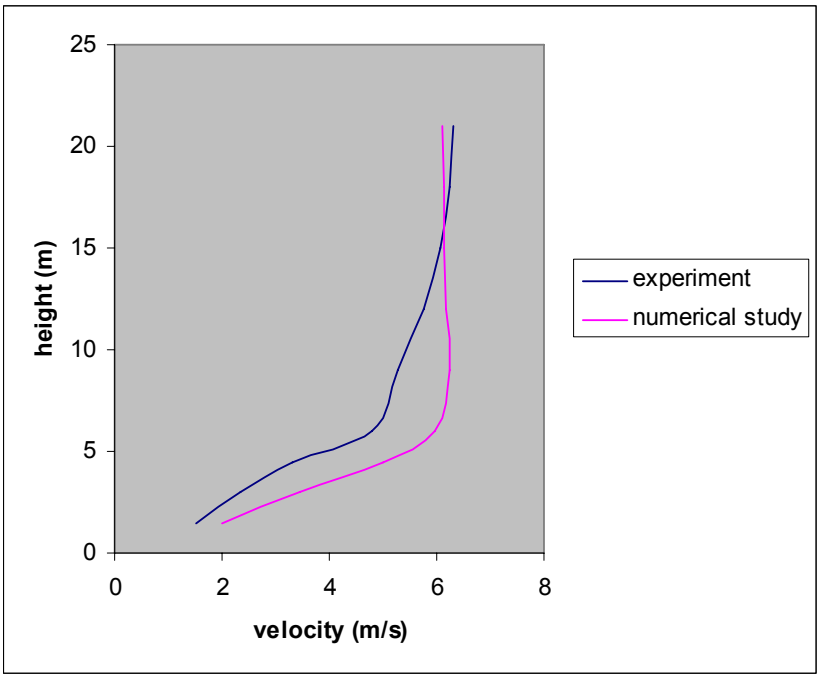
Εικόνα. 2: Αποτελέσματα ταχύτητας ανέμου στο Fluent



Εικόνα.3 Προφίλ ταχύτητας 6 m (1 H) από τον ανεμοθραύστη



Εικόνα 4. Προφίλ ταχύτητας 30m (5H) από τον ανεμοθραύστη



Εικόνα 5. Προφίλ ταχύτητας 48 m (8 H) από τον ανεμοθραύστη

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cleugh, H.A., 1998. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. Agroforestry Systems 41,55–84.
2. Karantounias G.A., 1978. Contirbution to the study of windbreaks in the wind tunnel. Acta Horticulturae 76, 349-356.
3. McNaughton, K.G., 1988. Effects of windbreaks on turbulent transport and microclimate. Agriculture, Ecosystems and Environment 22–23, 17–39.
4. Heisler, G.M., Dewalle, D.R., 1988. Effects of windbreak structure on wind flow. Agriculture, Ecosystems and Environment 22– 23, 41–69.
5. Vigiak Olga, Sterk Geert, Warren Andrew, Hagen Lawrence J., 2003. Spatial modeling of wind speed around windbreaks. Catena 52, 273-288.
Fluent Inc, 1998. Fluent 5 User's Guide.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΖΩΝΗ ΤΗΣ ΣΠΟΡΟΚΛΙΝΗΣ

Χ. Καβαλάρης[1], Α. Αλεξάνδρου[2] και Θ.Α. Γέμτος[1]
[1]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας Τ.Κ. 38446 e-mail: chkaval@agr.uth.gr
[2]Ohio State University, 1328 Dover Road U.S.A.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους μελετήθηκε η θερμοκρασία και η υγρασία στην περιοχή της σποροκλίνης. Οι μέθοδοι ήταν: Συμβατική κατεργασία με όργωμα, μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, μειωμένη με περιστροφικό σκαπτικό, μειωμένη με δισκοσβάρνα και ακαλλιέργεια. Τα αποτελέσματα έδειξαν μη στατιστικά σημαντικές διαφορές στην μέση ημερήσια θερμοκρασία με αποτέλεσμα να μη προκύψουν ουσιαστικές διαφορές στον χρόνο για το φύτρωμα βαμβακιού, καλαμποκιού και τεύτλων. Διαπιστώθηκε μόνο μια ελάττωση της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας στις μειωμένες κατεργασίες που συσχετίζονταν με τα αυξημένα επίπεδα υγρασίας και την παρουσία φυτοκάλυψης στην επιφάνεια του εδάφους

Λέξεις κλειδιά: Μειωμένη κατεργασία, Θερμοκρασία εδάφους.

SOIL TILLAGE EFFECT ON THE SEEDBED TEMPERATURE

C. Cavalaris[1], A. Alexandrou[2] and T.A. Gemtos[1]
[1]Laboratory of Farm Mechanization. University of Thessaly. Fytoko street, 38446 N. Ionia Magnisias. e-mail: chkaval@agr.uth.gr
[2]Ohio State University, 1328 Dover Road U.S.A.

ABSTRACT

Soil temperature and soil moisture were measured in the seedbed zone for five methods of tillage. The methods were: Conventional tillage with ploughing, reduced tillage with heavy cultivator, reduced with rotary cultivator, reduced with disk harrow and no-tillage. The results showed no significant differences on the daily average soil temperature resulting in small changes in the time required for emergence of cotton, corn and sugar beets. The only difference that was observed was a reduction of the daily fluctuation of the soil temperature in the reduced tillage methods which was attributed on the higher moisture content and the presence of plant residue on the soil.

Key words: Conservation tillage, soil temperature.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία, ένα από τα βασικά προβλήματα που προκύπτουν κατά την εφαρμογή τεχνικών μειωμένης κατεργασίας του εδάφους είναι και η καθυστερημένη θέρμανση των εδαφών λόγω της αυξημένης υγρασίας και της σκίασής τους από τα φυτικά υπολείμματα [1 - 4]. Αυτό οδηγεί σε όψιμο και μειωμένο φύτρωμα των καλλιεργειών [5] που μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα κρίσιμο για ορισμένες εαρινές καλλιέργειες όπως το βαμβάκι στην χώρα μας. Τα στοιχεία της έρευνας ωστόσο προέρχονται ως επί το πλείστον από βορειότερες χώρες με αυξημένες βροχοπτώσεις και περιορισμένη ηλιακή ακτινοβολία. Με στόχο την διερεύνηση των επιπτώσεων από την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας στην θερμοκρασία του εδάφους κάτω από τις συνθήκες του Ελληνικού κλίματος εγκαταστάθηκε σε πείραμα μειωμένων κατεργασιών σύστημα μέτρησης και καταγραφής της εδαφικής θερμοκρασίας και υγρασίας στην περιοχή της σποροκλίνης

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

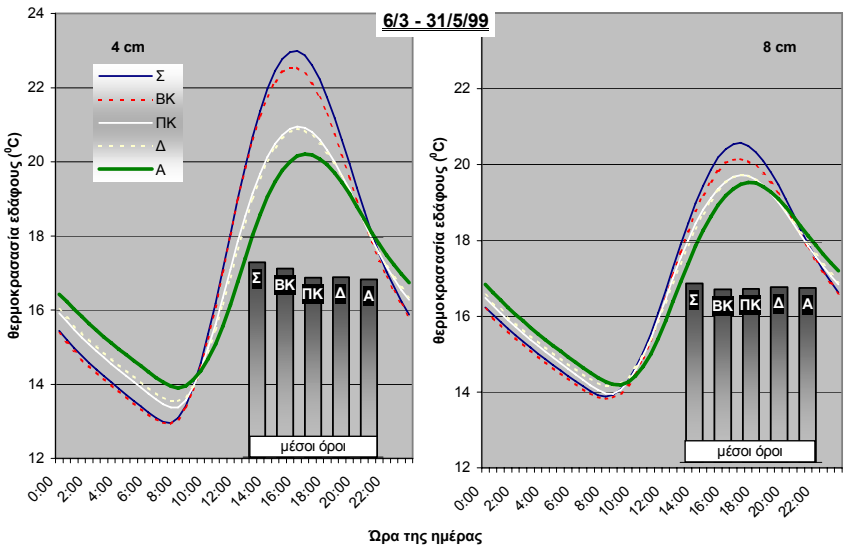
Το 1997 εγκαταστάθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο πείραμα σύγκρισης πέντε μεθόδων κατεργασίας του εδάφους. Οι μέθοδοι ήταν: 1) συμβατική κατεργασία (Σ) με όργωμα σε βάθος 25-30 cm, 2) μειωμένη κατεργασία (ΒΚ) με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20-25 cm 3) μειωμένη με περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα (ΠΚ) σε βάθος 10-12 cm, 4) μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ) σε βάθος 6-8 cm (Δ) και 5) ακαλλιέργεια (Α), απ' ευθείας σπορά δηλαδή και καταστροφή της βλάστησης με glyphosate πριν το φύτρωμα των καλλιεργειών. Στο πείραμα εφαρμόστηκαν αμειψισπορές με καλλιέργειες βαμβακιού, καλαμποκιού και τεύτλων. Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με υπο-ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις σε δύο πειραματικούς αγρούς. Στις κύριες ομάδες υπήρχαν τέσσερα συστήματα αμειψισποράς με τις τρεις καλλιέργειες ενώ στις υπο-ομάδες τοποθετήθηκαν τα πέντε συστήματα κατεργασία του εδάφους. Μετρήθηκε η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους από τον ένα πειραματικό αγρό και από δύο ομάδες συστημάτων αμειψισποράς. Το έδαφος στον πειραματικό αγρό χαρακτηρίζεται ως ιλυο-αργιλώδες (άμμος 9,8%, ιλύς 41%, άργιλος 49,2%) με PH 8 και οργανική ουσία 1,26%.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας του εδάφους επικεντρώθηκε στη ζώνη της σποροκλίνης και πραγματοποιήθηκε για τρεις συνεχόμενες χρονιές (1997-99) κατά την περίοδο του φυτρώματος των καλλιεργειών με την χρήση 20 συνολικά θερμοστοιχείων (thermistor). Χρησιμοποιήθηκε ο τύπος ST1 της DELTA-T DEVICES Τα θερμοστοιχεία τοποθετήθηκαν οριζόντια μέσα στο έδαφος σε βάθος 4 cm και 8 cm χωρίς να διαταραχθεί η επιφάνεια του εδάφους. Δύο ακόμη θερμοστοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας στον ήλιο και υπό σκιά. Τα θερμοστοιχεία συνδέθηκαν σε έναν αυτόματο καταχωρητή δεδομένων (data logger) που εγκαταστάθηκε στον αγρού. Στο λογισμικό του καταχωρητή εισήχθησαν οι πίνακες μετατροπής της ωμικής αντίστασης σε τιμές πραγματικής θερμοκρασίας που προτείνει ο κατασκευαστής των θερμοστοιχείων. Ο καταχωρητής προγραμματίστηκε να παίρνει μέτρηση κάθε 30 s και να καταχωρεί στη μνήμη του τον μέσο όρο αυτών των μετρήσεων κάθε μισή ώρα. Κατά το τρίτο έτος παράλληλα με τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του εδάφους μετρήθηκε και η υγρασία του εδάφους σε βάθος 0-6 cm με την μέθοδο της φασματομετρικής ανακλισιμετρίας (TDR). Μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους κατά το παρελθόν με την παραπάνω μέθοδο σε καλλιέργεια

ζαχαροτεύτλων έχουν δώσει πολύ καλά αποτελέσματα [6]. Χρησιμοποιήθηκαν 10 συνολικά στοιχεία (τύπος Theta Probe ML2 της DELTA-T DEVICES) τα οποία μετρούσαν την υγρασία του εδάφους σε βάθος 0-6 cm και τα οποία τοποθετήθηκαν δίπλα από κάθε ζεύγος θερμοστοιχείων. Τα στοιχεία βαθμονομήθηκαν με βάση της οδηγίες του κατασκευαστή για το συγκεκριμένο έδαφος και συνδέθηκαν με τον ηλεκτρονικό καταχωρητή δεδομένων ο οποίος έπαιρνε μετρήσεις κάθε τέσσερις ώρες και υπολόγιζε έναν ημερήσιο μέσο όρο.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας του εδάφους από το τρίτο έτος μετρήσεων (1999) όπου υπήρχαν και στοιχεία της υγρασίας. Τα στοιχεία αυτά είναι αντιπροσωπευτικά και για τις δύο πρώτες χρονιές.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

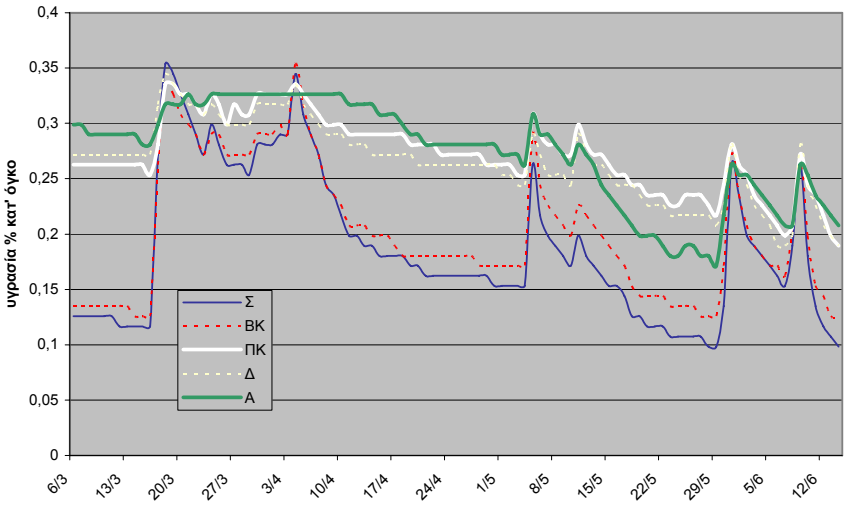


Σχήμα 1. Μέση ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους σε βάθος 4 cm και 8 cm για τις 5 μεθόδους κατεργασίας του εδάφους για την περίοδο 13/2 – 28/3/97.

Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται η μέση ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας καθώς και η μέση θερμοκρασία για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας στα δύο βάθη για την περίοδο των μετρήσεων. Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, η υψηλότερη διακύμανση παρουσιάστηκε στη συμβατική κατεργασία. Την δεύτερη υψηλότερη διακύμανση της θερμοκρασίας παρουσίαζε η μέθοδος του βαρύ καλλιεργητή, ενώ στις μεθόδους του περιστροφικού σκαπτικού, της δισκοσβάρνας και της ακαλλιέργειας η διακύμανση ήταν μικρότερη. Οι διαφορές αυτές ήταν πολύ πιο έντονες στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους. Σε βάθος 4 cm, οι μέθοδοι του περιστροφικού σκαπτικού και της δισκοσβάρνας κατά την διάρκεια της ημέρας εμφάνιζαν χαμηλότερα μέγιστα κατά 1,5 – 1,9 ^{0}C. Κατά την διάρκεια της νύχτας όμως η θερμοκρασία του εδάφους ήταν υψηλότερη. Στις 7:30 π.μ. όπου υπήρχε η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία σε βάθος 4 cm παρουσίαζαν ένα έδαφος θερμότερο κατά 0,5 – 0,6 ^{0}C σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Την μικρότερη ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας παρουσίαζε η

μέθοδος της ακαλλιέργειας. Σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, σε βάθος 4 cm, ήταν κατά 2,8 ^{0}C χαμηλότερη ενώ η ελάχιστη κατά 1 ^{0}C υψηλότερη. Συγκρίνοντας την μέση θερμοκρασία του εδάφους σε όλη την περίοδο δειγματοληψίας διαπιστώνεται ότι η συμβατική κατεργασία και η μέθοδος του βαρύ καλλιεργητή παρουσίαζαν ελαφρώς υψηλότερες τιμές. Σε βάθος 4 cm η μέση θερμοκρασία στην συμβατική κατεργασία ήταν 17,1 ^{0}C στην μέθοδο του βαρύ καλλιεργητή 16,9 ^{0}C, στο περιστροφικό σκαπτικό και τη δισκοσβάρνα 16,8 ^{0}C και στην ακαλλιέργεια 16,7 ^{0}C. Σε βάθος 8 cm οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ήταν ακόμη μικρότερες.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με την χρήση των υγρασιομέτρων για την περίοδο από τις 6/3/99 έως τις 14/6/99. Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, σε γενικές γραμμές οι μέθοδοι του περιστροφικού σκαπτικού, της δισκοσβάρνας και της ακαλλιέργειας διατηρούσαν μια σημαντικά πιο υγρή επιφάνεια εδάφους. Οι διαφορές ήταν μικρότερες μετά από περιόδους βροχής ή ποτίσματος. Η αυξημένη υγρασία οφείλονταν σε μειωμένες απώλειες λόγω της αυξημένης ξηρής φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους [7] και της κάλυψης της επιφάνειας του εδάφους από φυτικά υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας και υπολείμματα ζιζανίων.



Σχήμα 2. Γραφική παράσταση της εξέλιξης της % κατ' όγκο υγρασίας του εδάφους για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους κατά το 1999.

Για να διερευνηθεί η συσχέτιση της θερμοκρασίας με την υγρασία του εδάφους, τα δεδομένα της θερμοκρασίας του εδάφους καθώς και της αντίστοιχης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας ομαδοποιήθηκαν με βάση τις τιμές από τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τα υγρασιόμετρα και για κάθε κατηγορία υπολογίσθηκε ένας μέσος όρος. Η ομαδοποίηση αυτή κρίθηκε απαραίτητη διότι η συχνότητα της μεταβολής της θερμοκρασίας ήταν πολύ υψηλότερη από την συχνότητα της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας.

Η απλή ανάλυση συσχέτισης μεταξύ της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και της υγρασίας του εδάφους απέδειξε μια σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δυο παραγόντων (R= -0,87). Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας όμως ήταν άμεσα συνδεδεμένη με την θερμοκρασία του εδάφους (R = 0,91). Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε ανάλυση πολλαπλής συμμεταβολής μεταξύ των τριών παραγόντων, με εξαρτημένη μεταβλητή την θερμοκρασία του εδάφους και ανεξάρτητες την υγρασία του εδάφους και την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Οι συγκρίσεις περιελάμβαναν τους εξής συνδυασμούς:

Υγρασία εδάφους	**Θερμοκρασία ατμόσφαιρας**	**Θερμοκρασία εδάφους**
Μέση ημερήσια	Μέση ημερήσια	Μέση ημερήσια
Μέση ημερήσια	Ελάχιστη ημερήσια	Ελάχιστη ημερήσια
Μέση ημερήσια	Μέγιστη ημερήσια	Μέγιστη ημερήσια
Μέση ημερήσια	Ημερήσιο εύρος	Ημερήσιο εύρος

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων της πολλαπλής συμμεταβολής παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, οι συντελεστές μερικής συμμεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους με την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας ήταν θετικοί ενώ οι συντελεστές μερικής συμμεταβολής της υγρασίας με την θερμοκρασία του εδάφους, αρνητικοί. Σε όλες τις περιπτώσεις η σημαντικότητα των συντελεστών ήταν μεγαλύτερη από 99%. Μελετώντας τους σταθερούς συντελεστές μερικής συμμεταβολής διαπιστώνεται ότι η μέση υγρασία του εδάφους επηρεάζει σε ποσοστό 10% την μέση, σε ποσοστό 15% την ελάχιστη, σε ποσοστό 29% την μέγιστη και σε ποσοστό 21% το εύρος της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους. Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας επηρεάζει σε ποσοστό 88% την μέση θερμοκρασία του εδάφους, η ελάχιστη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, σε ποσοστό 81% την ελάχιστη θερμοκρασία του εδάφους, η μέγιστη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, σε ποσοστό 69% την μέγιστη θερμοκρασία του εδάφους και το εύρος την ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, σε ποσοστό 57% το εύρος της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους. Και οι δύο παράγοντες μαζί (υγρασία εδάφους, θερμοκρασία ατμόσφαιρας) περιγράφουν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 96% την παραλλακτικότητα που διαπιστώνεται στην μέση, ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία του εδάφους και σε ποσοστό 78% την παραλλακτικότητα που διαπιστώνεται στο εύρος της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους. Το υπόλοιπο της παραλλακτικότητας οφείλεται σε διαφορές στη δομή του εδάφους μεταξύ των πέντε μεθόδων κατεργασίας καθώς και σε διαφορές στην φυτοκάλυψη.

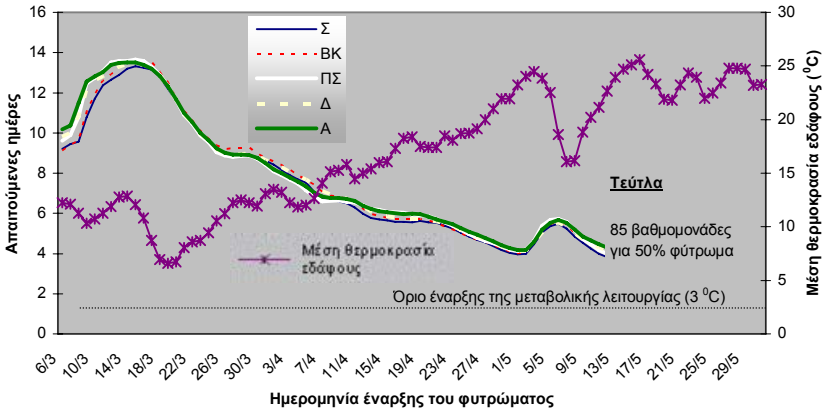
Πίνακας 1. Συντελεστές πολλαπλής συμμεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους με την υγρασία του εδάφους και την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

.

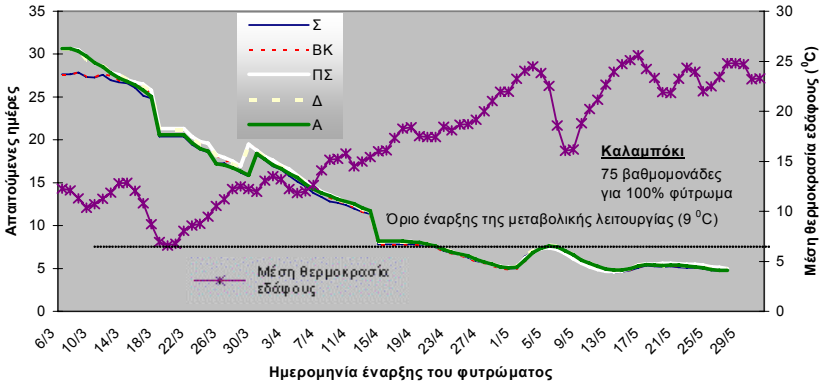
			Υγρασία				Θερμοκρασία ατμόσφαιρας				
	α/π	a	b_1	$LSD_{0,05}$	b_1'	$sign_{(b1)}$	b_2	$LSD_{0,05}$	b_2'	$sign_{(b2)}$	R^2
Μέση	150	3,78	-9,57	3,10	-0,11	0,01	0,88	0,03	0,94	0,01	0,979
Ελάχιστη	150	7,22	-13,34	5,44	-0,15	0,01	1,23	0,09	0,85	0,01	0,957
Μέγιστη	150	15,15	-35,12	4,62	-0,32	0,01	0,49	0,03	0,75	0,01	0,980
Εύρος	150	5,65	-10,74	5,55	-0,23	0,01	0,23	0,04	0,63	0,01	0,780

α/π = αριθμός παρατηρήσεων, a = σταθερός συντελεστής, R^2 = συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης
b_i = συντελεστής μερικής συμμεταβολής, b_i' = σταθερός συντελεστής μερικής συμμεταβολής
$LSD_{0,05}$ = 95% ελάχιστη σηματική διαφορά συντελεστή μερικής συσχέτισης (i),
*$sign_{(bi)}$ = στατιστική σημαντικότητα (** = >99%, * = >95%, ns = στατιστικώς μη σημαντικό)*

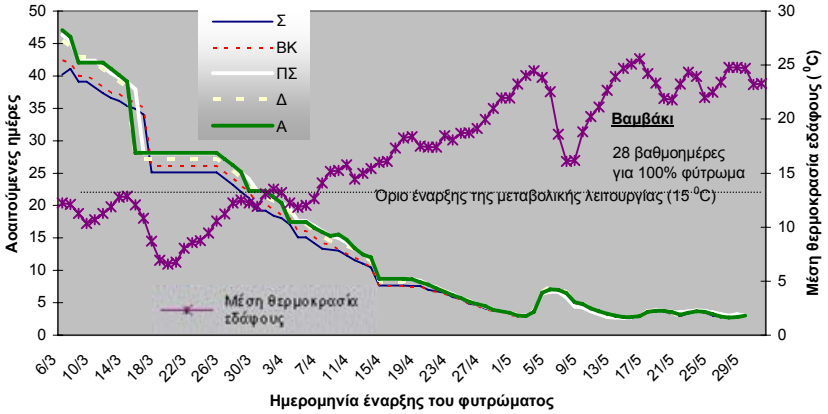
Η σχετικά μικρή ελάττωση της μέσης θερμοκρασίας του εδάφους με την αύξηση της υγρασίας έχει περιορισμένη επίπτωση στο άθροισμα των απαραίτητων θερμομονάδων για την ολοκλήρωση του φυτρώματος των καλλιεργειών, ιδίως για καλλιέργειες όπως τα ζαχαρότευτλα όπου το όριο έναρξης της μεταβολικής δραστηριότητας του φυτρώματος είναι συνήθως πολύ χαμηλότερο από την μέση θερμοκρασία του εδάφους η οποία και για τα τρία έτη κυμαίνονταν κυμαίνονταν από τους 10 ^{0}C. Για να ολοκληρωθεί το φύτρωμα των τεύτλων κατά 50% απαιτείται η συμπλήρωση 85 θερμομονάδων με κατώτερο όριο έναρξης του φυτρώματος τους 3 ^{0}C, για το καλαμπόκι απαιτούνται 65 με 85 θερμομονάδες με θερμοκρασία έναρξης τους 9 ^{O}C [8] και για το βαμβάκι απαιτείται η συμπλήρωση 28 θερμομονάδων με κατώτερο όριο έναρξης του φυτρώματος τους 15 ^{0}C [9].



Σχήμα 3. Υπολογισμός για διάφορες ημερομηνίες έναρξης του φυτρώματος, της απαραίτητης περιόδου για 50% φύτρωμα των τεύτλων με βάση τα δεδομένα από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του εδάφους στις πέντε μεθόδους κατεργασίας.



Σχήμα 4. Υπολογισμός για διάφορες ημερομηνίες έναρξης του φυτρώματος, της απαραίτητης περιόδου για 100% φύτρωμα του καλαμποκιού με βάση τα δεδομένα από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του εδάφους στις πέντε μεθόδους κατεργασίας.



Σχήμα 5. Υπολογισμός για διάφορες ημερομηνίες έναρξης του φυτρώματος, της απαραίτητης περιόδου για 100% φύτρωμα του βαμβακιού με βάση τα δεδομένα από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του εδάφους στις πέντε μεθόδους κατεργασίας.

Στα Σχήματα 3-5 με βάση τα δεδομένα των μετρήσεων της θερμοκρασίας για κάθε μέθοδο κατεργασίας χωριστά, υπολογίζονται οι πραγματικές ημέρες που απαιτούνται για την συμπλήρωση των απαραίτητων θερμομονάδων για διάφορες ημερομηνίες έναρξης του φυτρώματος και για κάθε καλλιέργεια.

Για την περίπτωση των τεύτλων, διαπιστώνεται μια μικρή καθυστέρηση στο φύτρωμα της τάξης της 0,5-1 ημέρας, αν η διαδικασία του φυτρώματος ξεκινούσε στην αρχή της περιόδου (5/3 – 14/3). Το γεγονός αυτό σχετίζεται με την ελάττωση που σημειώθηκε στη μέση θερμοκρασία του εδάφους στο διάστημα (16/3 – 26/3) με αποτέλεσμα να επιμηκυνθεί η περίοδος του φυτρώματος (>10 ημέρες) και κατά συνέπεια οι διαφορές μεταξύ των κατεργασιών να αποκτήσουν μεγαλύτερη σημασία. Μετά τις 7/4 ωστόσο, η μέση θερμοκρασία του εδάφους κυμάνθηκε πάνω από τους 10 ^{0}C με αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά η περίοδος του φυτρώματος (<6 ημέρες) και κατά συνέπεια οι διαφορές μεταξύ των κατεργασιών να μην εμφανίζουν πρακτικό ενδιαφέρον.

Στο καλαμπόκι το σημείο έναρξης του φυτρώματος είναι 9 ^{0}C. Μέχρι και τις 19/3 η διάρκεια της φυτρωτικής περιόδου ήταν μεγαλύτερη από 20 ημέρες ενώ μετά τις 14/4 ο απαιτούμενος χρόνος ελαχιστοποιήθηκε σε λιγότερο από 8 ημέρες. Εκτός από τις τρεις πρώτες ημερομηνίες (6/3 – 9/3) όπου ο μέσος χρόνος για το φύτρωμα ήταν πολύ μεγάλος (>28 ημέρες) και κατά συνέπεια και οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων κατεργασίας σημαντικές, σε όλο το υπόλοιπο διάστημα δεν διαπιστώθηκε ουσιαστική διαφοροποίηση στο χρόνο για την συμπλήρωση των απαραίτητων θερμομονάδων μεταξύ των πέντε μεθόδων κατεργασίας του εδάφους.

Το βαμβάκι τέλος έχει την υψηλότερη θερμοκρασία έναρξης του φυτρώματος (15 0C). Μέχρι και τις 14/4 το απαιτούμενο χρονικό διάστημα για τη συμπλήρωση των 28 θερμομονάδων ήταν μεγαλύτερο από 10 ημέρες. Στο διάστημα αυτό, στη μέθοδο της συμβατικής κατεργασίας και του βαρύ καλλιεργητή υπάρχει μια πρωϊμηση όσον αφορά τον απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωση του φυτρώματος η οποία στην αρχή της

περιόδου φθάνει μέχρι και τις 4 ημέρες. Ωστόσο το χρονικό διάστημα που απαιτείται για το φύτρωμα την περίοδο αυτή είναι πολύ μεγάλο και η σπορά σε μια τέτοια περίπτωση είναι παρακινδυνευμένη. Μετά τις 14/4 ωστόσο, όπου η μέση θερμοκρασία του εδάφους ανέβηκε πάνω από τους 15 ^{0}C και ο χρόνος φυτρώματος μειώθηκε κάτω από τις 10 ημέρες, δεν σημειώθηκαν και πάλι ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των πέντε μεθόδων κατεργασίας.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του εδάφους δείχνουν μια πολύ μικρή διαφοροποίηση όσον αφορά την μέση ημερήσια τιμή μεταξύ των κατεργασιών του εδάφους ενώ οι διαφορές στην ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας είναι πολύ μεγαλύτερες. Η συμβατική κατεργασία διατηρούσε μια εδαφική επιφάνεια γυμνή και ακάλυπτη από φυτικά υπολείμματα και ζιζάνια και δεχόταν μεγαλύτερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να θερμαίνεται ταχύτερα και περισσότερο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η έλλειψη εδαφοκάλυψης ωστόσο είχε προφανώς μια αντίστροφη επίδραση κατά την διάρκεια της νύκτας. Το γυμνό έδαφος στη συμβατική κατεργασία ακτινοβολούσε μεγαλύτερα ποσά θερμότητας με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας και γι' αυτό τη νύχτα ψύχονταν περισσότερο. Στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας όμως και ιδίως στην ακαλλιέργεια, το έδαφος ήταν καλυμμένο με ζιζάνια. Οι φυτικοί αυτοί ιστοί, σκίαζαν το έδαφος προφανώς περιορίζοντας την ποσότητα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά την διάρκεια της νύκτας όμως, φαίνεται ότι περιόριζαν τις απώλειες θερμότητας εμποδίζοντας την έκλυση θερμικής ακτινοβολίας από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα. Με τον τρόπο αυτό προκαλούσαν μια σημαντική μείωση της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους. Επιπλέον, οι μέθοδοι μειωμένης κατεργασίας διαπιστώθηκε ότι διατηρούσαν μια αυξημένη ποσότητα υγρασίας σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία. Σε συνδυασμό και με την αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα που διαπιστώθηκε στις μεθόδους αυτές [1] προκύπτει ότι το έδαφος είχε αυξημένη θερμοχωρητικότητα. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια δεύτερη σημαντική αιτία για την μείωση του εύρους της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας που διαπιστώθηκε σε αυτές τις μεθόδους. Όπως άλλωστε προέκυψε και από την ανάλυση πολλαπλής συμμεταβολής η μέση υγρασία του εδάφους επηρέαζε σε ποσοστό 21% την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αυτού.

Οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στην μέση θερμοκρασία του εδάφους στην περιοχή της σποροκλίνης ήταν μικρές (της τάξης των 0,4 ^{0}C) δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφοροποίηση στον απαιτούμενο για το φύτρωμα χρόνο για τις τρεις σημαντικότερες εαρινές καλλιέργειες της χώρας μας (βαμβάκι, καλαμπόκι, τεύτλα). Ακόμη και για το βαμβάκι που είναι η πιο θερμοαπαιτητική καλλιέργεια, για σπορά στο πρώτο δεκαήμερο του Απριλίου η διαφορά στο χρόνο φυτρώματος μεταξύ της συμβατικής κατεργασίας και της ακαλλιέργειας είναι της τάξης των 2 ημερών ενώ για σπορά μέσα στο δεύτερο δεκαήμερο του Απριλίου η διαφοροποίηση στον χρόνο φυτρώματος είναι της τάξης της μισής ημέρας. Αντίθετα με αυτό που αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία, φαίνεται ότι για το ήπιο Μεσογειακό κλίμα της Ελλάδος με την έντονη ηλιοφάνεια και τις περιορισμένες βροχοπτώσεις, η εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας δεν οδηγεί σε σημαντική καθυστέρηση της θέρμανσης του εδάφους

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην μέση ημερήσια θερμοκρασία του εδάφους μεταξύ των πέντε μεταχειρίσεων κατεργασίας
- Η συμβατική κατεργασία και στην συνέχεια η μέθοδος του βαρύ καλλιεργητή παρουσίαζαν σημαντικά υψηλότερη ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μειωμένη θερμοχωρητικότητα του εδάφους λόγω των χαμηλότερων επιπέδων υγρασίας που διαπιστώθηκαν καθώς και στην απουσία κάλυψης με φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια του εδάφους.
- Οι μικρές διαφορές στην μέση θερμοκρασία του εδάφους δεν προκάλεσαν ουσιαστική διαφοροποίηση στο χρόνο φυτρώματος για τρεις από τις κυριότερες εαρινές καλλιέργειες της Ελλάδος (βαμβάκι, καλαμπόκι, τεύτλα).
- Φαίνεται ότι ένα από τα σημαντικά μειονεκτήματα των μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους που βρέθηκαν σε πειράματα βορειότερων χωρών δεν είναι τόσο σημαντικά για τις Ελληνικές συνθήκες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

10. Hayhoe H.N., Dwyer L.M. Stewart D.W., White R.P. and Culley J.L.B (1996). Tillage, hybrid and thermal factors in corn establishment in cool soils, Soil and Tillage Research, Volume 40, Issues 1-2, 39-54
11. 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, Volume 52, Issues 1-2, 37-49
12. Janovicek K.J, Vyn T.J, Voroney R.P. (1997). No-Till corn response to crop rotation and in-row residue placement. Agronomy Journal 89. 588-596
13. Swan J.B., Kaspar T.C. and Erbach D.C. (1996). Seed-row residue management for corn establishment in the northern US Corn Belt, Soil and Tillage Research, Volume 40, Issues 1-2, 55-72
14. Swan J.B., Schneider E.C., Moncrief J.F. Paulson W.H. and Peterson A.E. (1987). Estimating corn growth, yield, and grain moisture from air growing degree days and residue cover. Agronomy Journal. 79, 53-60.
15. Ντιούδης Π., Σακελαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Μασλάρης Ν. και Νούσιος Γ. (2000). Διατάξεις άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. 2^{ο} Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος 2000, 149-56.
16. Cavalaris C. and Gemtos T.A. (1998). Soil tillage and rotation effect in sugar beet crop. International Conference on Agricultural Engineering. Oslo 1998.
17. Van Heemst H.D.J. (1988). Plant data values required for simple growth simulation models. Review and bibliography. Simulation reports Cabo TT. Agricultural University, Wageningen.
18. Danalatos N. (1993) Quantified analysis of selected land use systems in the Larissa region Greece. Ph Thesis, Wagenigen University.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Δ. Παπαμιχαήλ και Θ.Α. Γέμτος
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας Τ.Κ. 38446 e-mail: chkaval@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η ανάπτυξη και τα είδη ζιζανίων κατά την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. Στο πείραμα αξιολογήθηκαν πέντε μέθοδοι κατεργασίας οι οποίες στο πέμπτο έτος συνδυάστηκαν μεταξύ τους δημιουργώντας 25 συνολικά μεταχειρίσεις πρόσφατης και προηγούμενης κατεργασίας. Οι πέντε βασικές μέθοδοι ήταν: 1) συμβατική κατεργασία με όργωμα, 2) μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, 3) μειωμένη με περιστροφικό σκαπτικό, 4) μειωμένη με δισκοσβάρνα και 5) ακαλλιέργεια. Η μακροχρόνια χρήση μεθόδων μειωμένης κατεργασίας οδήγησε σε σημαντική αύξηση των πολυετών ζιζανίων. Με την εφαρμογή όμως οργώματος μετά από πέντε έτη προέκυψε σημαντική μείωση αυτών των ειδών τα οποία είναι και τα πλέον δύσκολα να καταπολεμηθούν με χημικές μεθόδους.

Λέξεις κλειδιά: Μειωμένη κατεργασία, ζιζάνια.

SOIL TILLAGE EFFECT ON WEED INFESTATION IN A SUGAR BEET CROP

C. Cavalaris, C. Karamoutis, D. Papamichail and T.A. Gemtos
Laboratory of Farm Mechanization. University of Thessaly. Fytoko street, 38446 N. Ionia Magnisias. e-mail: chkaval@agr.uth.gr

ABSTRACT

Weed infestation and flora composition were estimated on a reduced tillage experiment on which five methods of tillage were compared for a four year period and were combined with each other in the fifth making a total of 25 treatments of recent and previous year tillage operations. The tillage treatments were: 1) Conventional tillage with ploughing, 2) reduced tillage with heavy cultivator, 3) reduced with rotary cultivator, 4) reduced with disk harrow and 5) no-tillage. The long term use of reduced tillage significantly increased weed infestation with perennial species. The introduction of ploughing however in the fifth year on the above treatments reduced weed infestation of the perennial weeds.

Key words: Conservation tillage, weeds.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα και οι τεχνικές αειφορικής διαχείρισης του εδάφους προσδίδουν σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη μέσω της βελτίωσης της γονιμότητας του εδάφους και της μείωσης του κόστους παραγωγής. Ωστόσο η εφαρμογή μεθόδων όπως η μειωμένη κατεργασία και η ακαλλιέργεια συχνά δημιουργούν προβλήματα με τα ζιζάνια, γεγονός που αποτελεί βασική αιτία αποθάρρυνσης των παραγωγών για την υιοθέτηση τέτοιων συστημάτων [1]. Η καταπολέμηση των ζιζανίων αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίσουν όσοι παραγωγοί επιχειρούν να στραφούν προς την υιοθέτηση μεθόδων περιορισμένης κατεργασίας του εδάφους και ιδίως ακαλλιέργειας. Με τη συμβατική κατεργασία το πρόβλημα συνήθως είναι περιορισμένο, διότι ένα σημαντικό μερίδιο στον έλεγχο των ζιζανίων, αναλαμβάνει το ίδιο το άροτρο, με την αναστροφή που πραγματοποιεί στο έδαφος. Πολλές φορές, αυτό και μόνο είναι αρκετό. Στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας όμως, ο έλεγχος των ζιζανίων βασίζεται αποκλειστικά στη χρήση ζιζανιοκτόνων, των οποίων η εφαρμογή θα πρέπει να γίνεται σε μεγαλύτερες δόσεις και στα κατάλληλα χρονικά διαστήματα για να υπάρχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα [2], [3].

Εκτός από την αύξηση των ζιζανίων ένα άλλο φαινόμενο που συχνά παρατηρείται κατά την εφαρμογή συστημάτων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους είναι μια μεταβολή στα είδη των επικρατούντων ζιζανίων. Σε σχετικές έρευνες αναφέρεται αύξηση των πολυετών ζιζανίων όταν η καταπολέμηση γίνεται αποκλειστικά με τη χρήση ζιζανιοκτόνων [4], [5]. Φαίνεται ότι με τη χρήση αβαθούς ή μηδενικής κατεργασίας του εδάφους, τα υπόγεια τμήματα πολυετών ζιζανίων όπως η αγριάδα και ο βέλιουρας καταφέρνουν να επιβιώσουν δημιουργώντας εντονότερα προβλήματα σε κάθε επόμενη καλλιεργητική περίοδο. Στην περίπτωση αυτή, μια βαθιά κατεργασία σε τακτά διαστήματα 3-4 χρόνων πιθανόν να οδηγεί σε μια άμβλυνση του προβλήματος.

Για τους παραπάνω λόγους η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής συστημάτων μειωμένης κατεργασίας κάτω από τις Ελληνικές συνθήκες προϋποθέτει τη διερεύνηση όχι μόνο της έντασης της προσβολής αλλά και της σύνθεσης του πληθυσμού των ζιζανίων με στόχο την επιλογή των καταλληλότερων στρατηγικών μηχανικής και χημικής καταπολέμησης τους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το 1997 εγκαταστάθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο ένα πείραμα αξιολόγησης διαφορετικών μεθόδων κατεργασίας του εδάφους σε καλλιέργειες σιτηρών, ζαχαροτεύτλων, βαμβακιού και καλαμποκιού [6], [7], [8]. Στο πείραμα αυτό συγκρίθηκαν οι εξής πέντε μέθοδοι κατεργασίας: 1) συμβατική κατεργασία με όργωμα (Σ) περί τα 25 cm, 2) μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ) στα 20 cm, 3) μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό σκαπτικό (ΠΣ) με κατακόρυφα ελάσματα (βωλοκόπος) στα 15 cm, 4) μειωμένη κατεργασία με τα την χρήση μόνο δισκοσβάρνας (Δ) σε βάθος μέχρι 8 cm και 5) ακαλλιέργεια (Α) και καταστροφή των ζιζανίων με Gramoxone λίγο πριν τη σπορά. Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με τέσσερις επαναλήψεις όπου όλες οι επεμβάσεις κατεργασίας πραγματοποιούνταν σε παράλληλες λωρίδες ως προς μια διεύθυνση. Στο πέμπτο έτος επανάληψης του πειράματος (2001) αποφασίσθηκε οι επεμβάσεις κατεργασίας να αλλάξουν διεύθυνση και να πραγματοποιηθούν κάθετα στις αρχικές λωρίδες με στόχο να διερευνηθεί η επίδραση από την διενέργεια βαθιάς

κατεργασίας σε έδαφος στο οποίο εφαρμόζονταν αβαθής κατεργασία [9]. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκαν πειραματικά τεμάχια που είχαν για πέντε συνεχή έτη την ίδια κατεργασία αλλά και πειραματικά τεμάχια που είχαν για τέσσερα έτη τις πέντε αρχικές μεθόδους κατεργασίας και στο πέμπτο έτος όλους τους συνδυασμούς τους. Κατά το έτος αυτό ο πειραματικός αγρός καλλιεργήθηκε με ζαχαρότευτλα ενώ το προηγούμενο (2000) υπήρχε σιτάρι. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στοιχεία από το πέμπτο έτος πειραματισμού επικεντρώνοντας στην επίδραση των μεθόδων κατεργασίας και των εναλλαγών τους στα είδη και την ανάπτυξη των ζιζανίων σε σχέση με την βλαστική ανάπτυξη της καλλιέργειας των ζαχαροτεύτλων.

Η τελική προετοιμασία της σποροκλίνης πραγματοποιήθηκε στις 6/3/01. Η εφαρμογή του *gramoxone* στην ακαλλιέργεια στις 7/3/05 και η σπορά των τεύτλων στις 9/3/05. Από το στάδιο αυτό και έπειτα, η καταπολέμηση των ζιζανίων ήταν κοινή σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αμέσως μετά την σπορά, έγινε προφυτρωτική εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων ATLAS 400 g/στρ και PYRAMIN 200 g/στρ. Ένα μήνα αργότερα, στις 6/4/97 πραγματοποιήθηκε ψεκασμός με το μείγμα των μικροδόσεων από τα ζιζανιοκτόνα (BETANAL 50g/στρ, GOLTIX 50g/στρ, NORTRON 50g/στρ). Στις 18/4/01 έγινε ψεκασμός για τα αγροστώδη ζιζάνια με 80 g/στρ GALLAND'S. Ο ψεκασμός με το μείγμα των μικροδόσεων επαναλήφθηκε στις 23/4/01 ενώ επιπλέον, για την καταπολέμηση του κίρσιου, χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα LONTREL σε δόση 40 g/στρ.

Η ξηρά βιομάζα των ζιζανίων μετρήθηκε στις 18/4/01, περίοδο που τα φυτά των τεύτλων βρισκόταν στο στάδιο των 5-6 μόνιμων φύλων. Για την μέτρηση αυτή κατασκευάστηκαν μεταλλικά πλαίσια διαστάσεων 1×1 m. Τα πλαίσια τοποθετήθηκαν σε τρεις τυχαίες θέσεις σε κάθε πειραματικό τεμάχιο από όπου συλλέχθηκε το υπέργειο μέρος όλων των ζιζανίων. Τα ζιζάνια διαχωρίστηκαν κατά είδη και ζυγίστηκαν (χλωρό βάρος). Δείγματα από τα διάφορα είδη των ζιζανίων τοποθετήθηκαν σε κλίβανο, στους 70^0C για 48 h και προσδιορίστηκε η υγρασία τους και το ξηρό τους βάρος. Με βάση τα στοιχεία αυτά, έγινε αναγωγή του χλωρού βάρους των ζιζανίων σε ξηρά βιομάζα. Παράλληλα με τα ζιζάνια, συλλέχθηκε μέσα από τα πλαίσια και το υπέργειο μέρος των ζαχαροτεύτλων. Ακολουθήθηκε και για αυτά παρόμοια διαδικασία για τον προσδιορισμό της ξηράς υπέργειας βιομάζας της καλλιέργειας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τη μέτρηση της ξηράς βιομάζας των ζιζανίων διαπιστώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ των μεταχειρίσεων της πρόσφατης, όσο και της προηγούμενης κατεργασίας (Πίνακας 1).

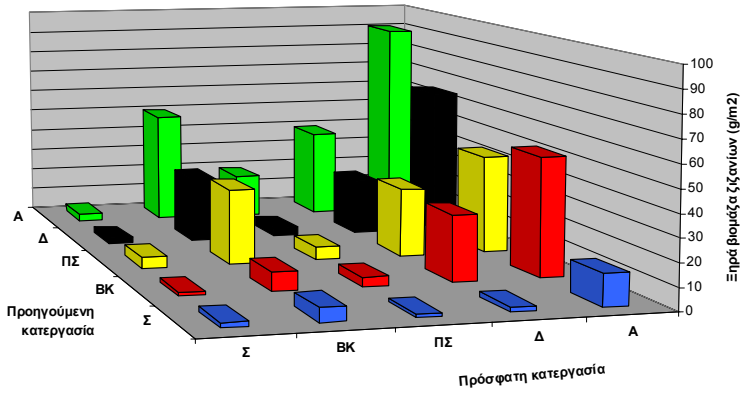
Η μικρότερη προσβολή από ζιζάνια παρατηρήθηκε στην συμβατική κατεργασία (Σχήμα 1). Στην μέθοδο αυτή τα ζιζάνια ήταν ελάχιστα (3,2 g/m^2) ενώ η προηγούμενη κατεργασία δεν έδειξε να προκαλεί διαφορές. Στη μέθοδο του περιστροφικού σκαπτικού επίσης, η προσβολή έδειξε να είναι σχετικά μικρή (6,9 g/m^2) εκτός από την περίπτωση όπου ως προηγούμενη κατεργασία είχε εφαρμοστεί ακαλλιέργεια. Στην περίπτωση αυτή, το εργαλείο της κατεργασίας δεν αποδείχθηκε το ίδιο αποτελεσματικό με το άροτρο στην καταστροφή των ζιζανίων καθώς η βιομάζα των ζιζανίων ήταν αυξημένη (19,1 g/m^2). Εκτός όμως από τα ζιζάνια, στη μέθοδο του περιστροφικού σκαπτικού ήταν ανεπτυγμένα και τα φυτά των τεύτλων. Στη συμβατική κατεργασία τα ζιζάνια ήταν περίπου δύο φορές λιγότερα από τα φυτά της καλλιέργειας ενώ στη μέθοδο του περιστροφικού σκαπτικού περίπου τρεις φορές λιγότερα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Ξηρά βιομάζα του υπέργειου μέρους των ζιζανίων στις 18/4/01.

	Ξηρά βιομάζα ζιζανίων (g / m^2)				Βιομάζα ζιζανίων / βιομάζα τεύτλων
	Ετήσια χειμερινά	Ετήσια εαρινά	Πολυετή	Σύνολο	
(CV%)	**167,8**	**107,7**	**132,5**	**91,2**	**112,8**
γενικός μέσος	8,95	1,77	12,04	22,76	2,00
Προηγούμενη κατεργασία					
συμβατική κατεργασία	1,84	0,81	2,50	5,15	0,44
βαρύς καλλιεργητής	5,63	2,05	11,52	19,20	2,05
περιστροφικό σκαπτικό	10,50	2,45	10,78	23,74	1,73
δισκοσβάρνα	13,08	2,02	10,01	25,10	2,51
ακαλλιέργεια	13,69	1,53	25,41	40,63	3,28
	ns	**ns**	**	**	**
ΕΣΔ (P = 95%)	-	-	10,08	13,10	1,43
ΕΣΔ (P = 99%)	-	-	13,38	17,40	1,89
Πρόσφατη κατεργασία					
συμβατική κατεργασία	0,09	1,43	1,41	2,93	0,49
βαρύς καλλιεργητής	15,49	3,29	6,58	25,37	1,75
περιστροφικό σκαπτικό	0,41	0,48	6,04	6,93	0,34
δισκοσβάρνα	3,40	2,14	19,67	25,21	1,95
ακαλλιέργεια	25,34	1,51	26,51	53,37	5,48
	**	**	**	**	**
ΕΣΔ (P = 95%)	9,48	1,20	10,08	13,10	1,43
ΕΣΔ (P = 99%)	12,59	1,60	13,38	17,40	1,89
(προηγ. κατεργ.) X (προσφ. κατεργ.)	**ns**	**ns**	**ns**	**ns**	**ns**

Οι μέθοδοι του βαρύ καλλιεργητή και της δισκοσβάρνας παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα. Και τα δυο εργαλεία αποδείχθηκαν αναποτελεσματικά για τον έλεγχο των ζιζανίων των οποίων η ξηρά βιομάζα κυμαίνονταν στα 25 g/m^2. Η ποσότητα αυτή ήταν μιάμιση με δύο φορές μεγαλύτερη από την βιομάζα των τεύτλων και συνεπώς στις μεθόδους αυτές υπήρχε έντονο πρόβλημα ανταγωνισμού. Στο Σχήμα 1 φαίνεται ότι όταν ως προηγούμενη κατεργασία είχε εφαρμοστεί όργωμα, το πρόβλημα ήταν σημαντικά μικρότερο.

Τέλος, η μέθοδος της ακαλλιέργειας παρουσίασε τους υψηλότερους πληθυσμούς ζιζανίων με μια μέση ξηρά βιομάζα υπέργειου τμήματος 53,3 g/m^2 η οποία ήταν 5,5 φορές μεγαλύτερη από την βιομάζα των τεύτλων. Και εδώ όμως, μπορεί να διαπιστωθεί (Σχήμα 1) ότι στην περίπτωση όπου ως προηγούμενη κατεργασία είχε εφαρμοστεί όργωμα η προσβολή ήταν σημαντικά μειωμένη. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου συνεχιζόταν το σύστημα της ακαλλιέργειας η προσβολή ήταν η υψηλότερη αγγίζοντας τα 90,6 g/m^2.



Σχήμα 1. Σύγκριση της ξηράς βιομάζας των ζιζανίων για τις πέντε μεθόδους πρόσφατης και προηγούμενης κατεργασίας του εδάφους.

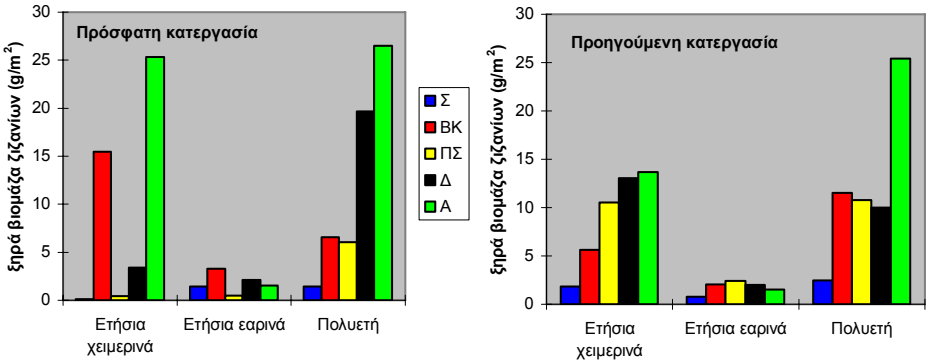
Πίνακας 2. Είδη ζιζανίων που παρατηρήθηκαν και ποσοστό (%) από το καθένα.

Ετήσια χειμερινά	(%)	Ετήσια εαρινά	(%)	Πολυετή	(%)
Malva sp.	4,06	Xanthium strumarium	5,99	Convolvulus arvensis	36,49
Capsella bursa-pastoris	0,02	Polygonum aviculare	0,03	Cirsium arvense	3,53
Triticum aestivum	5,14	Chenopodium album	0,89	Sonchus arvensis	0,21
Avena fatua	0,23	Coniza canadensis	0,86	Sorghum halepense	1,62
Sonchus asper	23,85			Allium sepa	0,04
Lactuca scariola	2,59			Cynodon dactylon	3,48
Euphorbia helioscopia	0,37			Lolium temulentum	7,04
Hypericum perforatum	1,87			Cyperus rotundus	0,44
Anthemis arvensis	1,18			Muscari sp.	0,06
ΣΥΝΟΛΟ	39,31		7,78		52,91

Τα είδη των ζιζανίων που καταγράφηκαν ομαδοποιήθηκαν σε ετήσια χειμερινά και εαρινά και σε πολυετή (Πίνακας 2).

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1, υπήρξε μια διαφοροποίηση των παρατηρούμενων ειδών στις πέντε μεθόδους κατεργασίας. Όσο αναφορά τις πρόσφατες κατεργασίες, διαπιστώνεται ότι στις μεθόδους της ακαλλιέργειας και του βαρύ καλλιεργητή, υπήρχε σημαντικά αυξημένος πληθυσμός από ετήσια χειμερινά ζιζάνια (Σχήμα 2). Στην περίπτωση της ακαλλιέργειας ο πληθυσμός αυτός οφείλεται στο γεγονός ότι η ζιζανιοκτονία με τη χρήση του Gramoxone δεν ήταν επαρκής. Το συγκεκριμένο σκεύασμα, ως ζιζανιοκτόνο επαφής, προκάλεσε την ξήρανση του υπέργειου τμήματος των ζιζανίων ωστόσο μερικά από αυτά επαναβλάστησαν. Επιπλέον, κατά την περίοδο της εφαρμογής στην μέθοδο της ακαλλιέργειας υπήρχε ένας πυκνός πληθυσμός από φυτά σιταριού τα οποία φύτρωσαν κατά την διάρκεια του φθινοπώρου από τους σπόρους της προηγούμενης καλλιέργειας. Τα φυτά αυτά εμπόδιζαν την διασπορά το φαρμάκου χαμηλά στο έδαφος με αποτέλεσμα πολλά από τα βραχύσωμα

ζιζάνια όπως ο ζωχός (*Sonchus asper*) να καταφέρουν να επιβιώσουν. Στην περίπτωση του βαρύ καλλιεργητή διαπιστώνεται η αναποτελεσματικότητα του εργαλείου στην καταστροφή των ζιζανίων. Κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, πολλά από τα χειμερινά ζιζάνια είχαν πληγωθεί από το εργαλείο αλλά όπως φαίνεται, επαναβλάστησαν αργότερα.



Σχήμα 2. Ξηρά βιομάζα των ζιζανίων για τις πέντε μεθόδους πρόσφατης και προηγούμενης κατεργασίας του εδάφους..

Στη μέθοδο της ακαλλιέργειας επιπλέον, υπήρχε σημαντικά αυξημένο ποσοστό από πολυετή ζιζάνια. Η κατηγορία αυτή των ζιζανίων ήταν αυξημένη και στην μέθοδο της δισκοσβάρνας (Σχήμα 2). Στα πολυετή ζιζάνια ανήκαν κυρίως είδη που πολλαπλασιάζονται με υπόγειους βλαστούς όπως ο βέλιουρας (*Sorghum halepense*), η περικοκλάδα (*Convonvulus arvensis*), το κίρσιο (*Cirsium arvense*) και η αγριάδα (*Cynodon dactylon*). Οι βλαστοί αυτοί παρέμειναν ανέγγιχτοι στην μέθοδο της ακαλλιέργειας και με την άνοδο της εδαφικής θερμοκρασίας επαναβλάστησαν. Η μέθοδος της δισκοσβάρνας από την άλλη πλευρά, ήταν μια ιδιαίτερα αβαθής μορφή κατεργασίας (5-8 cm) με συνέπεια να μην καταστραφούν τα υπόγεια τμήματα των ζιζανίων που βρίσκονταν κάτω από το βάθος κατεργασίας. Οι υπόγειοι αυτοί βλαστοί επίσης επαναβλάστησαν με συνέπεια ένα μήνα μετά τη σπορά να υπάρχει σοβαρή προσβολή.

Από τα ετήσια εαρινά ζιζάνια το κυριότερο είδος ήταν η αγριομελιτζάνα (*Xanthium strumarium*). Κατά την περίοδο των μετρήσεων, το φυτό είχε μόλις φυτρώσει και βρισκόταν είτε στο στάδιο των κοτυληδόνων, είτε στο στάδιο των 2 με 4 μονίμων φύλλων. Σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης βρισκόταν επίσης και τα υπόλοιπα είδη των ζιζανίων. Για το λόγο αυτό, η συνολική βιομάζα των ετήσιων εαρινών ζιζανίων ήταν σημαντικά μικρότερη σε σχέση με την βιομάζα των ζιζανίων των άλλων δυο κατηγοριών και οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων μειωμένες (Σχήμα 2). Η υψηλότερη προσβολή παρατηρήθηκε στις μεθόδους του βαρύ καλλιεργητή και τη δισκοσβάρνας και η μικρότερη στη μέθοδο του περιστροφικού σκαπτικού.

Τα είδη των εαρινών ζιζανίων που παρατηρήθηκαν πολλαπλασιάζονται κυρίως με σπόρους. Κατά την κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή και με δισκοσβάρνα, προκαλείται αναμόχλευση της επιφάνειας του εδάφους και πιθανόν ανάμειξη των σπόρων των ζιζανίων στο ανώτερο στρώμα. του εδάφους. Αυτή η ανάμειξη φαίνεται ότι επέδρασε

ευνοϊκά δημιουργώντας τις κατάλληλες προϋποθέσεις (υγρασία, θερμοκρασία) για το φύτρωμα των σπόρων. Στη μέθοδο της ακαλλιέργειας αντίθετα, οι σπόροι των ετήσιων εαρινών ζιζανίων κείτονταν στην επιφάνεια του εδάφους όπου οι συνθήκες γενικά ήταν πιο αντίξοες και γι΄ αυτό και φύτρωσε μικρότερο ποσοστό. Το ποσοστό αυτό ήταν παρόμοιο με αυτό που παρατηρήθηκε στη μέθοδο της συμβατικής κατεργασίας. Στην συμβατική κατεργασία, με το όργωμα προκαλείται αναστροφή του εδάφους και παράχωμα των σπόρων και γι' αυτό θα ήταν αναμενόμενο να υπήρχε μικρότερη προσβολή. Πράγματι στην συγκεκριμένη κατεργασία το πρόβλημα δεν οφείλονταν στην αγριομελιτζάνα, της οποίας οι σπόροι έχουν περίοδο ληθάργου μικρότερη του έτους αλλά στην λουβουδιά (*Chenopodium album*), της οποίας οι σπόροι μπορούν να επιζήσουν για πολλά έτη μέσα στο έδαφος (το ποσοστό της αγριομελειτζάνας ήταν 14% και της λουβουδιάς 34,5%). Φαίνεται ότι με το όργωμα προκλήθηκε επαναφορά στην επιφάνεια σπόρων λουβουδιάς που είχαν παραχωθεί με προηγούμενα οργώματα. Οι σπόροι αυτοί συνάντησαν πλέον τις κατάλληλες προϋποθέσεις που τους επέτρεψαν να φυτρώσουν.

Το μικρότερο ποσοστό από ετήσια εαρινά ζιζάνια παρατηρήθηκε στη μέθοδο του περιστροφικού σκαπτικού. Το περιστροφικό σκαπτικό με κατακόρυφα ελάσματα προκαλεί μια κατακόρυφη στρωμάτωση των εδαφικών συσσωματωμάτων αφήνοντας τα μεγαλύτερα στην επιφάνεια και την πιο λεπτοχωματισμένη γη στο πυθμένα του βάθους κατεργασίας. Είναι πολύ πιθανό λοιπόν κάτι παρόμοιο να συνέβη και με τους σπόρους της αγριομελιτζάνας. Οι σπόροι αυτοί είναι σχετικά μεγάλοι και ελαφρείς με συνέπεια το μεγαλύτερο ποσοστό να παραμείνει στην επιφάνεια του εδάφους και να μην φυτρώσει.

Συγκρίνοντας τις πέντε μεθόδους της προηγούμενης κατεργασίας του εδάφους διαπιστώνεται ότι η μικρότερη προσβολή από ζιζάνια παρατηρούταν σε όσα τεμάχια κατά τα προηγούμενα έτη είχε εφαρμοστεί όργωμα, ενώ η υψηλότερη σε όσα τεμάχια είχαν παραμείνει ακαλλιέργητα (Σχήμα 2). Οι μέθοδοι του βαρύ καλλιεργητή, του περιστροφικού και της δισκοσβάρνας εμφάνιζαν ενδιάμεσες προσβολές. Η διαπίστωση αυτή ισχύει για τα ετήσια χειμερινά και τα πολυετή ζιζάνια, όχι όμως και για τα εαρινά όπου οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ήταν ελάχιστες.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μακροχρόνια εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους και ιδίως ακαλλιέργειας οδήγησε σε σημαντική συσσώρευση των ζιζανίων. Επιπλέον διαπιστώθηκε μεταβολή της σύνθεσης της χλωρίδας με τα πολυετή και ετήσια χειμερινά ζιζάνια να επικρατούν. Όταν στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας παρεμβάλλεται όργωμα, προκύπτει άμβλυνση του προβλήματος. Η άμβλυνση αυτή αν και δεν είναι επαρκής για την αντιμετώπιση του προβλήματος, βοηθά στην ελάττωση των βαθύρριζων πολυετών ζιζανίων και δίνει τη δυνατότητα σε συνδυασμό με κατάλληλες και επίκαιρες επεμβάσεις με ζιζανιοκτόνα για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των ζιζανίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Gill, K.S. and M. A. 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

2. Boström U. (1999).Type and time of autumn tillage with and without herbicides at reduced rates in southern Sweden; 1. Yields and weed quantity, Soil and Tillage Research 50(3-4). 271-81
3. Brown, S.M., Chandler, J.M. and Morrison, J.E. (1987). Weed Control in a conservation tillage rotation in the Texas blacklands. Weed Science 35. 695-99.
4. Porterfield, J.G. and Davidson, J.M. (1974). Minimum tillage for cotton production. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 1121-1122.
5. Streit, B., Rieger, S.B., Stamp, P. and Richner, W. (2001). The effect of tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe, Agriculture, Ecosystems & Environment, 92(2-3) 211-24
6. Cavalaris C. and Gemtos T.A. (1998). Soil tillage and rotation effect in sugar beet crop. Intern. Conference on Agricultural Engineering. Oslo 1998.
7. Cavalaris C. and Gemtos T.A. (1998). Soil tillage effect in cotton crop. 2nd International Conference on Cotton Crop. Athens 1998.
8. Καβαλάρης Χ., Γέμτος Θ.Α και Γεωργίου, Χ. (1999). Χρήση μεθόδων μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους στην καλλιέργεια του καλαμποκιού. Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Αθήνα. 1999.
9. Gemtos, T.A., Cavalaris, C., Demis, Vl, Pateras, D. and Tsidari. Chr. (2002). Effect of changing tillage practices after four years of continuous reduced tillage. ASAE Annual International Meeting / CIGR World Congress. July 2002, Chicago Paper No 021135.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΜΠΕΛΩΝΑ ΣΤΟ ΔΕΙΚΤΗ Β ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

ΚΡΙΚΟΡΙΑΝ Α[1]., ΝΑΤΣΗΣ Α[1], ΑΡΓΥΡΟΚΑΣΤΡΙΤΗΣ Ι[1] ,ΒΑΛΜΗΣ Σ[1].

1.ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ 75, 11855, ΑΘΗΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διάβρωση του εδάφους παίζει ολοένα και μεγαλύτερο ρόλο για το αν θα έχουμε μια επιτυχημένη καλλιέργεια. Στην χώρα μας δεν έχει δοθεί η πρέπουσα σημασία για την αποφυγή ή τη μείωσή της με αποτέλεσμα τον κίνδυνο ερημοποίησης πολλών εδαφών. Μεγάλο μέρος της καλλιεργούμενης έκτασης της Ελλάδας σκεπάζεται από αμπελώνες (γύρω στα 140.000 εκτάρια), η εκμηχάνιση των οποίων βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Η εργασία έχει δύο αντικειμενικούς στόχους: Πρώτον να δώσει στον αναγνώστη μια άποψη για την ακολουθία των εργασιών και την χρήση των αντίστοιχων μηχανημάτων σε έναν αμπελώνα και δεύτερον να ασχοληθεί με την επίπτωση που έχουν οι καλλιεργητικές εργασίες πάνω στους δείκτες σταθερότητας της δομής του εδάφους ενός ελληνικού αμπελώνα.

MECHANISATION OF THE VINEYARD AND THE EFFECTS OF MECHANICAL TREATMENT OF SOIL SURFACE ON THE SOIL STRUCTURE STABILITY INDEX F

KRIKORIAN A[1]., NATSIS A[1], ARGYROKASTRITIS I[1] ,VALMIS S[1]

1. AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS
DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES AND AGRICULTURAL ENGINEERING
IERA ODOS 75, 11855, ATHENS

Soil erosion plays a continuously bigger role for whether successful production in a vineyard may be achieved. In Greece the reduction of the danger of desertation in many territories has not been given enough importance. A big part of the cultivated area of Greece is covered with vineyards (around in the 140.000 hectares), the mechanisation of which is found still in precocious stage. This work aims at two objectives: Firstly it gives the reader a view for the course of mechanical treatments in a Greek vineyard and secondly it deals with the repercussion that the farming work has on soil structure stability index F of a Greek vineyard.

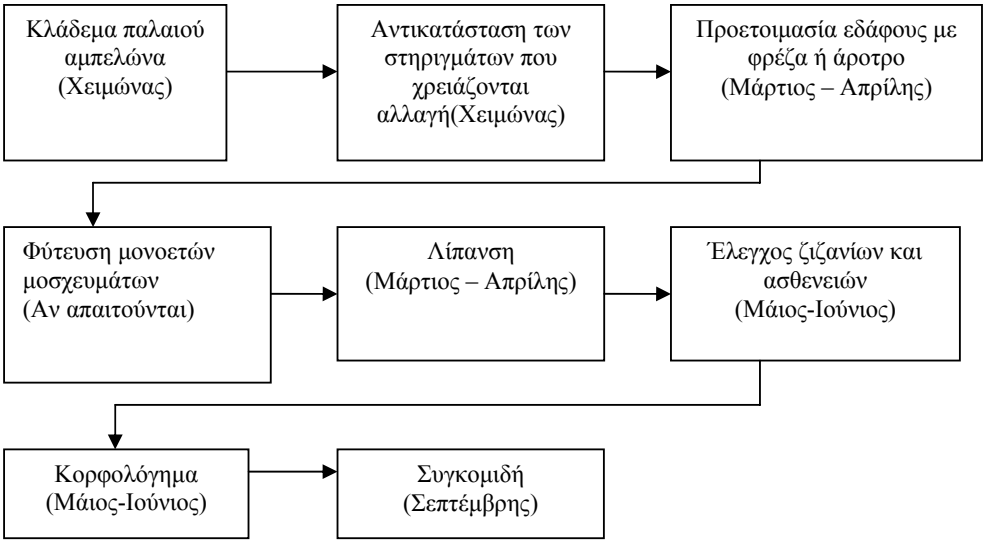
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αντίσταση των διαφόρων συσσωματωμάτων του εδάφους στις διαβρωτικές δυνάμεις του νερού της βροχής είναι ένα μέγεθος το οποίο και επιδρά σημαντικά στη διαβρωσιμότητα του εδάφους (Anderson, 1951). Για το λόγο αυτό οι δομικές αυτές μονάδες οι οποίες και παρουσιάζουν την μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση του νερού είναι εξαιρετικής σημασίας. Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στη δημιουργία μεθόδων για τη μέτρηση της σταθερότητας (Dobrzanki et al., 1975). Ακόμη έχουν γίνει έρευνες στο εξωτερικό αλλά και στην Ελλάδα σχετικά με τα αποτελέσματα που έχουν οι μηχανικές διεργασίες στην σχέση μεταξύ εδάφους – φυτών και νερού. (Koshi and Fryrear, 1973).

Καθώς οι έρευνες για την εκμηχάνιση όλο και περισσοτέρων διεργασιών στον αμπελώνα εντατικοποιούνται (Bosman, 2000; Morris J.R., 1972, 1986, 1999, 2002; Hollick ,1977), η παρούσα μελέτη σκοπό έχει να δείξει τη τυχόν σχέση και τα αποτελέσματα των μηχανικών καλλιεργητικών εργασιών σε έναν ελληνικό αμπελώνα στην αστάθεια των συσσωματωμάτων του εδάφους.

Η πορεία των μηχανημάτων σε έναν αμπελώνα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Anonymous, 2004):

Σχήμα 1: Η πορεία των μηχανημάτων σε έναν ελληνικό αμπελώνα



ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τις ανάγκες του πειράματος έγινε δειγματοληψία εδάφους με σκοπό την επεξεργασία και ανάλυση των συσσωματωμάτων. Τα δείγματα πάρθηκαν από

αμπελώνα που διατηρεί το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο μετά από κάθε καλλιεργητική εργασία που έγινε στον αμπελώνα από το προσωπικό του Πανεπιστημίου. Συνολικά πάρθηκαν δείγματα πέντε φορές από τον αμπελώνα. Η κατεργασία των δειγμάτων του πειράματος έγινε σε εργαστήριο του κτιρίου Γεωργικών Κατασκευών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Για την γρηγορότερη και ευκολότερη ταξινόμηση των εδαφών σύμφωνα με τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, έχει δημιουργηθεί ο συντελεστής αστάθειας β (Valmis et al., 1988; Argyrokastritis et al, 2002) ο οποίος και μας δείχνει τη σταθερότητα που παρουσιάζουν τα συσσωματώματα με διάμετρο μεταξύ 2mm και 4,7mm στη δράση του νερού. Αυτός ο δείκτης αστάθειας αποδίδεται από τη σχέση:

$$\beta = \frac{2 - \log W(t)}{2} \quad (A)$$

όπου W(t) είναι το βάρος των υλικών διαμέτρου μικρότερης από 250mm που παραμένουν στο συσσωμάτωμα μετά τη δράση του νερού. Επίσης έχει καθοριστεί και ο χρόνος ανατάραξης των συσσωματωμάτων στα 4 min. για τον προσδιορισμό του δείκτη β καθώς τότε ο συντελεστής β παίρνει τη μέγιστη τιμή του (Valmis et al., 1988). Για ένα ιδεατό σταθερό συσσωμάτωμα W(t)=100, δηλαδή το 100% της αρχικής ξηρής μάζας των λεπτόκοκκων συστατικών του με διάμετρο μικρότερη των 0,25mm παραμένει σ'αυτό και μετά τη δράση του νερού άρα β=0. Ο δείκτης αστάθειας μεταβάλλεται από 0 έως και 1. Στη μέθοδο που ακολουθήθηκε η δράση του νερού πραγματοποιείται εργαστηριακά με την ανατάραξη του δείγματος σε νερό. Για να γίνει δυνατή η χρήση των αποτελεσμάτων της εργαστηριακής διαδικασίας για τον προσδιορισμό του δείκτη αστάθειας η σχέση (A) μετατρέπεται στη μορφή

$$\beta = \frac{\log(Wa - Ws) - \log(Wa - Ws - Wi)}{2}$$

(Valmis et al., 1988). Η διαδικασία η οποία και ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό του β στο εργαστήριο είναι η εξής:

(Α) Κοσκινίζουμε τα δείγματα με κόσκινα σίτας 2-4,7mm και παίρνουμε συσσωματώματα διαμέτρου 2-4,7mm.

(Β) Ζυγίζουμε σε ζυγό ακριβείας 5gr από κάθε δείγμα και το βάζουμε στο φούρνο για 24h. Προσδιορίζουμε την υγρασία και στη συνέχεια το ξηρό βάρος Wα μέσω της διαφοράς βάρους των δειγμάτων.

(Γ) Ζυγίζουμε 10gr από κάθε δείγμα (2 επαναλήψεις για το καθένα).

(Δ) Βάζουμε τα δείγματα στα μικρά κόσκινα.

(Ε) Βυθίζουμε τα κόσκινα σε νερό για 3min.

(ΣΤ) Αναταράσσουμε τα δείγματα για 4min με ειδικό ηλεκτροκίνητο μηχανισμό που μετακινεί κατακόρυφα, με ρυθμό 72 διαδρομές το λεπτό και πλάτος διαδρομής 33mm, δύο κόσκινα 87mm με σίτα 0,25mm. Κατά την ανατάραξη του δείγματος στο νερό, όταν το κόσκινο βρίσκεται στο κατώτερο σημείο της διαδρομής του, το δείγμα βρίσκεται 20mm κάτω από την επιφάνεια του νερού. Όταν το κόσκινο βρίσκεται στο ανώτερο σημείο της διαδρομής το δείγμα είναι 13mm πάνω από την επιφάνεια του νερού.

(Ζ) α. Το υλικό που παίρνουμε στο πλαστικό δοχείο κάτω από τα κόσκινα το αδειάζουμε σε πορσελάνινη κάψα και το αφήνουμε σε ηρεμία.

β. Αφού σχηματιστεί το ίζημα (μετά από παρέλευση χρόνου περίπου 3h) αδειάζουμε προσεκτικά όσο νερό μπορούμε από τις κάψες.

γ. Τοποθετούμε το περιεχόμενο της κάψας μαζί με λίγο νερό σε ποτηράκι και το βάζουμε στο φούρνο. (Προσδιορισμός του Wi)

(Η) α. Το περιεχόμενο του μικρού κόσκινου εμβαπτίζεται σε πορσελάνινη κάψα που περιέχει διασπορικό μέχρι να φύγει όλη η άργιλος και να μείνει η άμμος.

β. Αν έχουμε πολύ οργανική ουσία προχωράμε στην καύση αυτής.

γ. Η καύση γίνεται πάνω σε θερμαντικό σώμα αφού πάρουμε την άμμο από το κόσκινο μέσα σε μεγάλο ποτήρι με νερό. Αφού βράσει το νερό προσθέτουμε υπεροξείδιο του υδρογόνου (αργά μέχρι 30ml) μέχρι να σταματήσει να βγάζει αφρούς. Σε περίπτωση που ξεχειλίσει ρίχνουμε απιονισμένο νερό στα τοιχώματα του ποτηριού.

δ. Ρίχνουμε το περιεχόμενο του ποτηριού στο μικρό κόσκινο και το ξεπλένουμε καλά με νερό βρύσης.

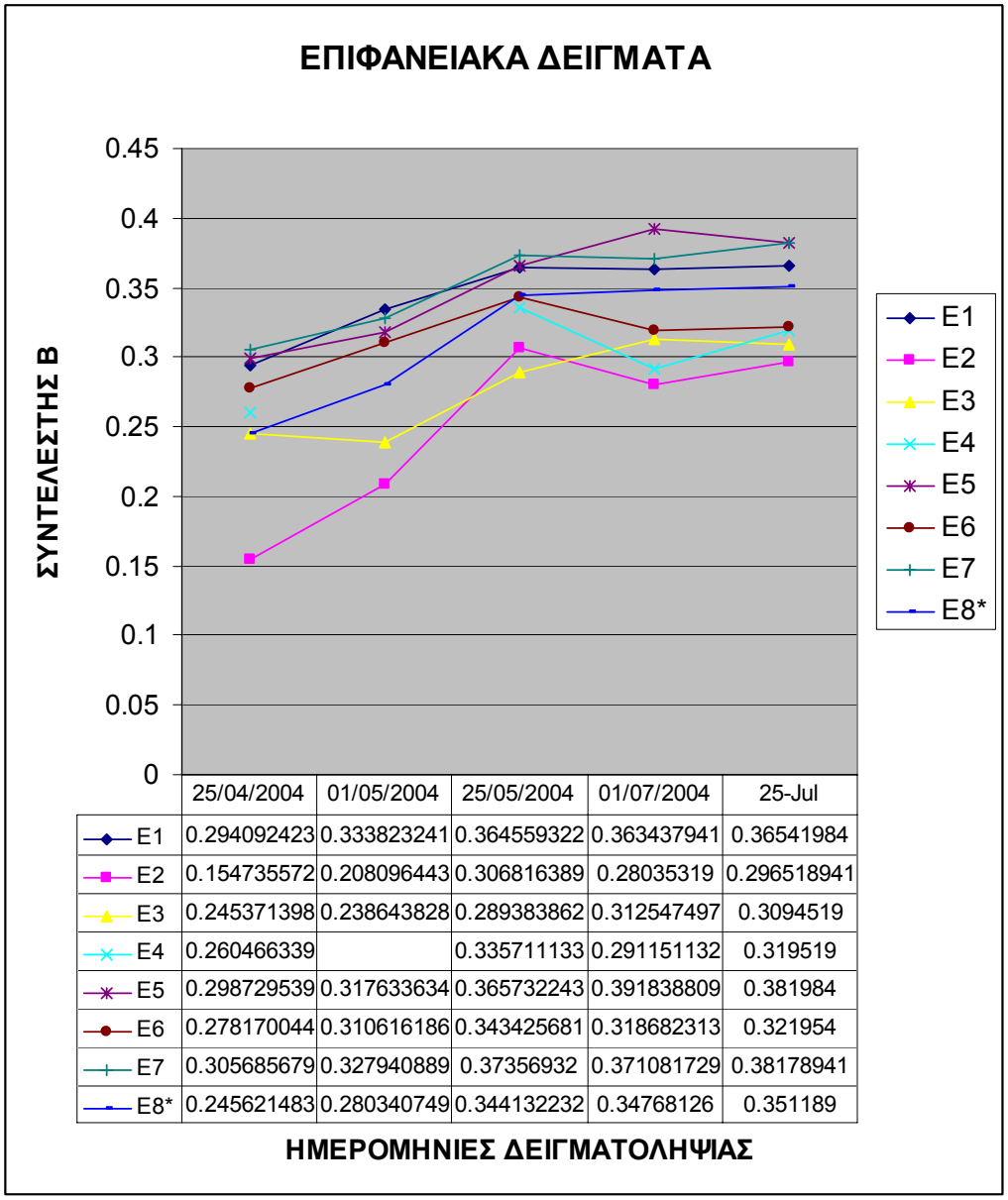
ε. Παίρνουμε την άμμο από το κόσκινο (με νερό) και τη βάζουμε σε μικρό ποτηράκι στο φούρνο για 1-2h μέχρι να χάσει την υγρασία της (προσδιορισμός του Ws).

Οι μετρήσεις πάρθηκαν από επτά διαφορετικά σημεία του αμπελώνα και επιπλέον ένα σημείο του αμπελώνα όπου δεν είχαμε φυτική κάλυψη και δεν έγιναν καλλιεργητικές εργασίες (μάρτυρας). Δείγματα πάρθηκαν σε πέντε διαφορετικές ημερομηνίες μετά από καλλιεργητικές εργασίες που εκπονήθηκαν στο χωράφι και είχαν με κάποιον τρόπο να κάνουν με ροή μηχανικών εργασιών ή άρδευση του αμπελώνα. Η πρώτη δειγματοληψία έγινε στα τέλη του Απρίλη μετά το φρεζάρισμα για την καταπολέμηση των ζιζανίων, η δεύτερη έγινε την 1η του Μάη μετά την Α άρδευση του αμπελώνα, η τρίτη έγινε μετά τον Α ψεκασμό στις 25 Μάη, η τέταρτη μετά το Β ψεκασμό 1η Ιούλη και η πέμπτη μετά τη Β άρδευση το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου. Δυστυχώς η συγκομιδή του συγκεκριμένου αμπελώνα γινόταν χειρωνακτικά και έτσι δεν υπήρχε η δυνατότητα μιας τελευταίας δειγματοληψίας το Σεπτέμβριο. Μετά την επεξεργασία των δειγμάτων είχαμε τα ακόλουθα αποτελέσματα. Πάρθηκαν επίσης και δείγματα σε βάθος των 15cm , παρόλο που γνωρίζαμε ότι ο συντελεστής β αφορά μόνο την επιφάνεια, απλώς και μόνο για να επιβεβαιώσουμε πως δεν έχει σχέση με το υποεπιφανειακό στρώμα:

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

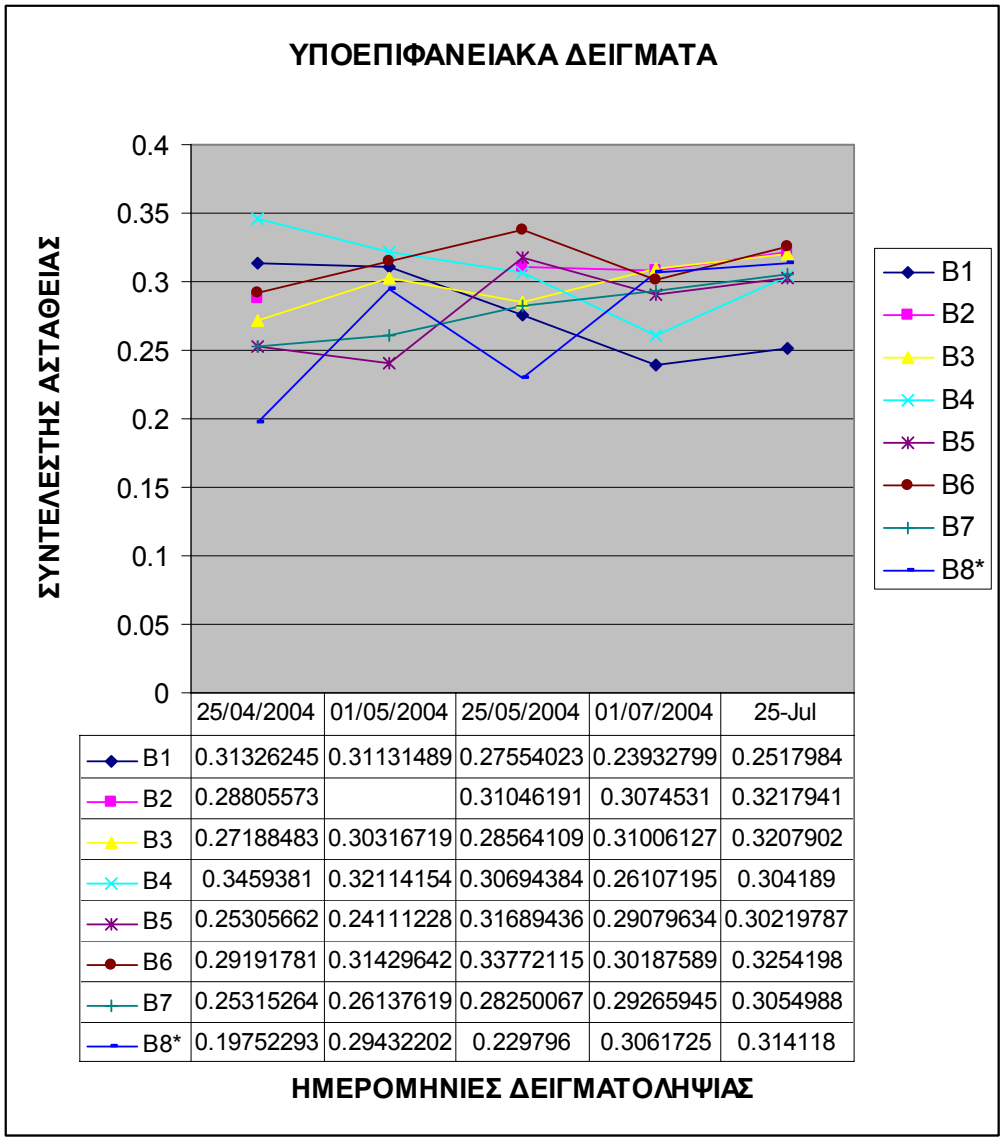
Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα που βρέθηκαν για το συντελεστή β σύμφωνα με την προαναφερθείσα διαδικασία. Τα Ε1, Ε2, Ε3, Ε4, Ε5, Ε6 και Ε7 είναι τα σημεία του αμπελώνα από τα οποία πήραμε τα δείγματα του εδάφους ενώ το Ε8* είναι ο μάρτυρας ο οποίος και μας υποδεικνύει την επίπτωση των διαφόρων εργασιών που γίνονται στον αμπελώνα μέσω της διαφοράς κλίσης με τα υπόλοιπα δείγματα και αυτό γιατί ο συντελεστής αστάθειας β είναι δυνατό να αλλάζει κατά τη διάρκεια του έτους εξαιτίας ακόμη και κλιματικών αλλαγών. Αντιστοίχως η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα δείγματα από το βάθος των 15cm. Γενικά από τα παρακάτω αποτελέσματα φαίνεται ότι το έδαφος από το οποίο πάρθηκαν τα δείγματα είχε σχετικά ασταθή συσσωματώματα στη δράση του νερού.

Πίνακας 1. Οι τιμές του συντελεστή αστάθειας β κατά τις διάφορες ημερομηνίες στα επιφανειακά δείγματα.



	25/04/2004	01/05/2004	25/05/2004	01/07/2004	25-Jul
E1	0.294092423	0.333823241	0.364559322	0.363437941	0.36541984
E2	0.154735572	0.208096443	0.306816389	0.28035319	0.296518941
E3	0.245371398	0.238643828	0.289383862	0.312547497	0.3094519
E4	0.260466339		0.335711133	0.291151132	0.319519
E5	0.298729539	0.317633634	0.365732243	0.391838809	0.381984
E6	0.278170044	0.310616186	0.343425681	0.318682313	0.321954
E7	0.305685679	0.327940889	0.37356932	0.371081729	0.38178941
E8*	0.245621483	0.280340749	0.344132232	0.34768126	0.351189

Πίνακας 2. Η αστάθεια στα υποεπιφανειακά δείγματα



	25/04/2004	01/05/2004	25/05/2004	01/07/2004	25-Jul
B1	0.31326245	0.31131489	0.27554023	0.23932799	0.2517984
B2	0.28805573		0.31046191	0.3074531	0.3217941
B3	0.27188483	0.30316719	0.28564109	0.31006127	0.3207902
B4	0.3459381	0.32114154	0.30694384	0.26107195	0.304189
B5	0.25305662	0.24111228	0.31689436	0.29079634	0.30219787
B6	0.29191781	0.31429642	0.33772115	0.30187589	0.3254198
B7	0.25315264	0.26137619	0.28250067	0.29265945	0.3054988
B8*	0.19752293	0.29432202	0.229796	0.3061725	0.314118

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα στοιχεία του παραπάνω πειράματος βγαίνει το συμπέρασμα ότι για τα επιφανειακά δείγματα έχουμε μια αυξητική τάση του συντελεστή αστάθειας β. Επιπλέον γίνεται αντιληπτό πως η καμπύλη του μάρτυρα (Ε8*) είναι στις περισσότερες των περιπτώσεων παράλληλη με τις καμπύλες που προκύπτουν από τα υπόλοιπα δείγματα.

Αν εξαιρέσει κανείς το δείγμα Ε4 του οποίου η συμπεριφορά κατά πάσα πιθανότητα είναι αποτέλεσμα εσφαλμένης μέτρησης στα άλλα δείγματα οι αποκλίσεις μεταξύ μάρτυρα και των άλλων δειγμάτων είναι αρκετά μικρότερες από 3%. Από τα παραπάνω προκύπτει πως στο συγκεκριμένο αμπελώνα και με τις μηχανικές κατεργασίες στις οποίες αυτός υπεβλήθη ο συντελεστής αστάθειας β εξαρτάται περισσότερο από τους παράγοντες του περιβάλλοντος παρά από τη ροή των μηχανημάτων. Είναι ακόμη γνωστό πως την καλοκαιρινή περίοδο έχουμε μία τάση αύξησης των τιμών του συντελεστή β και τα παραπάνω αποτελέσματα δεν ξεφεύγουν από αυτή τη λογική. Βέβαια για αρτιότερα αποτελέσματα απαιτείται επανάληψη του πειράματος επί σειρά ετών για να προσδιοριστεί επακριβώς η έστω και ισχνή συνεισφορά της ροής των μηχανημάτων στο επιφανειακό έδαφος.

Στα υποεπιφανειακά δείγματα δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια επιρροή και απλά επιβεβαιώνεται πως συντελεστής β αφορά την επιφάνεια του εδάφους και μόνο. Το δείγμα Β2 έχει όπως και το Ε4 πριν κατά πάσα πιθανότητα εσφαλμένη συμπεριφορά.

Σαν τελικό συμπέρασμα είναι ότι η αστάθεια της επιφανείας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους εξωγενείς παράγοντες. Κατά συνέπεια η δυνατότητα του καλλιεργητή να παρέμβει με σκοπό τη βελτίωση της δομής του εδάφους μετά το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου του αμπελώνα, με όποιο τρόπο που αποσκοπεί σε αυτό (εδαφοβελτιωτικά), είναι δυνατό να συντηρήσει τη δομή του εδάφους σε ικανοποιητικά επίπεδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anderson H.W. 1951, Physical Characteristics of soil related to erosion, J. Soil Water Conservation Vol 6 pp129-133.

2. Anonymous, “The vineyard cycle”, http://www.wineonline.ie/winery/vineyard.htm , September 2004.

3. Argyrokastritis I., Kerkides P., Valmis S., 2002, Spatial variability of soil structure stability indices, *Journal of Balkan Ecology vol.*5, No2, pp 157-161.

4. Bosman Dirk, 2000, Mechanization of Viticulture, http://www.wynboer.co.za/recentarticles/0499viti.php3.

5. Dobrzanki B., Witkowska B. and Walczak R., 1975, Soil aggregation and water stability index. Polish Journal of Soil Science, Vol 8 pp3-8.

6. Hollick R.R., 1977 “Machine use in mechanical pruning”. Third wine Ind. Tech. Conf. Pp.54

7. Koshi P.T. and Fryrear D.W., 1973, Effect of tractor traffic, Surface Mulch, and Seedbed Configuration on Soil Properties, Soil Science Society American Proc. Vol 37, pp758-762.

8. McCarthy M.G., Jones L.D., Due G., Irrigation Principles and Practices, *Coombe and Dry Viticulture Practices* Vol.2, pp 104-128.

9. Morris J.R., 2002, *Vineyard Mechanization*, http://www.uark.edu/depts/ifse/grapeprog/vinemech.htm.

10. Morris J.R., 1986, Mechanizing Cocord Vineyards for greater profits, http://www.uark.edu/depts/ifse/grapeprog/vinemech.htm.

11. Morris J.R., 1999, Developing Mechanized Systems for Producing, Harvesting, and Handling Brambles, Strawberries, and Grapes, http://www.uark.edu/depts/ifse/grapeprog/vinemech.htm.

12. Morris J.R, Fleming J.W, Benedict R.H., McCaskill D.R., 1972, Effects of Sulfur Dioxide on Postharvest Quality of Mechanically Harvested Grapes, http://www.uark.edu/depts/ifse/grapeprog/vinemech.htm,.

13. Valmis S. Kerkides P., Aggelides S., 1988, Soil Aggregate Instability Index and Statistical Determination of Oscillation time in water, *Journal of American Soil Science Society*, pp 1188-1191.

ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Α.Π. Δεδούσης, D. Kurstjens, J. Mueller
Πανεπιστήμιο Βαγκενίγκεν, Τμήμα Γεωργικής Τεχνολογίας, Βαγκενίγκεν , Ολλανδία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η ανάπτυξη μιας νέας τεχνικής για την καταπολέμηση των ζιζανίων χωρίς την χρησιμοποίηση χημικών ουσιών. Η τεχνική αυτή είναι η θερμική επεξεργασία κάθε ζιζανίου ξεχωριστά. Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν άσπρη μουστάρδα (White mustard, *Sinapsis alba L*). Δύο μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας εφαρμόστηκαν (1) εφαρμογή εύφλεκτου υλικού στο πάνω μέρος του φυτού και ανάφλεξη και (2) εφαρμογή του εύφλεκτου υλικού στο κάτω μέρος του φυτού (επιφάνεια του εδάφους) και ανάφλεξη. Τα εύφλεκτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ακετόνη και βενζίνη. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν οτι η τεχνική αυτή αν ερευνηθεί περαιτέρω μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ακριβείας των ζιζανίων σαν εναλλακτική λύση χωρίς την χρησιμοποίηση χημικών ουσιών.

WEED CONTROL WITH THERMAL TREATMENT

A.P. Dedousis, D. Kurstjens, J. Mueller
Wageningen University, Farm Technology Group, Wageningen, The Netherlands

ABSRACT

In this paper is presented the development of a new technique for weed control without the utilisation of chemicals. This technique is burning individual plants with the usage of inflammable liquids. The plant material that was used was white mustard (*Sinapsis alba L*) and exposed to our treatments in the two true leaf stage. Two methods were applied (1) application of the inflammable liquid on the top of the plant and ignition and (2) application of the inflammable liquid in the bottom of the plant (soil surface) and ignition. The inflammable liquids that were used were acetone and petrol. The results of this research showed that this technique it might be used for precision weed control as alternative solution for weeding without the use of chemicals.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η διαχείριση των ζιζανίων στη γεωργία των αναπτυγμένων χωρών έχει χαρακτηριστεί από την εντατική χρήση των ζιζανιοκτόνων. Οι πρόσφατες ανησυχίες των καταναλωτών στην Ευρώπη έχουν δώσει έμφαση στην ασφάλεια τροφίμων και τα μεγάλα καταστήματα (supermarkets) ειναι τώρα πρόθυμα να πληρώσουν ένα ασφάλιστρο για τα τρόφιμα που έχουν ένα αρχείο όλων των επεξεργασιών που έχουν πραγματοποιηθει μέχρι την τοποθέτησή τους στο ράφι του καταστήματος [1]. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί έχουν προάγει γενικά τα ζιζανιοκτόνα ως αναγκαίο μέσο για τον εκσυγχρονισμό και την ενίσχυση της γεωργικής παραγωγής. Οι αυξανόμενοι κυβερνητικοί περιορισμοί σε συνδιασμό με τις αυξανόμενες καταναλωτικές ανησυχίες απαιτούν ασφαλή γεωργικά προϊόντα [2]. Διάφορες πρόσφατες τάσεις αναγκάζουν τους γεωπόνους στις αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες να επαναξιολογήσουν την εξάρτησή τους στα ζιζανιοκτόνα. Οι τρέχοντες οδηγοί που προωθούν την αλλαγή στη σημερινή γεωργία είναι δύο: οικονομικοί και περιβαλλοντικοί [3]. Οι οικονομικές, περιβαλλοντικές, και βιολογικές εξελίξεις οδηγούν τους αγρότες και τους ερευνητές να επιδιώξουν πιο αποτελεσματικές στρατηγικές καταπολέμησης των ζιζανίων προκειμένου να ελαχιστοποιούν την εξάρτησή τους στα ζιζανιοκτόνα. Η συνειδητοποίηση του κοινού και το ενδιαφέρον για παραγωγή οργανικών τροφίμων σε συνάρτηση με τα πολλά προβλήματα απο τη χρήση των ζιζανιοκτόνων, έχει οδηγήσει τους επιστήμονες σε μια σειρά απο έρευνες για νέες τεχνικές που αφορούν μηχανημάτα για τον μη-χημικό έλεγχο των ζιζανίων.

1.1 Μέθοδοι καταπολέμησης των ζιζανίων

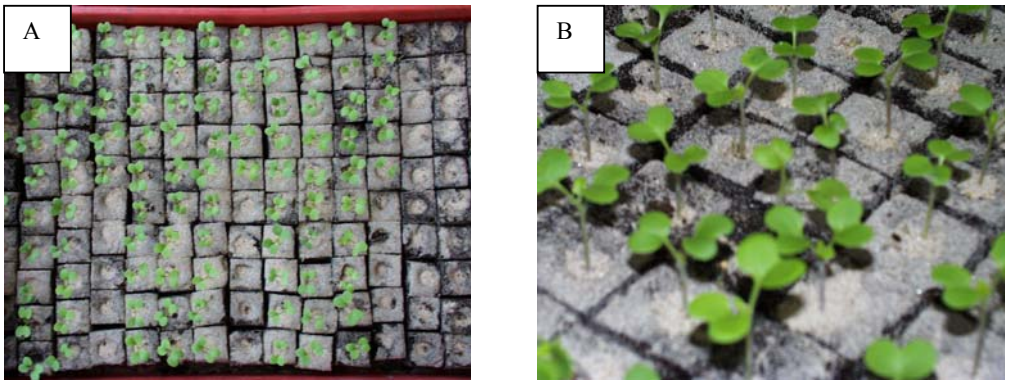
Σαν ζιζάνιο μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε φυτό που αναπτύσσεται στη λανθασμένη θέση στο λανθασμένο χρόνο και κάνει περισσότερη ζημιά από οτι καλό [4]. Τα ζιζάνια ανταγωνίζονται με τη καλλιέργεια για νερό, φως και θρεπτικές ουσίες. Διάφορες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των ζιζανίων. Μεταξύ τους, η μηχανική μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως σε πολλές καλλιέργειες για να αφαιρέσει τα ζιζάνια, να αερίσει το χώμα, και να βελτιώσει την αποδοτικότητα άρδευσης. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να αφαιρέσουν τα ζιζάνια που βρίσκονται μεταξύ των γραμμών της καλλιέργειας. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται πιο συχνά για τον έλεγχο των ζιζανίων είναι ο ψεκασμός με ζιζανιοκτόνα. Τα τελευταία χρόνια οι αγρότες, οι επιστήμονες και οι καταναλωτές απαιτούν προϊόντα τα οποία δεν έχουν υποστεί χημική επεξεργασία. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της χρήσης των ζιζανιοκτόνων, είναι η ρύπανση του εδάφους και των υδάτων. Εκτός απο αρνητικές επιπτώσεις η χρήση των χημικών για την καταπολέμηση των ζιζανίων έχει και ωφέλη, όπως για παράδειγμα η άμεση καταπολέμηση των ζιζανίων χωρίς αναγκαίες επαναλήψεις (όχι πάντα, εξαρτάται επίσης από το πόσο ανεκτικό είναι το ζιζάνιο).
Επιπλέον, πολλές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για τον μη-χημικό έλεγχο των ζιζανίων, για να μειώσουν τις χημικές δαπάνες στη συμβατική γεωργία, σε απάντηση στις περιβαλλοντικές πιέσεις και για να προβλέψουν τις ανάγκες της παραγωγής οργανικών τροφίμων [4]. Οι θερμικές τεχνικές χρησιμοποιούν γενικά Liquefied Petroleum Gas (LPG), συνήθως προπάνιο. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι επίσης μια από τις πηγές που έχει δοκιμαστεί αρκετές φορές από τους ερευνητές σε όλο τον κόσμο, και χρησιμοποιείται και ως πηγή ενέργειας θερμότητας για τον ηλεκτρικό κλονισμό των ζιζανίων. Οι υπέρυθρες ακτίνες είναι επίσης μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται

σε μικρής κλίμακας αγροτικές μονάδες, στις Κάτω Χώρες. Ο Ascard [8] έκανε μια σύγκριση της τεχνικής της καύσης και των υπέρυθρων τεχνικών ακτινοβολίας για το θερμικό έλεγχο ζιζανίων, με πολύ θετικά αποτελέσματα για τη χρήση των υπέρυθρων ακτίνων στον έλεγχο των ζιζανίων. Το φλογοβόλο παρουσίασε καλύτερη απόδοση από το υπέρυθρο θερμαντικό σώμα στα ζιζάνια στο στάδιο των τέσσερων-φύλλων, αλλά είχε μικρότερη απόδοση στο στάδιο των δύο φύλλων. Και οι δύο θερμικές μέθοδοι απαίτησαν μια αποτελεσματική δόση του προπανίου περίπου 60 kg/ha για μείωση 95% των ζιζανίων [8]. Αυτές οι τεχνικές έχουν περιορισμένη χρήση εξαιτίας προβλημάτων όπως η σύντομη χρονική επίδραση της μεθόδου, πολλές επαναλήψεις που απαιτούνται για να βλάψουν εντελώς τα ζιζάνια και τη χαμηλή επιλεκτικότητα (selectivity) ώστε να καταπολεμηθούν τα ζιζάνια χωριστά. Επίσης οι επαναλήψεις και το κόστος εξοπλισμού και εργασίας είναι υψηλά. Σύμφωνα με τον Ascard [8] η καταπολέμηση των ζιζανίων συνδέεται συχνά με προβλήματα όπως οι υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια, η μικρή ταχύτητα εργασίας , και ο ανομοιόμορφος έλεγχος των ζιζανίων.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.1 Φυτικό υλικό

Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν άσπρη μουστάρδα (*sinapsis alba L*). Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε στενόμακρα πλαστικά δοχεία χωρητικότητας 150 φυτών ανά δοχείο (Εικόνα 1 Α και Β), με περίπου 85% εδαφική υγρασία. Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε θερμοκήπιο με μέγιστη καθημερινή θερμοκρασία 45 ^{o}C για 10 ημέρες και επεξεργάστηκαν στο αρχικό στάδιο των δύο φύλλων, με φυλλική επιφάνεια περίπου 3 cm^2 ανά φυτό. Για κάθε μέθοδο εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν 35 φυτά σε τέσσερις επαναλήψεις για κάθε μέθοδο. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 2940 φυτά.



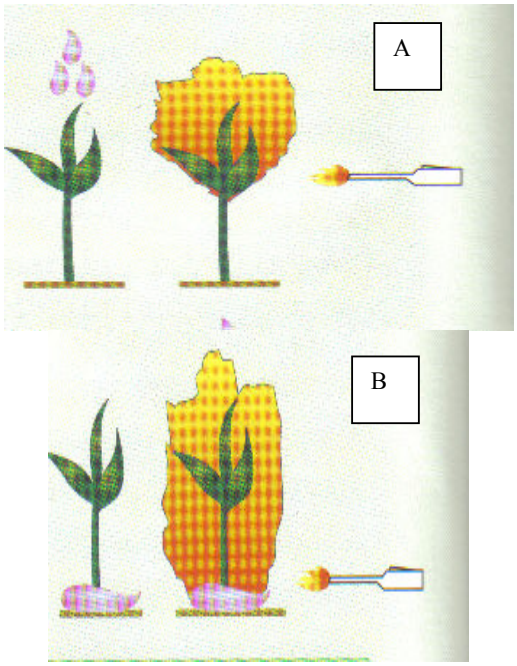
Εικόνα 1. (Α) Φυτικό υλικό (Β) Φυτικό υλικό, μεγένθυση

2.2 Εύφλεκτα υλικά και εφαρμογή

Τα κύρια κριτήρια για την επιλογή των εύφλεκτων υγρών ήταν η διαθεσιμότητα αγοράς, η τιμή και ο ς κίνδυνος ρύπανσης του περιβάλλοντος. Τα εύφλεκτα υγρά που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής φάσης ήταν βενζίνη και ακετόνη (φαρμακευτική, 98% alcohol). Το εύφλεκτο υγρό εφαρμόστηκε στα φυτά με τη χρησιμοποίηση ψεκαστήρων και ιατρικών εγχυτήρων. Για την ανάφλεξη του εύφλεκτου υγρού χρησιμοποιήθηκαν αναπτήρες ασφαλείας. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της εφαρμογής του υγρού πάνω στο φυτό μέχρι την ανάφλεξη αυτού ήταν 2 sec.

2.2.1 Μέθοδοι εφαρμογής

Δύο μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας του φυτικού υλικού χρησιμοποιήθηκαν. Εφαρμογή του εύφλεκτου υλικού στο πάνω μέρος του φυτού και ανάφλεξη (Σχήμα 1 Α) και εφαρμογή του εύφλεκτου υλικού στο κάτω μέρος του φυτού (επιφάνεια του εδάφους) και ανάφλεξη (Σχήμα 1 Β).



Σχήμα 1. (Α) Αναπαράσταση της εφαρμογής του εύφλεκτου υλικού στο πάνω μέρος του φυτού και ανάφλεξη (Β) Αναπάρασταση της εφαρμογής του εύφλεκτου υλικού στο κάτω μέρος του φυτού και ανάφλεξη.

2.3 Συλλογή δεδομένων

Για τις παρατηρήσεις μας κατά την διάρκεια των πειραμάτων θέσαμε μια σειρά κριτηρίων βασισμένων σε οπτικές παρατηρήσεις. Κάθε υγρό ανταποκρίνεται διαφορετικά και έχει διαφορετική επίδραση στα φυτά ανάλογα με τη μέθοδο εφαρμογής του. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν 10 ημέρες μετά την επεξεργασία, χρησιμοποιώντας ως χαρακτηριστικό το χρώμα του ιστού των φύλλων, σε τρεις κατηγορίες: (1) Ζωντανά φυτά: Ο ιστός των φύλλων παραμένει πράσινος μετά απο 10

ημέρες απο την επεξεργασία (2) Φυτά που υποφέρουν: Μέρος των φυτών παραμένει πράσινο μετά απο 10 ημέρες απο την επεξεργασία και (3) Νεκρά φυτά: Ο ιστός των φύλλων δεν έχει καθόλου πράσινο χρώμα ύστερα απο 10 ημέρες.

2.3.1 Ανάλυση δεδομένων

Η επίδραση της ακετόνης και της βενζίνης μπορεί να περιγραφεί από τις καμπύλες δόσης-αντίδρασης παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν από τον Streibig *et al* [6] για τα ζιζανιοκτόνα και του Ascard [5,7] για την καταπολέμηση των ζιζανίων με φλογοβόλα. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$effect = \frac{100\%}{1+(ED50/dosis)^{B}}(in\%) \quad (1)$$

Όπου ED50 είναι η απαραίτητη δόση για να επιτύχουμε 50% μείωση στα φυτά. Η dosis παραμέτρου είναι η δόση που εφαρμόζουμε στα φυτά. Η παράμετρος Β περιγράφει την κλίση της καμπύλης γύρω από την ED50 [5, 6, 7]. Επιπλέον το ποσοστό των νεκρών φυτών υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το παρακάτω μοντέλο:

$$pdead = \frac{Plants\ \ treated - Number\ \ of\ \ Alive\ \ plants - Number\ \ ofSuffer\ \ plants}{Plants\ \ treated} \quad (2)$$

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Εφαρμογή εύφλεκτου υλικού στο πάνω μέρος του φυτού και ανάφλεξη

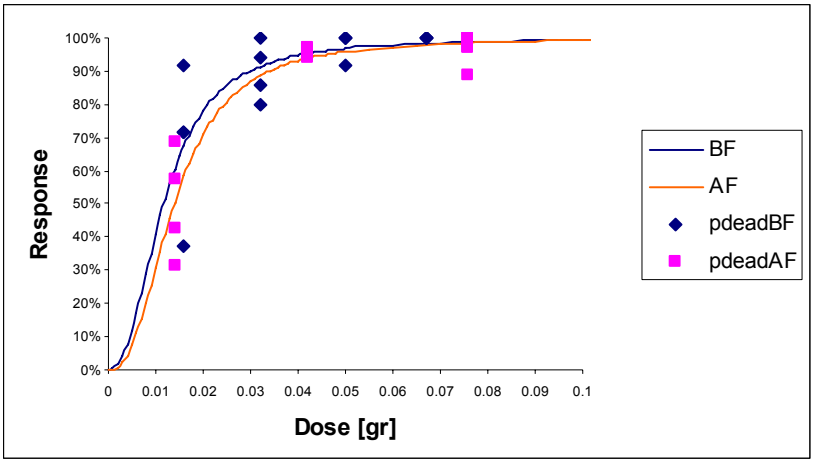
Σε αυτήν την μέθοδο εφαρμογής το υγρό εφαρμόστηκε στα φύλλα του φυτού υπό μορφή σταγόνων, έπειτα το υγρό αναφλέχτηκε. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν 10 ημέρες μετά την θερμική επεξεργασία, χρησιμοποιώντας ως χαρακτηριστικό το χρώμα του ιστού των φύλλων όπως αναφέρεται στην παράγραφο 2.3.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα για την εφαρμγή του εύφλεκτου υλικού στο πάνω μέρος του φυτού και ανάφλεξη σε τέσσερις διαφορετικές δόσεις για την ακετόνη και την βενζίνη

Υγρό	**Δόση [gr]**	**Ζωντανά φυτά**	**Φυτά που υποφέρουν**	**Νεκρά φυτά**	**pdead [%]**
Ακετόνη	0.014	9	61	70	50
Ακετόνη	0.042	1	5	134	95.7
Ακετόνη	0.076	1	5	134	95.7
Ακετόνη	0.11	0	7	133	95
Βενζίνη	0.016	1	44	95	67.8
Βενζίνη	0.032	1	13	126	90
Βενζίνη	0.050	1	2	137	97.8
Βενζίνη	0.067	0	0	140	100

Μετά από την ολοκλήρωση αυτής της μεθόδου παρατηρήσαμε ότι λίγα φυτά νεκρώθηκαν συνολικά με την ακετόνη στην πρώτη δόση, 70 από τα 140 νεκρά,

δεδομένου ότι ο ιστός των φύλλων δεν ήταν πράσινος 10 ημέρες μετά την επεξεργασία, και 61 από τα 140 υπέφεραν. Με τη βενζίνη η επίδραση της πρώτης δόσης ήταν καλύτερη, 95 από τα 140 ήταν νεκρά και 44 από τα 140 υπέφεραν. Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η εφαρμογή της τέταρτης δόσης της βενζίνης έκαψε όλα τα φυτά (κανένα πράσινο μέρος στον ιστό των φύλλων) 140 από τα 140 ήταν νεκρά. Με την ακετόνη 137 από τα 140 ήταν νεκρά και 7 από τα 140 υπέφεραν (ο ιστός των φύλλων παρέμεινε πράσινος μετά απο 10 ημέρες).



Σχήμα 2. Αποτελέσματα για την εφαρμογή του εύφλεκτου υγρού στο πάνω μέρος του φυτού και ανάφλεξη με ακετόνη (AF) και βενζίνη (BF) με το ποσοστό των νεκρών φυτών για την ακετόνη σε τέσσερις επαναλήψεις και τέσσερις δόσεις (pdeadAF) και το ποσοστό των νεκρών φυτών για τη βενζίνη σε τέσσερις επαναλήψεις και τέσσερις δόσεις (pdeadBF).

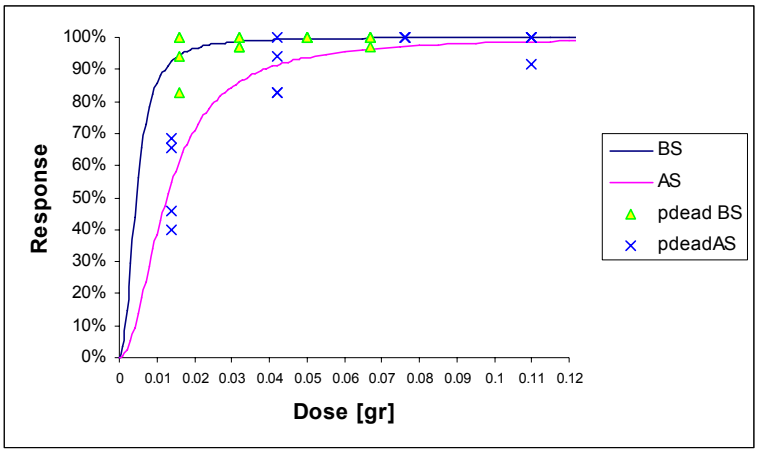
3.2 Εφαρμογή εύφλεκτου υλικού στο κάτω μέρος του φυτού και ανάφλεξη

Σε αυτήν την μέθοδο εφαρμογής το υγρό εφαρμόστηκε στην επιφάνεια του εδάφους κοντά στο μίσχο (Σχήμα 1 Β).

Πίνακας 2. Αποτελέσματα για την εφαρμγή του εύφλεκτου υλικού στο κάτω μέρος του φυτού και ανάφλεξη σε τέσσερις διαφορετικές δόσεις για την ακετόνη και την βενζίνη

Υγρό	**Δόση [gr]**	**Ζωντανά φυτά**	**Φυτά που υποφέρουν**	**Νεκρά φυτά**	**pdead [%]**
Ακετόνη	0.014	32	11	97	69.2
Ακετόνη	0.042	8	6	126	90
Ακετόνη	0.076	0	0	140	100
Ακετόνη	0.11	1	3	136	97.1
Βενζίνη	0.016	8	0	132	94.2
Βενζίνη	0.032	0	2	138	98.5
Βενζίνη	0.050	0	0	140	100
Βενζίνη	0.067	0	0	140	100

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής φάσης αυτής της μεθόδου παρατηρήσαμε ότι η πλειοψηφία των φυτών που επεξεργάστηκαν δεν επέζησαν. Όπως μπορεί να φανεί στον παραπάνω πίνακα αυτή η μέθοδος εφαρμογής με βενζίνη απαιτεί την ελάχιστη δόση για να είναι αποτελεσματική. Εάν χρησιμοποιήσουμε τη δεύτερη δόση 0,032gr 138 από τα 140 φυτά ήταν νεκρά (κανένα πράσινο μέρος στον ιστό φύλλων ύστερα απο 10 ημέρες). Η ακετόνη μας έδωσε επίσης πολύ καλά αποτελέσματα, με την τρίτη (0,076 gr) και τέταρτη δόση (0,11gr) 140 από τα 140 φυτά ήταν νεκρά (κανένα πράσινο μέρος στον ιστό φύλλων ύστερα απο 10 ημέρες).

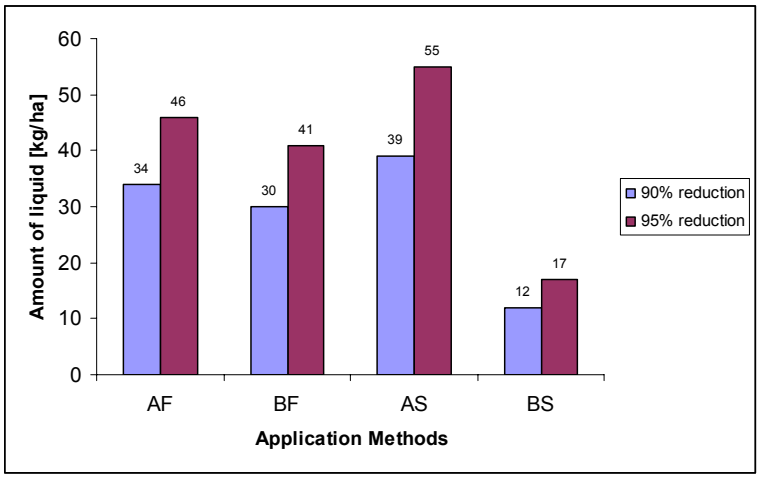


Σχήμα 3. Αποτελέσματα για την εφαρμογή του εύφλεκτου υγρού στο κάτω μέρος του φυτού και ανάφλεξη με ακετόνη (AS) και βενζίνη (BS) με το ποσοστό των νεκρών φυτών για την ακετόνη σε τέσσερις επαναλήψεις και τέσσερις δόσεις (pdeadAS) και το ποσοστό των νεκρών φυτών για τη βενζίνη σε τέσσερις επαναλήψεις και τέσσερις δόσεις (pdeadBS).

Οι δόσεις ήταν 0,014, 0,042, 0,076 και 0,11 gr ανά φυτό για την ακετόνη και 0,015, 0,032, 0,05 και 0,067 gr ανά φυτό για τη βενζίνη. Η διάρκεια του χρόνου έκθεσης ήταν περίπου 6-8 sec που είναι πολύ περισσότερος από τις προαναφερθείσες μεθόδους και σύμφωνα με [9] και [10] είναι αρκετά μεγάλος για να "κάψει" τον ιστό των ζιζανίων.
Η μέθοδος εφαρμογής του υγρού στο κάτω μέρος του φυτού μας έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα. Οι δόσεις ήταν 0,014, 0,042, 0,076 και 0,11 gr ανά φυτό για την ακετόνη και 0,015, 0,032, 0,05 και 0,067 gr ανά φυτό για τη βενζίνη. Η διάρκεια του χρόνου έκθεσης σε αυτήν την μέθοδο ήταν πολύ πιο μεγάλη από την προαναφερθείσα μέθοδο 9-27 sec. Το υγρό που χρησιμοποιείται για αυτήν την μέθοδο πρέπει να εφαρμοστεί στην επιφάνεια του εδάφους πολύ κοντά στο μίσχο διαφορετικά μετά από την ανάφλεξη καίμε μόνο το υγρό στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να βλάπτουμε τα ζιζάνια.

3.3 Περίληψη αποτελεσμάτων

Η μέθοδος εφαρμογής του υγρού στο πάνω μέρος του φυτού απαιτεί 34 l/ha για να επιτύχει 90% μείωση με την ακετόνη και 37,5 l/ha με τη βενζίνη. Για 95% μείωση με την ακετόνη απαιτούνται 58 l/ha και 51 l/ha με τη βενζίνη.



Σχήμα 4. Απαιτούμενη ποσότητα εύφλεκτου υλικού για εφαρμογή στην φυλλική επιφάνεια (F) και την επιφάνεια του εδάφους (S) για την ακετόνη (AF, AS) και τη βενζίνη (BF, BS)

Η μέθοδος εφαρμογής του υγρού στο κάτω μέρος του φυτού απαιτεί 49 l/ha για να επιτύχει μείωση 90% με την ακετόνη και 15 l/ha με τη βενζίνη. Για 95% μείωση με την ακετόνη απαιτούνται 69 l/ha και 17 l/ha με τη βενζίνη.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτήν την εργασία ερευνήθηκε η δυνατότητα χρησιμοποίησης της θερμικής επεξεργασίας των φυτών για τον μη-χημικό έλεγχο των ζιζανίων. Τα εύφλεκτα υγρά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ακετόνη και η βενζίνη. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης προτείνουν τη χρησιμοποίηση της μεθόδου εφαρμογής του υγρού στο κάτω μέρος του φυτού και ανάφλεξη καθώς αυτή η μέθοδος απαιτεί τη χαμηλότερη ποσότητα υγρού (17 l/ha). Η μέθοδος αυτή είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί επειδή απαιτεί μεγάλη ακρίβεια, ειδικά όταν η πυκνότητα της καλλιέργειας είναι μεγάλη. Συνεπώς καταλληλότερη μέθοδος φαίνεται να είναι η εφαρμογή του υγρού στο πάνω μέρος του φυτού και ανάφλεξη 37 l/ha. Ο Ascard [8] στην εργασία του βρήκε οτι η αναγκαία δόση για να επιτύχει 95% μείωση των ζιζανίων με τη χρήση προπανίου είναι 60 kg/ha. Η θερμική επεξεργασία που περιγράφεται σε αυτή την εργασία απαιτεί μικρότερη ποσότητα εύφλεκτου υγρού απο αυτή του Ascard [8] (Σχήμα 4) για 95% μείωση των ζιζανίων. Επίσης η διάρκεια του χρόνου έκθεσης των ζιζανίων στην θερμική επεξεργασία είναι αρκετά μεγάλη για να "κάψει" τον ιστό των ζιζανίων με βάση τις μελέτες των Rahkonen & Vanhala [9] και Holmoy & Storeheier [10]. Αυτή η τεχνική δεν βλάπτει τα φυτά που είναι τοποθετημένα σε ακτίνα μεγαλύτερη των δύο εκατοστών και μπορεί να εφαρμοστεί σε υψηλής πυκνότητας καλλιέργειες. Η τεχνική που παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία παρασουσίασε πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες θερμικές επεξεργασίες (πχ. Φλογοβόλα) όπως χαμηλότερο κόστος, μία και μόνο εφαρμογή χωρίς επανάληψη, μεγάλη διάρκεια ελέγχου (long time effect) και υψηλή επιλεκτικότητα (selectivity).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Blackmore S., Griepentrog H., 2000. A future view of precision farming. Agrotechnology, The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark, pp.131-144
[2] Dekker E., Pute K., Smit J., Wilbrink R., 2002. Agricultural engineering as backbone in agriculture. European Agricultural Engineering Society. Budapest 2002.
[3] Blackmore S., Have H., Keller B., Fountas S., 2002. Autonomous weeders for Christmas tree plantations-a feasibility study. Pesticide Research, Vol.59,
[4] Parish S., 1990. A review of non-chemical weed control techniques. Biological Agriculture and Horticulture, Vol. 7, pp. 1-14
[5] Ascard J., 1994. Dose response models for flame weeding in relation to plant size density. Weed Research, Vol. 34, pp. 377-385
[6] Streibig J.C., Rudemo M., Jensen J.E., 1993. Dose response curves and statistical models. Herbicide bioassays, CRC press.
[7] Ascard J., 1995. Thermal weed control by flaming. PhD thesis report . Swedish University of Agricultural Sciences.
[8] Ascard J., 1998. Comparison of flaming and infrared radiation techniques for thermal weed control. Weed Research, Vol. 38, pp. 69-76.
[9] Rahkonen J., Vanhala P., 1993. Response of a mixed weed stand to flaming and use of temperature measurements in predicting weed control efficiency. 4th International Conference IFOAM
[10] Holmoy R., Storeheier J.K., 1993. Selective flaming in the plant row and basic investigation and developments of flamers. 4th International Conference IFOAM.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΛΩΡΙΔΕΣ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ.

Θ.Α. Γέμτος, Χρ Καβαλάρης και Χρ. Καραμούτης
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας e-mail gemtos@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα πρώτα αποτελέσματα μιας προσπάθειας σχεδιασμού, κατασκευής και αξιολόγησης στο χωράφι ενός μηχανήματος για κατεργασία του εδάφους σε λωρίδες για σπορά βαμβακιού παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία. Τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος ήταν να κατεργάζεται το έδαφος σε βάθος πάνω από 20 εκατοστά και να το θρυμματίζει ικανοποιητικά ώστε να είναι έτοιμο για σπορά με συμβατική σπαρτική σκαλιστικών καλλιεργειών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μηχάνημα περιορίζει την κατανάλωση ενέργειας ως προς τη συμβατική κατεργασία του εδάφους με άροτρο κατά 30,8% ενώ δίνει εγκατάσταση φυτείας και παραγωγή καλλίτερη κατά 14% και 17% αντίστοιχα,

Λέξεις κλειδιά. Κατεργασία εδάφους, κατεργασία σε λωρίδες, βαμβάκι

DESIGN, CONSTRUCTION AND TESTING OF A MACHINE FOR STRIP TILLAGE IN COTTON CROP

T.A. Gemtos, Chr. Kavalaris , Chr. Karamutis
Laboratory of Farm mechanization, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly e-mail gemtos@agr.uth.gr

ABSTRACT

The results of an attempt to design, construct and test a machine for strip tillage in cotton crop are presented in the present paper. The design specifications of the machine were to be able to disturb and loosen the soil at a depth of at least 20 cm and prepare a suitable seedbed for planting with a conventional planting machine. The results showed that the machine reduced energy consumption compared to conventional tillage by plough by 30,8% while strip tillage gave better emergence and yield by 14% and 17% respectively.

Key words. Tillage, strip tillage, cotton

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την τελευταία δεκαετία στο Πανεπιστήμιο .Θεσσαλίας έγιναν εκτεταμένα πειράματα αξιολόγησης μεθόδων κατεργασίας του εδάφους. Οι Gemtos et al.[1] σε σύγκριση πέντε μεθόδων κατεργασίας σε καλλιέργεια βαμβακιού έδειξαν ότι οι μέθοδοι μειωμένης κατεργασίας προκάλεσαν αύξηση της συμπίεσης του εδάφους και των ζιζανίων .αλλά και μείωση της παραγωγής. Σε επόμενη σειρά πειραμάτων οι Cavalaris and Gemtos [2,3] σε σύγκριση πέντε μεθόδων κατεργασίας σε αμειψισπορές με βαμβάκι, καλαμπόκι, ζαχαρότευτλα και σιτάρι βρήκαν αντίστοιχα αποτελέσματα ενώ βρέθηκε σημαντική αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας

Τα πειράματα έδειξαν ότι τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας εκτός αυτών που χρησιμοποιούσαν βαρύ καλλιεργητή προκάλεσαν μειωμένες αποδόσεις. Στις περισσότερες καλλιέργειες παρατηρήθηκε είτε μειωμένο φύτρωμα είτε ικανοποιητικό αρχικά φύτρωμα και εν συνεχεία καθυστέρηση στην ανάπτυξη της ρίζας που προκάλεσε καθυστέρηση στην ανάπτυξη του φυτού. Τα προβλήματα ήταν ιδιαίτερα εμφανή στο βαμβάκι όπου παρατηρήθηκε ότι πρώτα αναπτύσσεται η πασσαλώδης ρίζα και μετά αναπτύσσεται το υπέργειο μέρος. Όταν η ρίζα βρει αντίσταση καθυστερεί όλη η ανάπτυξη του φυτού. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε πειράματα με καλλιέργεια βαμβακιού σε αναχώματα [4] που αφήνουν χαλαρό έδαφος σε βάθος 0,25 μέτρων το βαμβάκι παρουσίασε ισχυρότερο ριζικό σύστημα.

Ο Uri [5] ανέφερε ότι το 1996 στις ΗΠΑ η κατεργασία συντήρησης του εδάφους εφαρμόζονταν στο 40% των εκτάσεων του Καλαμποκιού (conservation tillage). Οι Sundermaier and Reeder[6] ανέφεραν ότι στο Νοτιοδυτικό Οχάιο η εφαρμογή της κατεργασίας συντήρησης στο καλαμπόκι μειώθηκε από 51,5% το 1993 σε 44% το 1998. Στις ΗΠΑ τα τελευταία έτη έχουν αναπτυχθεί μηχανήματα για κατεργασία του εδάφους σε λωρίδες που ορίζεται ως το σύστημα που κατεργάζεται λιγότερο από το 30% της επιφάνειας του εδάφους [7]. Ο Morrison [8] έκανε μια ανασκόπηση των πειραμάτων που έγιναν στις ΗΠΑ και στο Καναδά για την εφαρμογή κατεργασίας σε λωρίδες σε σύγκριση με συμβατική κατεργασία και σε ακαλλιέργεια, σε καλλιέργειες βαμβακιού και καλαμποκιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια βελτίωση στην εγκατάσταση της φυτείας, την ανάπτυξη των φυτών και την παραγωγή στην κατεργασία σε λωρίδες έναντι της ακαλλιέργειας ενώ έναντι της συμβατικής κατεργασίας τα αποτελέσματα διέφεραν από έτος σε έτος.

Η κατεργασία σε λωρίδες παρουσιάζει πολλά από τα πλεονεκτήματα της ακαλλιέργειας χωρίς τις δυσκολίες εγκατάστασης των φυτειών και της αρχικής ανάπτυξης που φαίνεται να οδηγούν στη μείωση της χρήσης τους. Με βάση τα αποτελέσματα των ελληνικών πειραμάτων και τα αποτελέσματα της χρήσης της κατεργασίας σε λωρίδες στις ΗΠΑ έγινε προσπάθεια σχεδιασμού, κατασκευής και αξιολόγησης ενός μηχανήματος για τις ελληνικές συνθήκες. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα πρώτα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για να δοκιμαστεί η ιδέα κάτω από τις συνθήκες της χώρας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα μηχάνημα για καλλιέργεια σε λωρίδες. Με βάση των εμπειρία των πειραμάτων, τα σχεδιαστικά στοιχεία του μηχανήματος ήταν:

- Να μπορεί να αναμοχλεύει το έδαφος σε βάθος τουλάχιστον 0,25 m.

- Να ψιλοχωματίζει το έδαφος σε μια στενή λωρίδα μικρότερη των 0,30 m
- Να αφήνει το ενδιάμεσο έδαφος άθικτο.
- Αν χρειαστεί να μπορεί να προσαρμοστεί πτυχωτός δίσκος για την κοπή των φυτικών υπολειμμάτων μπροστά από τα υνιά που κάνουν την αναμόχλευση
- Να έχει τη δυνατότητα εν σειρά ανάρτησης σπαρτικών μονάδων

Δεδομένου ότι η αναμόχλευση πρέπει κατ' αρχήν να γίνει την περίοδο σποράς που το έδαφος είναι σχετικά υγρό θα πρέπει να εξασφαλιστεί η λειτουργία του εργαλείου πάνω από το κρίσιμο βάθος ώστε να διασφαλίζεται η αναμόχλευσή του και όχι η συμπίεση σε βάθος. Σύμφωνα με τις εργασίες των Spoor and Godwin [9] και των Παπαθανασίου και άλλων [10] η θέση του κρίσιμου βάθους γίνεται βαθύτερη όταν το επιφανειακό έδαφος έχει υποστεί αναμόχλευση από αβαθή υνιά. Η αρχή αυτή χρησιμοποιήθηκε κατά το σχεδιασμό του εργαλείου και έγινε συνδυασμός αβαθών και βαθέων υνιών. Τα εργαλεία τοποθετήθηκαν σε πλαίσιο όπου αν χρειαζόταν μπορούσε να προστεθεί μπροστά ένας πτυχωτός δίσκος για κοπή των φυτικών υπολειμμάτων. Ειδικά για καλλιέργεια που ακολουθεί βαμβάκι ο δίσκος είναι δύσκολο να εργαστεί καθώς τα ξυλοποιημένα υπολείμματα του βαμβακιού δύσκολα κόβονται οπότε είτε βυθίζονται στο έδαφος είτε ανυψώνουν το μηχάνημα. Στο πείραμα του 2004 η προηγούμενη καλλιέργεια ήταν σιτάρι με μικρή παραγωγή αχύρου που δεν δημιούργησε πρόβλημα στην εργασία των εργαλείων κατεργασίας του εδάφους και γι' αυτό δεν χρησιμοποιήθηκε ο πρόσθετος δίσκος. Το πλαίσιο διέθετε ειδική βάση για μεταφορά της περιστροφικής κίνησης από το δυναμοδότη του γ.ε στη φρέζα που ακολουθούσε.

Στο πλαίσιο μπορούσε να αναρτηθεί εν σειρά φρέζα στην οποία αφέθηκαν σκαπτικά εργαλεία μόνο πίσω από τα υνιά ανά 1m περίπου. Τα περιστρεφόμενα εργαλεία προκαλούσαν ψιλοχωμάτισμα του εδάφους που επέτρεπε την ικανοποιητική λειτουργία της συμβατικής σπαρτικής. Στο μέλλον πίσω από τη φρέζα μπορούν να προσαρμοστούν σπαρτικές μονάδες ώστε να επιτυγχάνεται η εγκατάσταση της φυτείας με ένα πέρασμα στο χωράφι. Η βελτίωση αυτή πρέπει να πραγματοποιηθεί καθώς θα δώσει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως τη μείωση της εργασίας και της συμπίεσης του εδάφους.

Σχήμα 1: Φωτογραφία του μηχανήματος για κατεργασία κατά λωρίδες

Το πρωτότυπο μηχάνημα κάλυπτε δύο σειρές. .(Σχήματα 1,2,3). Το μηχάνημα δοκιμάστηκε σε έδαφος πλησίον του πειραματικού καλλιέργειας για να ελεγχθεί η

εργασία του. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των αναπτυσσόμενων δυνάμεων, της απορροφώμενης ισχύος και της απαιτούμενης ενέργειας ανά στρέμμα στην έλξη και στον δυναμοδότη τόσο στα προκαταρκτικά πειράματα όσο και κατά την εγκατάσταση του πειραματικού της καλλιέργειας βαμβακιού όπου και έγινε η σύγκριση με τις άλλες κατεργασίες. Το βάθος κατεργασίας των αβαθών υνιών ήταν 0,12 m και των βαθέων 0,25 m περίπου Ο έλεγχος του βάθους επετεύχθη με τη χρήση τροχών εδάφους που τοποθετήθηκαν στο πλαίσιο. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ο οργανωμένος γεωργικός ελκυστήρας του Εργαστηρίου όπως περιγράφηκε από τους Papathanassiou et al [11]

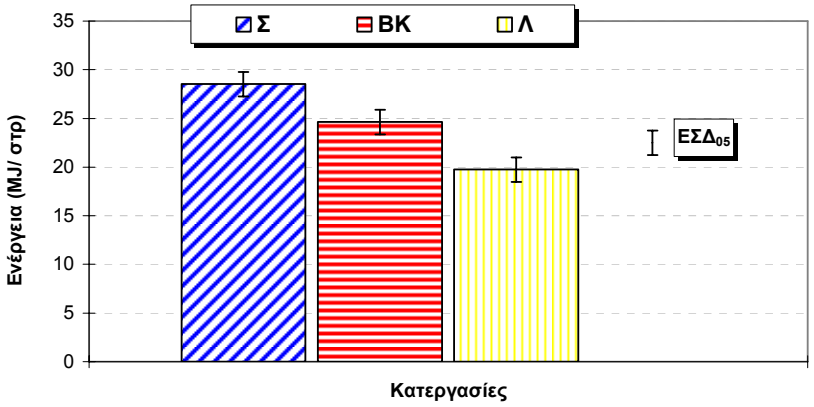
Σχήμα 2.Μηχάνημα για κατεργασία σε λωρίδες

Σχήμα 3. Κατεργασία του εδάφους σε λωρίδες

Για την αξιολόγηση της επίδρασης της κατεργασίας σε λωρίδες σε καλλιέργεια βαμβακιού εγκαταστάθηκε πείραμα αγρού. Η κατεργασία σε λωρίδες (Λ) συγκρίθηκε με

συμβατική κατεργασία (Σ) με όργωμα σε βάθος 0,28 m, και με μειωμένη κατεργασία με χρήση βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ) σε δύο περάσματα στο βάθος των 0,15 m. Για την δευτερογενή κατεργασία στη συμβατική χρησιμοποιήθηκε ένας μέσος καλλιεργητής και δύο περάσματα με δισκοσβάρνα, για την προετοιμασία της σποροκλίνης ενώ στη μειωμένη μόνο δύο περάσματα με δισκοσβάρνα. Όλες οι κατεργασίες έγιναν τον Μάιο πριν από τη σπορά, η οποία έγινε στις 7/5/04. Το πείραμα περιελάμβανε τις τρεις μεταχειρίσεις με τέσσερις επαναλήψεις σε πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες και εγκαταστάθηκε σε έναν αγρό του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο με προηγούμενη καλλιέργεια σιτάρι. Το κάθε πειρακτικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 6Χ12 m δηλαδή έξι σειρές βαμβακιού των 12 m. Κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου μετρήθηκαν ο αριθμός των φυτών που φύτρωσαν. Σε δύο εσωτερικές σειρές του κάθε πειραματικού τεμαχίου σημειώθηκαν από 10 m όπου και μετρήθηκε ο αριθμός των φυτών και η εξέλιξη του φυτρώματος. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο σημάνθηκαν από έξι φυτά στα ποία έγιναν μετρήσεις του ύψους τους κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Τέλος μετρήθηκε η απόδοση σε σύσπορο βαμβάκι με συλλογή με τα χέρια 10 m σειρών από τις δύο εσωτερικές σειρές του κάθε πειραματικού τεμαχίου. Για την εκτίμηση της χαλάρωσης που παρουσίαζε το έδαφος μετά την κατεργασία, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση στο έδαφος με χρήση ηλεκτρονικού διεισδυσιομέτρου. Το διεισδυσιόμετρο είχε κώνο με διάμετρο βάσης 12,83 mm και κατέγραφε την αντίσταση για κάθε εκατοστό βάθους. Για τις μετρήσεις ακολουθήθηκε η τυποποίηση της ASAE [7]. Για να εκτιμηθεί η χαλάρωση του εδάφους χρησιμοποιήθηκε μια πλάκα με οπές ανά 0.10 m κατά πλάτος. Η πλάκα τοποθετούνταν στην επιφάνεια του εδάφους και εξασφάλιζε σταθερό επίπεδο μέτρησης του βάθους.

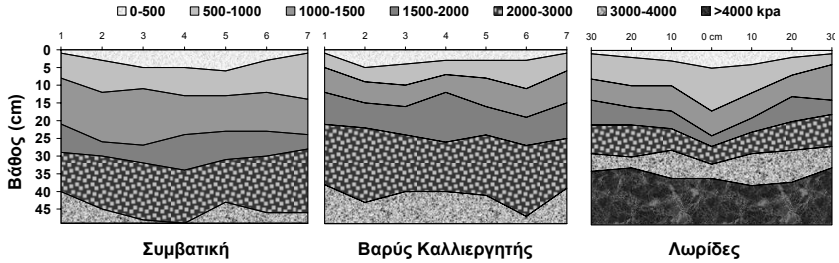
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ



Σχήμα 4: Κατανάλωση Ενέργειας για την κατεργασία του εδάφους

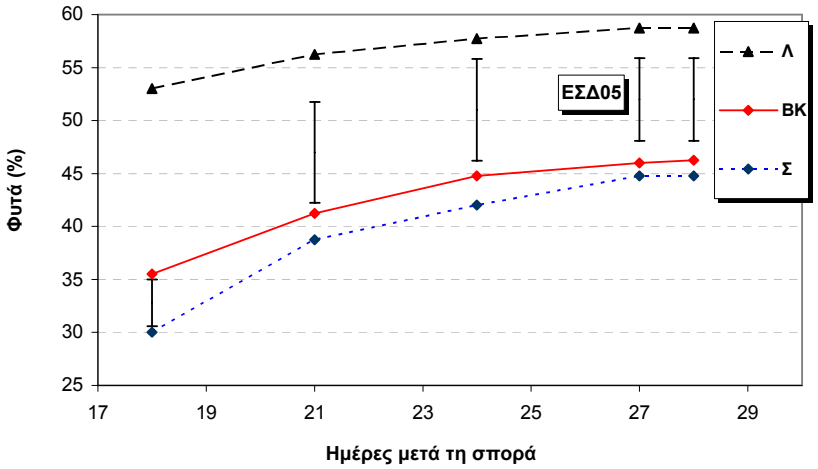
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατανάλωση ενέργειας για την προετοιμασία του εδάφους σε λωρίδες ήταν κατά 30,8% μικρότερη σχετικά με τη συμβατική κατεργασία με όργωμα και κατά 19,9 % μικρότερη από τη μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή. Οι διαφορές ήταν στατιστικώς σημαντικές για πιθανότητα 0.05. (Σχήμα 4) Η εξοικονόμηση της ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική δεδομένου ότι η μείωση της

κατανάλωσης ενέργειας σε προηγούμενα πειράματα [2,3,12] ήταν 30% για την ακαλλιέργεια (συμπεριλαμβανομένου του ζιζανιοκτόνου) και 34% για την μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή σχετικά με τη συμβατική κατεργασία [5].



Σχήμα 5. Μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση σε kPa

Η χαλάρωση του εδάφους στις τρεις μεταχειρίσεις φαίνεται στο Σχήμα 5. Η χαλάρωση του εδάφους στην κατεργασία σε λωρίδες, έφτασε στα 0.25 m περίπου κάτω από τη σειρά με επέκταση της χαλάρωσης μέχρι 0.30 m στα πλάγια. Είναι χαρακτηριστικό το μεγαλύτερο και πιο ομοιόμορφο βάθος κατεργασίας που επετεύχθη με το άροτρο.



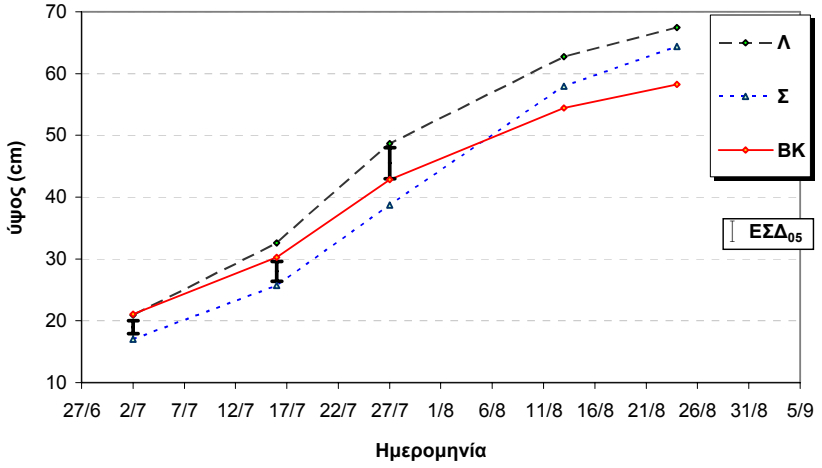
Σχήμα 6: Φύτρωμα του βαμβακιού στις τρεις μεταχειρίσεις

Στο Σχήμα 6 φαίνεται η καμπύλη του φυτρώματος του βαμβακιού στις τρεις μεταχειρίσεις. Το φύτρωμα άρχισε αρκετά νωρίς και ήδη τη 18η μέρα από τη σπορά είχε φτάσει στο 50% στην καλλιέργεια σε λωρίδες για να φτάσει μέχρι το 60% σχεδόν. Στις άλλες δύο μεταχειρίσεις το φύτρωμα ήταν σαφώς χειρότερο από την κατεργασία σε λωρίδες χωρίς διαφορά όμως μεταξύ των κατεργασιών σε όλη της επιφάνεια. Ο τελικός πληθυσμός φυτών στο στρέμμα έφτασε στο 45%. Σπάρθηκαν 25.640 σπόροι ανά στρέμμα (3,9 cm επί της γραμμής) σε όλα τα πειραματικά τεμάχια. Ακόμη και στην αρχή του φυτρώματος ο αριθμός των φυτών ήταν στατιστικώς σημαντικά υψηλότερος

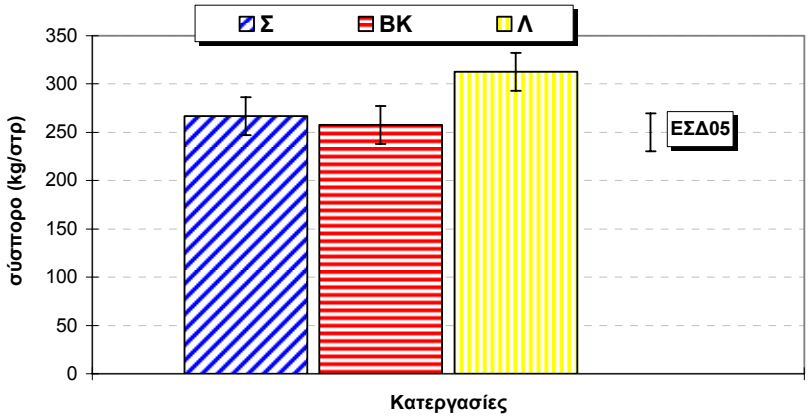
και από τις άλλες δύο μεθόδους. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η προετοιμασία της σποροκλίνης στη μέθοδο με την κατεργασία κατά λωρίδες έγινε με τη φρέζα που ήταν ενσωματωμένη και άφηνε το έδαφος καλλίτερα ψιλοχωματισμένο. Η φρέζα είναι γνωστό ότι προκαλεί καλή προετοιμασία της σποροκλίνης αν και προκαλεί συνήθως μια μικρή συμπίεση του εδάφους κάτω από το βάθος εργασίας της.
Στο Σχήμα 7 φαίνεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών βαμβακιού. Η ανάπτυξη των φυτών στην κατεργασία κατά λωρίδες ήταν στατιστικώς σημαντικά καλύτερη σε σχέση με την συμβατική, μόνο μέχρι περίπου τη μέση της βλαστικής περιόδου (27/7), ενώ στο τέλος δεν υπήρξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Είναι προφανές ότι η αναμενόμενη συμπίεση της εδάφους από τα σκαπτικά εργαλεία της φρέζας δεν επηρέασε αρνητικά την ανάπτυξη του βαμβακιού.

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται η απόδοση σε σύσπορο βαμβάκι των μεταχειρίσεων. Η απόδοση στην κατεργασία σε λωρίδες ήταν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους ενώ η ανάπτυξη των φυτών στο τέλος δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά. Η παραγωγή αυξήθηκε κατά 46 kg το στρέμμα (17%) σε σύγκριση με την συμβατική κατεργασία διαφορά στατιστικώς σημαντική και από τις δύο άλλες μεθόδους κατεργασίας. Η συνολική παραγωγή ξεπέρασε τα 300 kg/στρέμμα που θεωρείται μια σχετικά ικανοποιητική παραγωγή.

Η όλη εξέλιξη της φυτείας και η τελική απόδοση δίνουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην κατεργασία σε λωρίδες. Η επιτυχία της εγκατάστασης με κατεργασία που έγινε την άνοιξη πριν από τη σπορά πρέπει να θεωρηθεί ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με καλλιέργειες φυτοκάλυψης. Η σπορά μπορεί να γίνει άμεσα στην καλλιέργεια με καταστροφή της προηγούμενης καλλιέργειας με μη εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο. Όπως φαίνεται και από εργασίες στις ΗΠΑ [6,8] η κατεργασία σε λωρίδες μπορεί να δώσει σημαντικά πλεονεκτήματα και κυρίως να ενισχύσει μέτρα προστασίας από διάβρωση στις επικλινείς εκτάσεις της Θεσσαλίας.



Σχήμα 7: Εξέλιξη του ύψους των βαμβακοφύτων στη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.



Σχήμα 8: Απόδοση σύσπορου βαμβακιού των μεταχειρίσεων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

1. Η μέθοδος της κατεργασίας σε λωρίδες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υποκατάσταση της χρήσης του αρότρου με ικανοποιητικές αποδόσεις.
2. Η μέθοδος μειώνει τη κατανάλωση ενέργειας για τη κατεργασία του εδάφους ενώ μπορεί να πετύχει την εγκατάσταση της φυτείας με ένα πέρασμα του γεωργικού ελκυστήρα στο χωράφι.
3. Ο υπό μελέτη σχεδιασμός φαίνεται ότι λειτουργεί ικανοποιητικά με καλά αποτελέσματα στην καλλιέργεια (φύτρωμα, ανάπτυξη και παραγωγή).
4. Η χρήση βαθέων και αβαθών υνιών εξασφαλίζει την επιθυμητή χαλάρωση του εδάφους ακόμα και σε υγρές συνθήκες του εδάφους.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας εκφράζει τις ευχαριστίες του στη TERRA AE για τη παραχώρηση μιας σκαπτικής φρέζας που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη του μηχανήματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Gemtos T.A., A. Alexandrou, D. Pateras (2002) Soil Tillage, Irrigation and Fertilization Effect in Cotton Crop. Applied Engineering in Agriculture 18(3)269-276
2. Cavalaris, C.K. T.A. Gemtos (2000) Evaluation of Four Conservation Tillage Methods In The Sugar Beet Crop CIGR e-Journal

3. Cavalaris,C.K. T.A. Gemtos (2004) Evaluation Of Four Reduced Tillage Methods With Different Rotations Presented in the CIGR Conference Beijing 10-14/10/2004 Proceedings in CD
4. Stathakos, T.D., T.A. Gemtos, C.A. Tsatsarelis, and S.Galanopoulou (2005) "Evaluation of Three Cultivation Practices for Early Cotton Establishment and Improving Crop Profitability" [1:] Υπό εκτύπωση στο περιοδικό Soil and Tillage Research
5. Uri N. (1999) Conservation tillage in US Agriculture. Food Products Press New York, London, Oxford
6. Sundermaier A. and R. Reeder (2000)Fall strip tillage systems: An introduction Ohio State University Factsheet http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0507.html
7. ASAE (Αμερικανική Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών) 2003 Standards EP 291.2/98 p115 Michigan , USA.
8. Morrison J.E. (2002) Strip Tillage for "No-till" Row Crop Production, Applied Engineering in Agriculture vol 18(3) 277 – 284
9. Spoor G. and Godwin R.J 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. Journal of Agricultural Engineering Research 23 1-16.
10. Παπαθανασίου, Ι Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Θ. Γέμτος, (2000) Επανασχεδιασμός βαρέως καλλιεργητή με σκοπό τη βελτίωση της αποδιδόμενης εργασίας, Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Βόλος σελ 489 –496
11. Papathanassiou I Ch.Kavalaris Ch.Karamoutis T.A.Gemtos (2002) Design, Construction and testing of an Instrumented Tractor to Measure forces on Agricultural Implements and energy Consumption during field Work 1st HAICTA Conference Proceedings in CD
12. Καβαλάρης Χ. (2004). Εφαρμογή μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους σε συστήματα αμειψισποράς ζαχαροτεύτλων, βαμβακιού και καλαμποκιού. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΦΘΑΡΜΕΝΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ι. ΓΡΑΒΑΛΟΣ, Θ. ΓΙΑΛΑΜΑΣ, Ι. ΡΑΠΤΗΣ, Δ. ΚΑΤΕΡΗΣ

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας,
Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, Τ.Κ. 411 10, Λάρισα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γεωργικοί ελκυστήρες στην πλειοψηφία τους κατασκευάζονται ως τροχοφόροι που φέρουν ελαστικά επίσωτρα. Τα ελαστικά γενικής χρήσεως είναι αυτά που προτιμούνται από τους Έλληνες αγρότες. Όμως, το υψηλό κόστος αντικατάστασης αναγκάζει τους περισσότερους από αυτούς να επιμένουν, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, στη χρήση φθαρμένων ελαστικών. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθεί η επίπτωση που έχουν τα φθαρμένα ελαστικά στην κατανάλωση καυσίμου και στην ελκτική δύναμη του ελκυστήρα. Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε ένας γεωργικός ελκυστήρας σε άριστη τεχνική κατάσταση και τρία ζεύγη συμβατικών ελαστικών 18,4-34 με διαφορετικό βαθμό φθοράς πέλματος. Ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε διαφορετικές οριζόντιες επιφάνειες εργασίας, ενώ για τη φόρτισή του χρησιμοποιήθηκε ένας δεύτερος ελκυστήρας.

EXAMINATION OF THE CONSEQUENCES OF THE WORN TYRES ON FUEL CONSUMPTION

I. GRAVALOS, TH. GIALAMAS, I. RAPTIS, D. KATERIS

Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology,
Department of Agricultural Machinery & Irrigation, 41110, Larissa, Greece.

ABSTRACT

Agricultural tractors, in their majority, are designed as being wheeled. Greek farmers prefer the general-purpose tyres. But the high cost of their replacement makes most of them to use worn tyres for a long time. The aim of this paper is the examination of the consequences of the worn tyres on the fuel consumption and the traction force of the tractor. For the experimental process, an agricultural tractor in its best technical state and three couples of tyres 18.4-34 with different degree of wear have been used. The tractor was tested in different horizontal surfaces, while a second tractor was used for its loading.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γεωργικοί ελκυστήρες στην πλειοψηφία τους κατασκευάζονται ως τροχοφόροι, που φέρνουν ελαστικά επίσωτρα. Τα ελαστικά που χρησιμοποιούνται σήμερα στους γεωργικούς ελκυστήρες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: i) τα συμβατικά ή διαγώνιων λινών (cross ply) και ii) τα ακτινωτά (radial), που επίσης διακρίνονται σ' αυτά με αεροθάλαμο (tube type) και αυτά χωρίς αεροθάλαμο (tube less) [1].

Η βασική διαφορά ανάμεσα στα ελαστικά διαγώνιων λινών και τα ακτινωτά έγκειται στη γωνία των λινών ως προς τη νοητή φορά κύλισης του τροχού. Στα ελαστικά διαγώνιων λινών η γωνία αυτή ποικίλει από 20 έως 80º (συνήθως 40º), ενώ τα στρώματα των λινών τοποθετούνται διαγώνια μεταξύ τους, αυξάνοντας την αντοχή του ελαστικού. Στα ακτινωτά ελαστικά η γωνία αυτή είναι ακριβώς 90º και τα στρώματα των λινών εντελώς παράλληλα μεταξύ τους. Όταν η γωνία λινών και χείλους είναι ακριβώς 90º, τότε βελτιώνεται η πρόσφυση, σε βάρος όμως της αντοχής σε πλευρικά και κάθετα φορτία [2]. Η πρόσθεση της ζώνης στα ακτινωτά ελαστικά περιορίζει την τάση του σκελετού να επιμηκυνθεί, λόγω φορτίων και μεταβολών της πίεσης. Επίσης διατηρεί το πέλμα άκαμπτο, ώστε να μεγαλώνει όσο το δυνατόν η επιφάνεια πρόσφυσης του ελαστικού με το έδαφος.

Προφανώς, είναι σημαντικό να γνωρίζει κάποιος πως οι διάφοροι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα ενός ελαστικού αλληλοαναιρούνται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του. Για παράδειγμα αυξάνοντας την ακαμψία του πέλματος έχουμε μικρότερη τριβή κύλισης, δηλαδή μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου, αλλά συγχρόνως παρατηρείται αύξηση της μετάδοσης των μηχανικών δονήσεων (κραδασμών) από το έδαφος προς το σώμα του ελκυστήρα, δηλαδή μεγαλύτερη καταπόνηση του μηχανήματος και του χειριστή του [3]. Αντιθέτως, οι πολύ μαλακές γόμες (γόμες υψηλής υστέρησης) παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή τριβής. Το γεγονός αυτό αντισταθμίζεται με αυξημένη φθορά και υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας. Για το λόγο αυτό οι κατασκευαστές αναπτύσσουν διάφορες μορφές και κατηγορίες ελαστικών, ανάλογα με τον τύπο του οχήματος και τον τρόπο με τον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Στην προσπάθειά τους, να βελτιώσουν τα ελαστικά ακόμη περισσότερο, οι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει τα τελευταία χρόνια ένα νέο τύπο ελαστικών, τα ελαστικά χαμηλού προφίλ [4]. Στα κοινά ελαστικά το ύψος του πλαϊνού είναι ίσο με το 82% του πέλματος. Αντίθετα στα ελαστικά χαμηλού προφίλ το ύψος του πλαϊνού κυμαίνεται από 70% έως 30% του πέλματος. Αποτέλεσμα αυτής της μεταβολής είναι η μείωση της άνεσης και η βελτίωση άλλων χαρακτηριστικών, όπως είναι η αύξηση της κατακόρυφης ακαμψίας με αποτέλεσμα τη δυνατότητα μεταφοράς μεγαλύτερων φορτίων, η αύξηση της αντοχής των πλαϊνών και η ταχύτητα απόκρισης στις αλλαγές κατεύθυνσης πορείας [5]. Επίσης, αλλάζει η γεωμετρία του πέλματος, δηλαδή γίνεται βραχύτερο και φαρδύτερο με αποτέλεσμα τη μείωση της φθοράς, την καλύτερη πρόσφυση, τις μικρότερες θερμοκρασιακές μεταβολές [6].

Τα ελαστικά των γεωργικών ελκυστήρων έχουν ειδικά διαμορφωμένα πέλματα, ώστε να αναπτύσσεται καλή πρόσφυση με το έδαφος και ως εκ τούτου να εξασφαλίζεται η μεταφορά της ελκτικής δύναμης ακόμη και σε βαριά εδάφη. Οι προεξοχές (τακούνια) έχουν τέτοια κλίση, ώστε να μην συγκρατούν τις λάσπες και να αυτοκαθαρίζονται (με την κίνηση), ενώ στο κέντρο είναι πιο φαρδιά για να διασφαλίζουν καλύτερη πρόσφυση με το έδαφος και στρωτή οδήγηση στο δρόμο [7], [8].

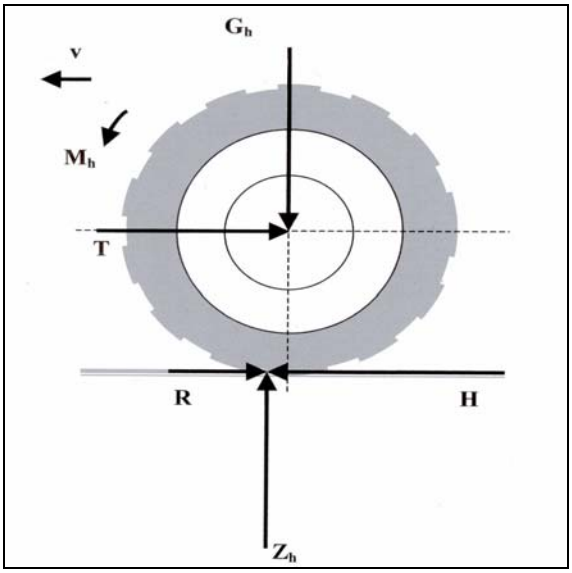
Η σωστή πίεση των ελαστικών παίζει σημαντικό ρόλο. Όταν τα ελαστικά είναι φουσκωμένα περισσότερο από το κανονικό, ο σκελετός τεντώνεται αφύσικα, χάνει την ελαστικότητά του, φθείρεται και σπάει ευκολότερα. Αντίθετα, όταν τα ελαστικά δεν είναι όσο θα πρέπει φουσκωμένα, τα πλευρά τους υποχωρούν εύκολα και τα τακούνια στρεβλώνουν, τα ελαστικά κουράζονται και φθείρονται.

Τα αντίβαρα προσθέτουν βάρος στους κινητήριους τροχούς και βελτιώνουν την ελκτική δύναμη. Συνήθως, χρειάζονται στα αργιλώδη και αμμώδη εδάφη. Επειδή δεν είναι μόνιμο εξάρτημα του ελκυστήρα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν δε φθείρονται τα ελαστικά και με γνώμονα την οικονομία στα καύσιμα [9].

Τα ελαστικά γενικής χρήσεως με τακούνια τύπου V, χωρίς ιδιαίτερα μεγάλο ύψος, είναι αυτά που προτιμούνται από τους Έλληνες αγρότες. Όμως, το υψηλό κόστος αντικατάστασης αναγκάζει τους περισσότερους από αυτούς να επιμένουν, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, στη χρήση φθαρμένων ελαστικών. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθεί η επίπτωση που έχουν τα φθαρμένα ελαστικά στην κατανάλωση καυσίμου και ευρύτερα στην ελκτική δύναμη του ελκυστήρα.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα ελαστικά των κινητήριων τροχών του γεωργικού ελκυστήρα αποτελούν τμήμα του συστήματος μεταφοράς της ισχύος από τον κινητήρα έως το άγκιστρο έλξης και επομένως, η κατάστασή τους επηρεάζει άμεσα την ελκτική δύναμη του ελκυστήρα και την κατανάλωση καυσίμου. Στο σχήμα 1 απεικονίζονται οι δυνάμεις, οι οποίες ενεργούν επί του κινητήριου τροχού στο οριζόντιο επίπεδο και έχουν σημασία από ενεργειακής πλευράς.



Σχήμα 1. Ανάλυση των δυνάμεων που ενεργούν επί του κινητήριου τροχού.

Στα συγγράμματα των Janosi και Hanamoto [10], Blumental [11], Dwyer [12], Semetko [13] και Τσατσαρέλη [14], περιγράφονται οι ελκτικές ιδιότητες των κινητήριων τροχών με βάση τους ακόλουθους δείκτες:

1. Η «δύναμη έλξης στη δοκό», δηλαδή η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης που αναπτύσσεται μεταξύ σώματος ελκυστήρα και τροχού, δίνεται από τη σχέση:

$$T = H - R$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι για να αυξηθεί η ελκτική δύναμη του ελκυστήρα πρέπει η δύναμη ώθησης να αυξάνεται, ενώ η αντίσταση κύλισης να γίνεται μικρότερη.

2. Ένας άλλος δείκτης είναι ο «δυναμικός συντελεστής έλξης»:

$$\mu = T / G_h$$

Ο δυναμικός συντελεστής έλξης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι ο τύπος των μέσων προώθησης, οι διαστάσεις και η πίεση των ελαστικών, η κατάσταση του εδάφους και άλλοι.

3. Η «ολίσθηση» είναι βασικά η ποσοστιαία έκφραση των απωλειών στην ταχύτητα κίνησης:

$$\delta = [(v_0 - v) / v_0] \cdot 100$$

Η ολίσθηση, εκτός της μείωσης της ταχύτητας, προκαλεί αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και φθορά των ελαστικών. Σύμφωνα με το NIAE (National Institute of Agricultural Engineering) της Μεγάλης Βρετανίας η ολίσθηση κατά τη διάρκεια εργασίας του ελκυστήρα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 17 %.

4. Η «αντίσταση κύλισης» προέρχεται από τις τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ τροχού και εδάφους:

$$R = f \cdot G_h$$

Μικρή αντίσταση κύλισης σημαίνει ότι διατίθεται μεγαλύτερη ισχύς στην έλξη και μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου. Ο «συντελεστής αντίστασης κύλισης (f)» εκφράζει το λόγο της απαιτούμενης ελκτικής δύναμης για την προώθηση του ελκυστήρα δια του βάρους αυτού.

5. Ένας από τους δείκτες ικανότητας μετατροπής της ροπής στρέψης, που φθάνει στον κινητήριο άξονα, σε ελκτική ισχύ είναι ο «βαθμός απόδοσης ελκτικής ισχύος»:

$$\eta_f = P_f / P_e = (T \cdot v) / (2\pi \cdot M_h \cdot n)$$

Ο βαθμός απόδοσης ελκτικής ισχύος επηρεάζεται από την ολίσθηση και την αντίσταση κύλισης. Μπορεί να προσεγγίσει τιμές πάνω από το 90 % σε σκληρές επιφάνειες αλλά στη γεωργική πράξη παρουσιάζεται μειωμένος κάτω του 50 %. Ο δείκτης αυτός θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος για να έχουμε οικονομία καυσίμου και να αποφεύγεται η φθορά των ελαστικών.

ΟΝΟΜΑΤΟΘΕΣΙΑ

G_h = Το ασκούμενο φορτίο του κινητήριου τροχού επί του εδάφους [N]. Z_h = Η αντίδραση του εδάφους στο φορτίο του κινητήριου τροχού [N]. H = Η δύναμη ώθησης, που ενεργεί στο σημείο επαφής εδάφους - τροχού [N]. T = Η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης έλξης, που αναπτύσσεται μεταξύ σώματος ελκυστήρα και τροχού [N]. R = Η αντίσταση κύλισης [N]. M_h = Η ροπή στρέψης στον ακραίο κινητήριο άξονα [N·m]. μ = Ο δυναμικός συντελεστής έλξης. δ = Η ολίσθηση [%]. v = Η πραγματική ταχύτητα κίνησης [$m \cdot s^{-1}$]. v_0 = Η θεωρητική ταχύτητα κίνησης [$m \cdot s^{-1}$]. f = Ο συντελεστής αντίστασης κύλισης. η_f = Ο βαθμός απόδοσης ελκτικής ισχύος. P_f = Η αποδιδόμενη ισχύς στην έλξη (ελκτική ισχύς) [W]. P_e = Η εισερχόμενη ισχύς στον ακραίο κινητήριο άξονα [W]. n = Ο αριθμός στροφών των κινητήριων τροχών [s^{-1}].

Στην εργασία αυτή έγινε μία προσπάθεια να διερευνηθούν οι ελκτικές ιδιότητες ελαστικών με διαφορετικό βαθμό φθοράς και η επίπτωση της φθοράς αυτών στην κατανάλωση καυσίμου. Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε ένας γεωργικός ελκυστήρας, ο οποίος ήταν σε άριστη τεχνική κατάσταση. Ο συγκεκριμένος ελκυστήρας είχε ιπποδύναμη 115 HP, συνολικό βάρος 4930 kg, με κατανομή φορτίου 2050 kg στον εμπρόσθιο άξονα και 2880 kg στον πίσω άξονα, ενώ στους πίσω τροχούς έφερε συμβατικά ελαστικά 18,4/15-34-8PR. Ειδικότερα στις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν καινούργια ελαστικά με βάθος πέλματος 35 mm, μερικώς φθαρμένα με βάθος πέλματος από 15 έως 20 mm και εντελώς φθαρμένα με βάθος πέλματος από 0 έως 5 mm. Η πίεση των ελαστικών ήταν 0.1 MPa. Ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε διαφορετικές οριζόντιες επιφάνειες εργασίας, όπως: i) έδαφος με υπολείμματα καλαμιάς ύψους 15 cm, ii) καλλιεργημένο έδαφος μέσης μηχανικής σύστασης με μειωμένη υγρασία και iii) στεγνό κατάστρωμα δημόσιου δρόμου. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου η εμπρόσθια κίνηση (κινητήριοι τροχοί παρέμειναν μόνο οι οπίσθιοι) και η ταχύτητα κίνησης του ελκυστήρα ήταν σταθερή (1.5 m/s). Για τη φόρτιση του ελκυστήρα χρησιμοποιήθηκε ένας δεύτερος ελκυστήρας μεγαλύτερης ισχύος, στον οποίο έγιναν οι αναγκαίες τροποποιήσεις. Μεταξύ των δύο ελκυστήρων τοποθετήθηκε ένα υδραυλικό δυναμόμετρο έλξης. Εκτός από τη δύναμη έλξης μετρήθηκαν ακόμη η κατανάλωση καυσίμου και η ολίσθηση. Η ολίσθηση μετρήθηκε με τη βοήθεια ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος επί του ελκυστήρα (onboard computer), το οποίο αναπαριστά με γραφικό τρόπο το ποσοστό της ολίσθησης. Για τη μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου χρησιμοποιήθηκε μία ογκομετρική συσκευή, η οποία στη βάση της έφερε μία τρίοδη χειροκίνητη βαλβίδα κατευθύνσεως. Με βάση τις ενδείξεις της ογκομετρικής συσκευής υπολογίστηκαν αρχικά η ωριαία κατανάλωση καυσίμου (M_p) και στη συνέχεια η ειδική κατανάλωση καυσίμου κατά την έλξη (m_{pt}). Τέλος, για τη μέτρηση του χρόνου ολοκλήρωσης της κάθε διαδρομής, χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

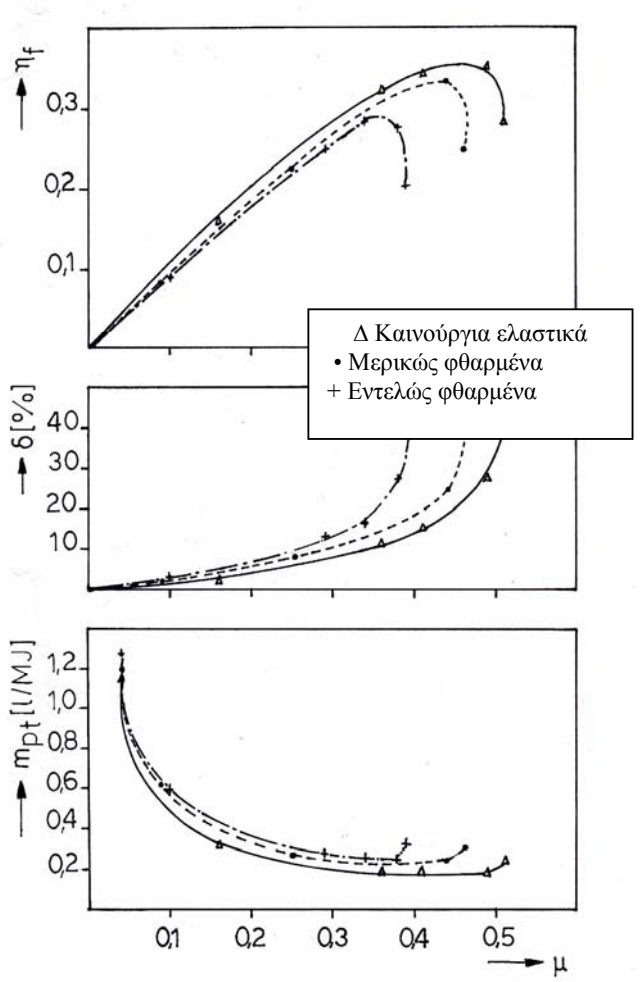
Τα αποτελέσματα δίνονται, για τις τρεις διαφορετικές επιφάνειες των δοκιμών και τα ελαστικά με το διαφορετικό βαθμό φθοράς του πέλματος, υπό τη μορφή συγκριτικών διαγραμμάτων, από τα οποία προκύπτουν η μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (m_{pt}), της ολίσθησης (δ) και του βαθμού απόδοσης ελκτικής ισχύος (η_f) σε συνάρτηση του δυναμικού συντελεστή έλξης (μ).

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα της μεταβολής των m_{pt}, δ και η_f σε συνάρτηση του μ, όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε έδαφος με υπολείμματα καλαμιάς ύψους 15 cm και ελαστικά με διαφορετικό βαθμό φθοράς του πέλματος. Είναι λοιπόν φανερό ότι στο έδαφος με τα υπολείμματα καλαμιάς, τα εντελώς φθαρμένα ελαστικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ολίσθηση για μικρότερο συντελεστή έλξης, σε σχέση με τα μερικώς φθαρμένα και τα καινούργια ελαστικά. Επομένως είναι λογικό, ο βαθμός απόδοσης ελκτικής ισχύος να εμφανίζεται υψηλότερος, όταν χρησιμοποιήθηκαν τα καινούργια ελαστικά. Παρά ταύτα, δεν παρατηρείται ιδιαίτερα μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις καμπύλες της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

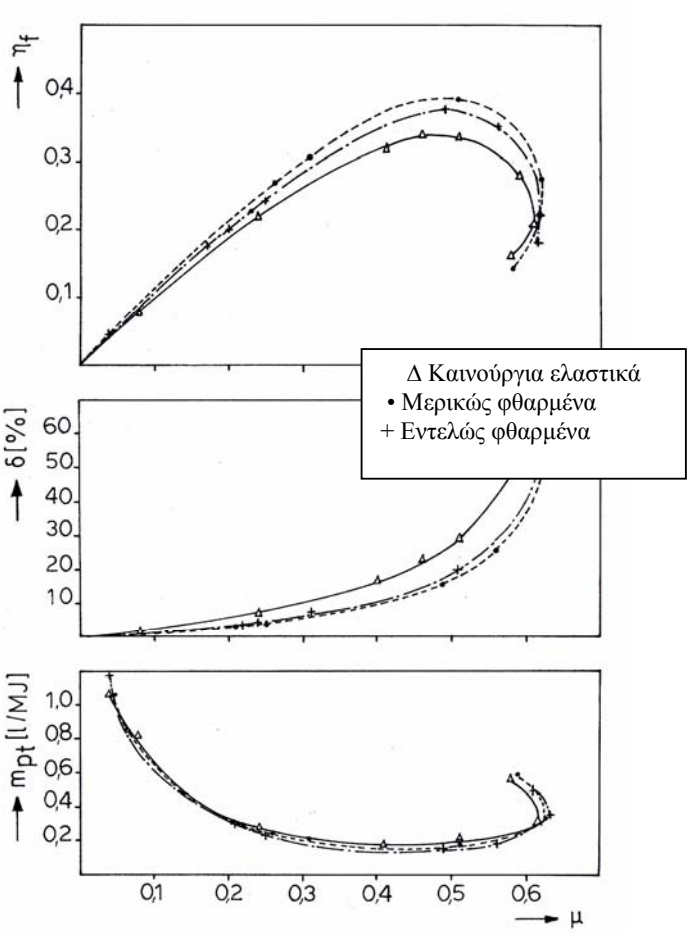
Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα της μεταβολής των m_{pt}, δ και η_f σε συνάρτηση του μ, όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε καλλιεργημένο έδαφος μέσης μηχανικής σύστασης με μειωμένη υγρασία και ελαστικά με διαφορετικό βαθμό φθοράς του πέλματος. Στη περίπτωση αυτή, ο βαθμός απόδοσης ελκτικής ισχύος εμφανίζεται βελτιωμένος για τα φθαρμένα ελαστικά σε σχέση με τα καινούργια. Επίσης, η διαφορά ανάμεσα στις καμπύλες της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου περιορίζεται

ακόμη περισσότερο και εμφανίζεται να είναι μικρότερη, όταν χρησιμοποιήθηκαν τα φθαρμένα ελαστικά.

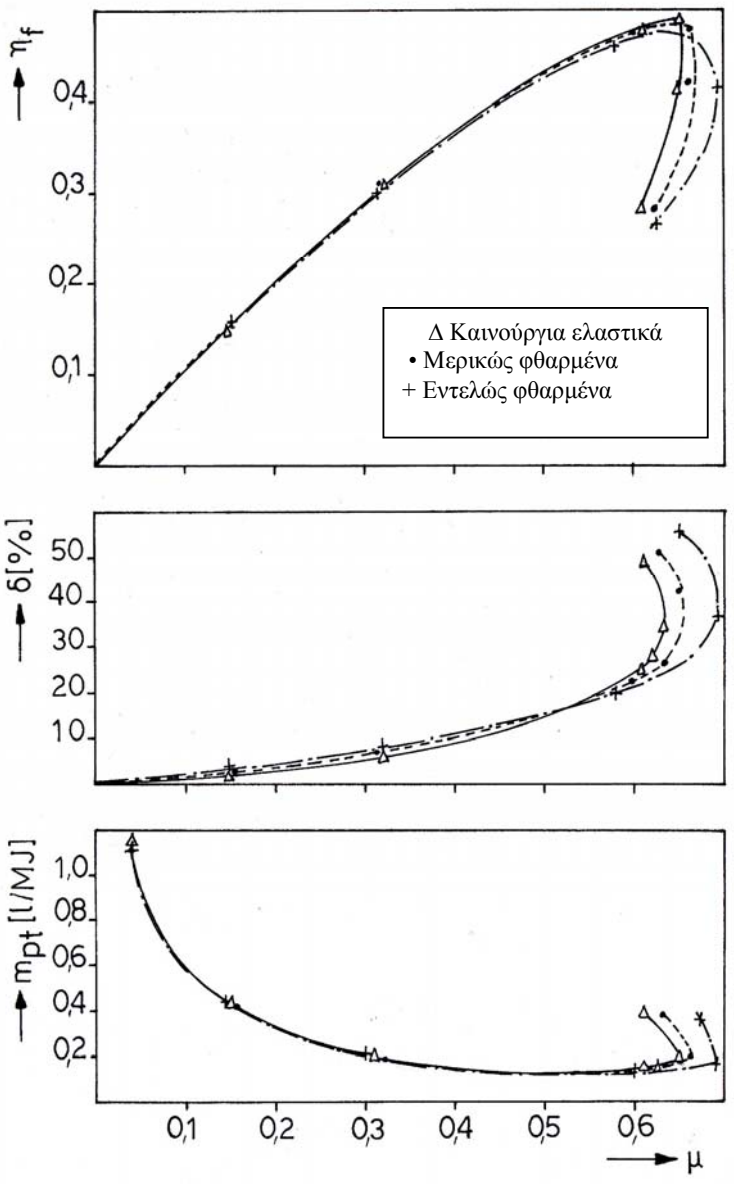
Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα της μεταβολής των m_{pt}, δ και η_f σε συνάρτηση του μ, όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε στεγνό κατάστρωμα δημόσιου δρόμου και ελαστικά με διαφορετικό βαθμό φθοράς του πέλματος. Παρατηρώντας τις καμπύλες όλων των δεικτών διαπιστώνουμε ότι οι διαφορές μεταξύ τους είναι σχεδόν δυσδιάκριτες και ειδικότερα οι καμπύλες της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σχεδόν ταυτίζονται.



Σχήμα 2. Τα συγκριτικά διαγράμματα της μεταβολής των m_{pt}, δ και η_f σε συνάρτηση του μ, όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε έδαφος με υπολείμματα καλαμιάς ύψους 15 cm και ελαστικά με διαφορετικό βαθμό φθοράς του πέλματος.



Σχήμα 3. Τα συγκριτικά διαγράμματα της μεταβολής των m_{pt}, δ και η_f σε συνάρτηση του μ, όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε καλλιεργημένο έδαφος μέσης μηχανικής σύστασης με μειωμένη υγρασία και ελαστικά με διαφορετικό βαθμό φθοράς του πέλματος.



Σχήμα 4. Τα συγκριτικά διαγράμματα της μεταβολής των m_{pt}, δ και η_f σε συνάρτηση του μ, όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε στεγνό κατάστρωμα δημόσιου δρόμου και ελαστικά με διαφορετικό βαθμό φθοράς του πέλματος.

Τέλος, από τα αποτελέσματα των δοκιμών προκύπτει, ότι ο ελκυστήρας αποδίδει μεγαλύτερη ελκτική ισχύ, όταν ο δυναμικός συντελεστής έλξης λαμβάνει τιμές μ>0.3 ενώ οι καμπύλες της κατανάλωσης καυσίμου παρουσιάζονται να είναι περισσότερο επίπεδες. Δεν λαμβάνουμε υπόψη το ακραίο τμήμα των καμπυλών, επειδή δεν έχει καμία πρακτική σημασία για τη λειτουργία του ελκυστήρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προκύπτει, ότι ο ελκυστήρας αποδίδει μεγαλύτερη ελκτική ισχύ, όταν ο δυναμικός συντελεστής έλξης λαμβάνει τιμές μ>0.3, ενώ οι καμπύλες της κατανάλωσης καυσίμου παρουσιάζονται να είναι περισσότερο επίπεδες.
2. Όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε έδαφος με υπολείμματα καλαμιάς ύψους 15 cm, τα φθαρμένα ελαστικά παρουσίασαν, όπως ήταν αναμενόμενο, χειρότερες ελκτικές ιδιότητες σε σχέση με τα καινούργια. Παρά ταύτα, οι αποκλίσεις των καμπυλών της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα σημαντικές.
3. Όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε καλλιεργημένο έδαφος μέσης μηχανικής σύστασης με μειωμένη υγρασία, τα μερικώς φθαρμένα ελαστικά παρουσίασαν καλύτερες ελκτικές ιδιότητες σε σχέση με τα καινούργια και η διαφορά ανάμεσα στις καμπύλες της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου περιορίστηκε ακόμη περισσότερο.
4. Όταν ο ελκυστήρας δοκιμάστηκε σε στεγνό κατάστρωμα δημόσιου δρόμου, οι αποκλίσεις των καμπυλών όλων των δεικτών είναι σχεδόν δυσδιάκριτες και ειδικότερα οι καμπύλες της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου ταυτίζονται σχεδόν απολύτως.
5. Επομένως, η κατανάλωση καυσίμου επηρεάζεται ελάχιστα από το διαφορετικό βαθμό φθοράς του πέλματος των ελαστικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barum Continental Ltd, 1998. *Agricultural Tyres.* Technical Data.
2. Lines, J., A., Murphy, K., 1991. The Radial Damping of Agricultural Tyres. *Journal of Terramechanics,* Vol. 28, No. 2/3, p: 229-241.
3. Keen, A., 2001. The Tyre and Suspension Characteristics of an Off Road Vehicle Determined Using a Single Wheel Tester. *Proceedings of the European Automotive Conference, EAEC,* Bratislava, p: 15-25.
4. Klabal, J., 1986. Nízkoprofilové pneumatiky v zemědělství. *Mechanizace zemědělství,* č. 11, str. 512-513.
5. Van den Akker, J., J., H., 1992. Stresses and required soil strength under terra tyres and tandem and dual wheel configurations. *Proceedings of the International Conference on Soil Compaction and Soil Management,* Tallin, Estonia, p: 23-26.
6. Continental AG, 1996. *Tyre Basics.* Technical Book, Hannover.
7. Gysi, M., Maeder, V., Weisskopf, P., 2001. Pressure distribution underneath tires of agricultural vehicles. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers,* Vol. 44, p: 1385-1389.
8. Way, T., R., Kishimoto, T., 2003. Interface pressures of a tractor drive tyre on structured and loose soils. *Biosystems Engineering,* Vol. 87, p: 109-120.
9. Way, T., R., Erbach, D., C., Bailey, A., C., Burt, E., C., Johnson, C., E., 2005. Soil displacement beneath an agricultural tractor drive tire. *Journal of Terramechanics,* Vol. 42, p: 35-46.
10. Janosi, Z., Hanamoto, B., 1961. The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soils. *Proc. 1st Int. Conf. Mechanics of Soil-Vehicle Systems,* Torino.
11. Blumenthal, R., 1972. *Technisches Handbuch Traktoren.* Veb Verlag Technik, Berlin.
12. Dwyer, M., J., 1978. Maximizing agricultural tractor performance by matching weight, tyre size and speed to the power available. *Proc. 6th Int. Conf., ISTUS,* 479-493.
13. Semetko, J., a kol., 1981. *Traktory a Automobily III.* Priroda, Bratislava.
14. Τσατσαρέλης, Κ., Α., 1997. *Γεωργικοί Ελκυστήρες.* Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΩΝ

Ταμβακίδης Στέλιος*, Κουκλίδης Χαράλαμπος, Μαρτζόπουλος Γεράσιμος,

Εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων στην Γεωργία, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, *e-mail: Tamvakidis@mail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος θέρμανσης χοιροστασίων και ειδικότερα της αίθουσας τοκετών με την χρήση Ηλιακών Συστημάτων. Στην πειραματική διάταξη χρησιμοποιείται ένα ενεργειακό Test Shell με Τοίχο Μάζας προκειμένου να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες των χοιρομητέρων ενώ για τα νεογνά δημιουργήθηκε ειδικό σχαρωτό δάπεδο με ενσωματωμένους σωλήνες που θερμαίνονται με νερό με την χρήση συστημάτων ηλιακών συλλεκτών και αποθήκευσης του θερμού νερού. Το προτεινόμενο σύστημα θέρμανσης συγκρίνεται με τα αυτά που χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς αναθρεπτήρες .

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF SOLAR SYSTEM OF HEATING OF PIG HOUSES

Tamvakidis Stelios *, Kouklidis Charalampos, Martzopoulos Gerasimos,

Laboratory of Alternative Energy Resources in Agriculture, School of Agriculture, A.U.TH., 54124 Thessaloniki, * e - mail: Tamvakidis @ mail. com

ABSTRACT

In this paper a new method of heating of pig houses and more specifically the swine nurseries with the use of Solar Heating Systems. In the proposed method is used a Test Shell with Solar Mass Wall, is used to service the heating needs of nursing sows while for the nurslings was created a special flooring (pad) with embodied heated pipes, throw a system of solar collectors and heating storage tank. The proposed solar heating system is compared with the conventional electric heating lamps.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θέρμανση των χοιροστασίων και ειδικότερα των αιθουσών τοκετού παρουσιάζει την ιδιομορφία της δημιουργίας μικροκλίματος του χώρου ανάπαυσης των νεογνών σε ότι αφορά τη θέρμανση. Οι χοίροι είναι ομοθερμικά ζώα και προσπαθούν να διατηρήσουν την θερμοκρασία του σώματός τους σταθερή στους 39° C. Η optimum θερμοκρασία που απαιτείται για τα νεογνά είναι 35 - 36° C και ελαττώνεται κατά 1° C, κάθε μέρα μέχρι και τους 25° C [1]. Αντίθετα η χοιρομητέρα που παραμένει στο ίδιο κελί τοκετού απαιτεί θερμοκρασία περιβάλλοντος 16 – 20°C [1,2,4]. Στην πειραματική διάταξη χρησιμοποιείται ένα ενεργειακό Test Shell με Τοίχο Μάζας προκειμένου να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες των χοιρομητέρων, ενώ για τα νεογνά δημιουργήθηκε ειδικό σχαρωτό δάπεδο με ενσωματωμένους σωλήνες. Τα νεογέννητα χοιρίδια καταφεύγουν στο θερμαινόμενο δάπεδο (καταφύγιο) για να αναπαυθούν. Η διάταξη συντίθεται από το σχαρωτό δάπεδο, έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, ένα αυτοσχέδιο σωληνωτό ηλιακό απορροφητή που έχει τοποθετηθεί στο διάκενο του Τοίχου Μάζας, μία δεξαμενή αποθήκευσης του θερμαντικού μέσου και μία δεύτερη δεξαμενή ‘κατανάλωσης’. Το νερό, ως μέσο μεταφοράς θερμότητας, ανακυκλοφορεί σε τρία διακριτά κυκλώματα βεβιασμένης κυκλοφορίας.

2.ΜΕΘΟΔΟΙ

Η κάλυψη των αναγκών του συστήματος σε θερμότητα, γίνεται από την παραγωγή θερμού νερού σε συνδυασμένο σύστημα τριών κλειστών κυκλωμάτων βεβιασμένης κυκλοφορίας (χρήση κυκλοφορητών). Το σύστημα συντίθεται από ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, ένα αυτοσχέδιο σωληνωτό απορροφητή και δύο δεξαμενές ζεστού νερού (200 lt & 40 lt) συνδεδεμένων εν σειρά. Ως βοηθητική πηγή ενέργειας χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρική ενέργεια.

Στην οροφή του Test Shell εγκαταστάθηκε, ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης τύπου NOVASOL πιστοποιημένος κατά ISO. Ο συλλέκτης είναι διαστάσεων 2,05 X 1,1 m, συνολικής επιφάνειας 2,26 m^{2} και έχει ειδική βάση που επιτρέπει την στήριξη του σε κλίση 30°, 45° ή 60° (καλοκαίρι, χειμώνας).

Ένας αυτοσχέδιος σωληνωτός απορροφητής έχει τοποθετηθεί κατακόρυφα, στο διάκενο του Τοίχου Μάζας. Ο απορροφητής συντίθεται από μια συστοιχία 40 παράλληλων μεταξύ τους, σωλήνων χαλκού, διαμέτρου DN15. Η συστοιχία τροφοδοτείται από έναν κατανεμητή στο κάτω άκρο της και τροφοδοτεί έναν συλλέκτη στο πάνω άκρο της. Ο αυτοσχέδιος σωληνωτός απορροφητής έχει εξωτερικές διαστάσεις 1,7 m X 1,4 m και συνολική επιφάνεια εναλλαγής 3,04 m^{2}.

Η παραγωγή του θερμού νερού, τόσο από τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη όσο και από τον αυτοσχέδιο ηλιακό απορροφητή, γίνεται στη δεξαμενή αποθήκευσης 200 lt, εντός του Test Shell, με εναλλαγή θερμότητας σε δύο διακριτούς σωληνωτούς σπειροειδείς εναλλάκτες (‘σερπαντίνες΄). Η δεξαμενή έχει αγορασθεί έτοιμη από το εμπόριο και χαρακτηρίζεται ως ‘’διπλής ενέργειας’’. Οι δεξαμενές αυτές κατασκευάζονται έχοντας ως κύρια πηγή ενέργειας, λέβητα ζεστού νερού (μέση θερμοκρασία νερού 80^{0} C) και βοηθητική πηγή ηλιακούς συλλέκτες. Λόγω της ιδιομορφίας αυτής, ο ένας εκ των δύο σωληνωτών σπειροειδών εναλλακτών έχει μικρότερο αριθμό σπειρών, άρα μικρότερη επιφάνεια εναλλαγής και συνεπώς μικρότερο βαθμό απόδοσης. Για το λόγο αυτό, έχει εγκατασταθεί μια διάταξη By Pass, μεταξύ των κυκλωμάτων του επίπεδου συλλέκτη, του αυτοσχέδιου απορροφητή και των δύο εναλλακτών, προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα της εκ περιτροπής αξιολόγησης της απόδοσης του κάθε συστήματος.

Η δεξαμενή των 200 lt χρησιμοποιείται ως δεξαμενή προθέρμανσης-αποθήκευσης νερού, που τροφοδοτεί την δεξαμενή των 40 lt και μέσω αυτής το θερμαινόμενο δάπεδο της θερμομητέτρας (Pad). Η δεξαμενή των 40 lt, αποτελεί τη δεξαμενή κατανάλωσης και έχει ενσωματωμένη ηλεκτρική αντίσταση ισχύος 1,2 kW, προκειμένου να διασφαλίζεται η συνεχής τροφοδοσία του θερμαινόμενου δαπέδου της θερμομάνας (Pad) με νερό της απαιτούμενης κάθε φορά θερμοκρασίας.
Η περιγραφή λειτουργίας του συστήματος, γίνεται στην συνέχεια για κάθε ένα από τρία κλειστά κυκλώματα.
Α. Κύκλωμα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη
Το κύκλωμα περιλαμβάνει τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, τον κυκλοφορητή (Κ1) και είναι (σε κανονική διάταξη) συνδεδεμένο με το σπειροειδή εναλλάκτη με την μικρότερη επιφάνεια εναλλαγής (δεδομένου ότι αναμένεται η θερμοκρασία του νερού του κυκλώματος να είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη του αυτοσχέδιου απορροφητή) στη δεξαμενή αποθήκευσης των 200lt.
Ένας διαφορικός θερμοστάτης, λαμβάνει ενδείξεις από δύο θερμόμετρα επαφής, ένα στην δεξαμενή αποθήκευσης των 200lt (Τ2) και ένα στην έξοδο του συλλέκτη (Τ1), και όταν η θερμοκρασία Τ1 είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη Τ2, τότε δίνεται εντολή στον κυκλοφορητή (Κ1) να εκκινήσει.
Β. Κύκλωμα αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή
Το κύκλωμα περιλαμβάνει τον αυτοσχέδιο ηλιακό απορροφητή, έναν άλλο κυκλοφορητή (Κ2) και είναι (σε κανονική διάταξη) συνδεδεμένο με το σπειροειδή εναλλάκτη με τη μεγαλύτερη επιφάνεια εναλλαγής (δεδομένου ότι αναμένεται η θερμοκρασία του νερού του κυκλώματος να είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη του ηλιακού συλλέκτη) στην δεξαμενή αποθήκευσης των 200lt.
Ένας δεύτερος διαφορικός θερμοστάτης, λαμβάνει ενδείξεις από δύο θερμόμετρα επαφής, ένα στη δεξαμενή αποθήκευσης των 200lt (Τ4) και ένα στην έξοδο του αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή (Τ3), και δίνει εντολή στον κυκλοφορητή (Κ2) να εκκινήσει όταν η θερμοκρασία Τ3 είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη Τ4.
Μπροστά από το υαλοστάσιο του τοίχου μάζας υπάρχει ένα ηλεκτροκίνητο κάλυμμα που ελέγχεται από προγραμματιζόμενο χρονοδιακόπτη προκειμένου να μην υπάρχουν απώλειες με ακτινοβολία από το τοίχο μάζας κατά τις βραδινές ώρες.
Στην συνέχεια της παρούσας έρευνας σχεδιάζεται να αξιολογηθεί η συνεισφορά στο ενεργειακό κέρδος δυο ανακλαστήρων, ενός λευκού χρώματος και ενός αλουμινίου, που θα τοποθετηθούν μπροστά από τον αυτοσχέδιο απορροφητή ηλιακής ενέργειας και σε γωνία 90^0 [3].
Γ. Κύκλωμα Δεξαμενών Αποθήκευσης - θερμαινόμενο δάπεδο της θερμομάνας (Pad)
Το κλειστό κύκλωμα συντίθεται από τη δεξαμενή προθέρμανσης-αποθήκευσης νερού των 200 lt, την δεξαμενή κατανάλωσης των 40 lt με ενσωματωμένη ηλεκτρική αντίσταση 1,2 kW, έναν τρίτο κυκλοφορητή (Κ3), μία τρίοδη βάνα ανάμειξης (Β1), μία τρίοδη βάνα διανομής (Β2) και το θερμαινόμενο δάπεδο της θερμομάνας (Pad) .
Το θερμαινόμενο δάπεδο της θερμομάνας (Pad) είναι κατασκευασμένο από φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα, μορφοποιημένα σε τραπεζοειδή διατομή και στο εσωτερικό τους έχουν τοποθετηθεί χαλκοσωλήνες, οι οποίοι περιβάλλονται από ασβεστοτσιμεντο-κονίαμα (προκειμένου να αυξηθεί η θερμοχωρητικότητα του pad).
Η ηλεκτρική αντίσταση στη δεξαμενή κατανάλωσης, διασφαλίζει την απαιτούμενη θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας του pad, σε καταστάσεις ελαττωμένης έντασης ηλιακής ακτινοβολίας.

Η διάταξη της εν σειρά σύνδεσης της δεξαμενής προθέρμανσης-αποθήκευσης και της δεξαμενής τελικής κατανάλωσης, αποσκοπεί στη μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

Η επιλογή χρησιμοποίησης μίας μόνο δεξαμενής, με δύο σωληνωτούς σπειροειδείς εναλλάκτες και ηλεκτρική αντίσταση (τριπλής ενέργειας), θα ακύρωνε ουσιαστικά το θερμικό κέρδος από τα ηλιακά συστήματα σε ημέρες με μέση ή μικρή ηλιοφάνεια (χειμερινή περίοδος). Έτσι για την περίπτωση όπου η απαιτούμενη θερμοκρασία τροφοδοσίας του pad ήταν 40,5 ^{0}C (απαίτηση θερμοκρασίας στην επιφάνεια του pad 36 ^{0}C) και η θερμοκρασία του νερού στην δεξαμενή ανέρχονταν στους 30^{0}C, αξιοποιώντας πλήρως την απόδοση των ηλιακών συστημάτων, θα ενεργοποιούνταν η ηλεκτρική αντίσταση έως ότου η θερμοκρασία ανέλθει στην επιθυμητή τιμή. Η άνοδος της θερμοκρασίας της δεξαμενής θα ενεργοποιούσε τους θερμοδιαφορικούς διακόπτες, οι οποίοι θα διέκοπταν την λειτουργία των κυκλοφορητών, ακυρώνοντας την όποια θερμική απολαβή από τα ηλιακά συστήματα. Οι θερμοδιαφορικοί διακόπτες θα έδιναν εντολή επανεκκίνησης στους κυκλοφορητές μόνο στην περίπτωση όπου η θερμοκρασία στην έξοδο του ηλιακού συλλέκτη ή/και του ηλιακού απορροφητή αντίστοιχα, ήταν μεγαλύτερη των 40,5 ^{0}C (σπάνια ή και καθόλου κατά την χειμερινή λειτουργία).

Αντίθετα, η διάταξη με την δεξαμενή προθέρμανσης-αποθήκευσης και την δεξαμενή κατανάλωσης, χρησιμοποιείται για τη μέγιστη δυνατή απολαβή της θερμικής ενέργειας από τον ηλιακό συλλέκτη ή/και τον ηλιακό απορροφητή.

Η διάταξη εκμεταλλεύεται με αυτόν τον τρόπο την όποια θερμική απόδοση των ηλιακών συστημάτων και η ηλεκτρική αντίσταση καλύπτει μόνο το έλλειμμα της θερμότητας σε περίπτωση ανεπαρκούς ηλιακής ενέργειας. Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή θερμού νερού μετράται από αναλυτή ηλεκτρικής ενέργειας (MicroVip) ο οποίος έχει τοποθετηθεί στον ηλεκτρικό πίνακα, με δυνατότητα επιλογής του χρόνου καταγραφής.

Ο κυκλοφορητής Κ3 εκκινεί από μικροαυτόματο ηλεκτρικό διακόπτη και παραμένει σε λειτουργία καθόλη την χρονική περίοδο που απαιτείται θέρμανση στο pad.

Η δεξαμενή κατανάλωσης τροφοδοτείται με προθερμασμένο νερό από την δεξαμενή αποθήκευσης. Αν η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής αποθήκευσης είναι μικρότερη των 40,5 ^{0}C, το εμβαπτισμένο θερμόμετρο (Τ5) της δεξαμενής κατανάλωσης ενεργοποιεί την ηλεκτρική αντίσταση προκειμένου η θερμοκρασία του νερού να ανέλθει στην επιθυμητή, οπότε και απενεργοποιείται.

Για την περίπτωση όπου το νερό, στην έξοδο του από τη δεξαμενή κατανάλωσης, είναι θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 40,5 ^{0}C (ημέρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, όπου η θερμοκρασία στην δεξαμενή αποθήκευσης είναι μεγαλύτερη των 40,5 ^{0}C ή βλάβη στο θερμοστάτη της τελικής δεξαμενής), και προκειμένου να προστατευθούν τα χοιρίδια, τοποθετείται τρίοδη βάνα μίξης (Β1) στην έξοδο της δεξαμενής κατανάλωσης. Αισθητήριο θερμοκρασίας (Τ6) το οποίο τοποθετείται μπροστά από την τρίοδη βάνα, αναλαμβάνει την προοδευτική λειτουργία της βάνας, ώστε να επιτυγχάνεται τροφοδοσία του pad με νερό θερμοκρασίας, όχι μεγαλύτερη από 41 ^{0}C, με ανάμειξη με το νερό εξόδου από το pad.

Τέλος τρίοδη βάνα διανομής τοποθετείται στο δίκτυο επιστροφής από το pad. Θερμοδιαφορικός θερμοστάτης αντιλαμβάνεται την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σ΄αυτή της εξόδου από το pad και αυτή της δεξαμενής αποθήκευσης. Ο θερμοστάτης ρυθμίζει την τρίοδη διανομής σε δύο δυνατές θέσεις, αυτή της τροφοδοσίας της δεξαμενής προθέρμανσης και αυτή της δεξαμενής κατανάλωσης. Έτσι όταν η θερμοκρασία Τ7 εξόδου από το pad είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία Τ8 της δεξαμενής προθέρμανσης, η τρίοδη βάνα ρυθμίζεται σε θέση τέτοια ώστε να οδηγεί το

νερό στη δεξαμενή κατανάλωσης. Στην αντίθετη περίπτωση θα οδηγεί το νερό στη δεξαμενή προθέρμανσης. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται ότι δε θα γίνεται χρήση της ηλεκτρικής αντίστασης για τη θέρμανση της συνολικής ποσότητας του νερού και των δύο δεξαμενών και συνεπώς της ακύρωσης της αποδοτικότητας των δύο ηλιακών συστημάτων (οι λόγοι αναφέρονται παραπάνω και είναι αυτοί που οδήγησαν στη συγκεκριμένη διάταξη).

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

3.1 Υπολογισμός ισχύος pad

Στη διάταξη που περιγράφεται παραπάνω χρησιμοποιείται υφιστάμενο pad. Για την διαστασιολόγηση του επιμέρους εξοπλισμού του συστήματος, έπρεπε να υπολογισθεί η θερμική ισχύς του pad.

Χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τις διαστάσεις του pad και τα υλικά από τα οποία κατασκευάστηκε υπολογίσθηκε η απαιτούμενη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας του προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές θερμοκρασίες στην επιφάνεια του.

Αναλύοντας το συνδυασμένο φαινόμενο μετάδοσης θερμότητας από το μέσο μεταφοράς στην επιφάνεια του pad, προκύπτει ότι

- Η μετάδοση θερμότητας από το μέσο μεταφοράς, στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα, γίνεται με συναγωγή.

  Η θερμοροή ανάμεσα στο ρευστό και την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα ($\boldsymbol{Q_{συν}}$) δίνεται από την σχέση :

$$\boldsymbol{Q_{συν} = \alpha_i\, 2\, \pi\, r_i\, l\, (\theta_m - \theta_{si})} \qquad (3.1)$$

Όπου

α_i – ο συντελεστής συναγωγής στο εσωτερικό του σωλήνα

r_i - η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα

l – το μήκος του σωλήνα

θ_m – η μέση θερμοκρασία του νερού

θ_{si} – η μέση θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα

π – 3,14

- Δισδιάστατη θερμική αγωγή πραγματοποιείται
  - στα τοιχώματα του σωλήνα
  - μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα και του ασβεστοτσιμεντοκονιάματος
  - μεταξύ του ασβεστοτσιμεντοκονιάματος και του εξωτερικού μεταλλικού περιβλήματος του pad

  Η θερμοροή στη δισδιάστατη θερμική αγωγή ($\boldsymbol{Q_{αγ}}$) δίνεται από την σχέση

$$\boldsymbol{Q_{αγ} = \lambda\, S\, (\theta_{se} - \theta_o)} \qquad (3.2)$$

  Όπου

  λ – η θερμική αγωγιμότητα του υλικού τοποθέτησης

  S – ο συντελεστής μορφής για πολυδιάστατη αγωγή (η σχέση δίνεται από πίνακες ανάλογα με την γεωμετρία του υλικού

  θse - η μέση θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα

  θο – η θερμοκρασία επιφάνειας της σχάρας

- Με ελεύθερη συναγωγή πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του pad και τον αέρα.

Η θερμοροή ανάμεσα στον αέρα και την εξωτερική επιφάνεια της σχάρας ($\boldsymbol{Q_{συν,\ δ\text{-}α}}$) δίνεται από την σχέση

$$\boldsymbol{Q_{συν,\ δ\text{-}α}=\alpha_δ\ A\ (\theta_o-\theta_{oo})} \qquad (3.3)$$

Όπου

$\alpha_δ=8,00 + 0,04\ (\theta_o-\theta_{oo})$ – Ο συντελεστής ελευθέρας συναγωγής επιφάνειας σχάρας – αέρα

Α - Επιφάνεια που αντιστοιχεί στο συνολικό μήκος σωλήνωσης &

θ_{oo} – Η θερμοκρασία περιβάλλοντος

Από τις παραπάνω σχέσεις καθώς και από την σχέση που υπολογίζεται η μεταδιδόμενη θερμοροή από το ρευστό

$$\boldsymbol{Q_p = m\ C_p\ (\theta_1-\theta_2)}$$

m – η παροχή μάζας του ρευστού

C_p – η θερμοχωρητικότητα στην μέση θερμοκρασία του ρευστού

θ_1 & θ_2 – οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ρευστού από το pad

υπολογίζεται η απαιτούμενη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας στο pad για τις επιθυμητές θερμοκρασίες στην εξωτερική επιφάνεια αυτού.

Για τους παραπάνω υπολογισμούς συντάχθηκε ειδικό φύλλο υπολογισμού στο οποίο εισάγονται οι σταθερές των υλικών και οι διαστάσεις του pad καθώς και η ογκομετρική παροχή του νερού. Από το φύλλο υπολογίζεται η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας (και συνεπώς η ισχύς του pad) για διαφορετικές θερμοκρασίες στην επιφάνεια του pad καθώς και για διαφορετικές θερμοκρασίες στον εσωτερικό χώρο του Test Shell. [6]

3.2 Διαστασιολόγηση αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή

Ο αυτοσχέδιος ηλιακός απορροφητής θα τοποθετηθεί στο διάκενο τοίχου μάζας. Ουσιαστικά αποτελεί διάταξη παράλληλων σωλήνων που τροφοδοτούνται στο κάτω μέρος τους από ίσης διατομής κατανεμητή και απολήγουν στο πάνω μέρος τους, σε ίσης διατομής συλλέκτη.

Για τη διαστασιολόγηση του ηλιακού απορροφητή

- Υπολογίσθηκε η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κατακόρυφη επιφάνεια για κάθε ώρα της ημέρας, μέση για κάθε μήνα, από την μέση ημερήσια ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα.
  Ο υπολογισμός έγινε με την μέθοδο των Liu & Jordan και αφού προηγουμένως υπολογίσθηκε η μέση ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία για κάθε μήνα κατά Colares – Pereira. [5]
- Αναλύθηκε το συνδυασμένο φαινόμενο μετάδοσης θερμότητας από τον αέρα του διάκενου του τοίχου μάζας προς το μέσο μεταφοράς στο εσωτερικό του σωλήνα.
  Από την ανάλυση προκύπτει ότι
  - Με ελεύθερη συναγωγή πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή και τον αέρα στο διάκενο του τοίχου μάζας. Η θερμοροή ανάμεσα στον αέρα και την εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα δίνεται από τη σχέση *(3.3)*

- Στα τοιχώματα του σωλήνα πραγματοποιείται δισδιάστατη θερμική αγωγή. Η θερμοροή στην δισδιάστατη θερμική αγωγή δίνεται από τη σχέση *(3.2)*
- Η μετάδοση θερμότητας από το μέσο μεταφοράς, στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα, γίνεται με συναγωγή. Η θερμοροή ανάμεσα στο ρευστό και την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα δίνεται από τη σχέση *(3.1)*

▪ Με ελεύθερη συναγωγή πραγματοποιείται μετάδοση θερμότητας ανάμεσα στην εξωτερική επιφάνεια του pad και τον αέρα.

Η θερμοροή ανάμεσα στον αέρα και την εξωτερική επιφάνεια της σχάρας δίνεται από την σχέση

$$Q_{συν,\ δ\text{-}α}=\alpha_{δ}\ A_{α}\ (\theta_{se}-\theta_{α})$$

Όπου

$\alpha_{δ}$ – Ο συντελεστής ελευθέρας συναγωγής εξωτερικής επιφάνειας σωλήνα – αέρα

A - Επιφάνεια που αντιστοιχεί στο συνολικό μήκος σωλήνωσης του ηλιακού απορροφητή &

θ_{se} – η μέση θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα

θα – η θερμοκρασία του αέρα στο διάκενο του τοίχου μάζας

Για τον υπολογισμό της ωριαίας θερμοκρασίας του αέρα στο διάκενο του τοίχου μάζας, για κάθε ημέρα, μέση για κάθε μήνα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα καταγραφών θερμοκρασίας του Test Shell. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες καταγραφές τόσο της θερμοκρασίας στο διάκενο του τοίχου μάζας, όσο και της εξωτερικής θερμοκρασίας, για κάθε ημέρα, ενός χρόνου. Υπολογίσθηκε η σχέση που αποτυπώνει την συσχέτιση ανάμεσα στην θερμοκρασία του τοίχου μάζας και την εξωτερική θερμοκρασία.

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση και την μέση ωριαία θερμοκρασία για κάθε ημέρα, μέση για κάθε μήνα, όπως προκύπτει από μετρήσεις δεκαετίας, υπολογίσθηκε η ωριαία θερμοκρασία στο εσωτερικό του τοίχου μάζας, για κάθε ημέρα, μέση για κάθε μήνα.

▪ Υπολογίσθηκε το ενεργειακό ισοζύγιο στον αυτοσχέδιο απορροφητή με παράλληλο υπολογισμό του συντελεστή θερμικής απολαβής του συλλέκτη, του διορθωτικού συντελεστή απορροφητή-εναλλάκτη και του διορθωτικού συντελεστή (τα)/(τα)n.

Βάση των παραπάνω σχέσεων, συντάχθηκε ειδικό φύλλο υπολογισμού από το οποίο υπολογίζεται η ωριαία ενεργειακή απόδοση του αυτοσχέδιου ηλιακού απορροφητή, για κάθε ώρα της ημέρας, μέσης για κάθε μήνα, για την χρονική περίοδο Νοεμβρίου – Απριλίου, προκειμένου για την θέρμανση νερού χρήσης στο pad. [5,6]

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

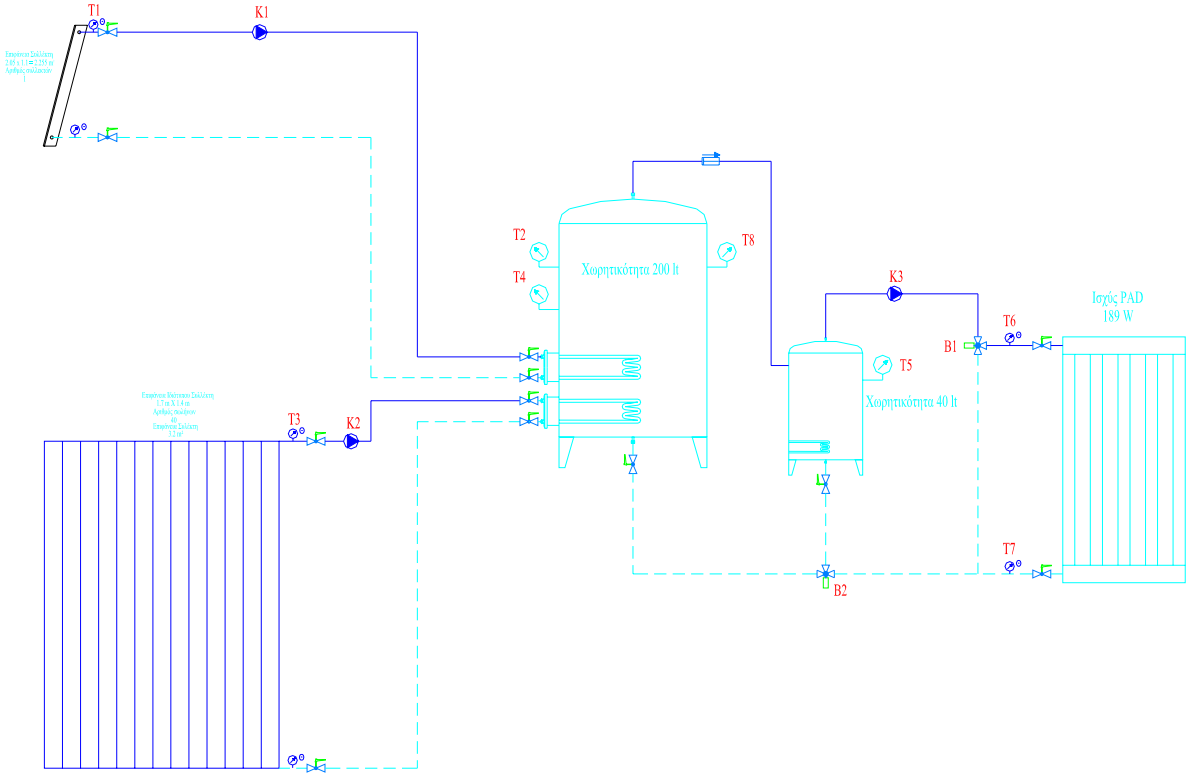
Κατά την πρώτη φάση λειτουργίας του συστήματος (20 – 30/4/2005) από τα πρώτα αποτελέσματα που επεξεργαστήκαμε προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Η ενδοδαπέδια θέρμανση πλεονεκτεί της συμβατικής με λάμπα υπέρυθρης ακτινοβολίας επειδή παρουσιάζει μικρότερες διακυμάνσεις καθώς επηρεάζεται λιγότερο από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος
- Η ορθογωνική διάταξη του δαπέδου προσφέρει πιο άνετο καταφύγιο για τα νεογνά, λόγω του σχήματος, σε σχέση με το κυκλικό γύρω από την λάμπα, όπως ορίζεται νοητά από τις ισόθερμες, για την δημιουργία «ζώνης άνεσης» [1]
- Η ρύθμιση της θερμοκρασίας των καταφυγίων με το προτεινόμενο σύστημα είναι εύκολη και ακριβής σε αντίθεση με τους συμβατικούς τρόπους όπου η ρύθμιση γίνεται κατ'εκτίμηση και εξαρτάται από την απόσταση της λάμπας από το καταφύγιο και την θερμοκρασία του χώρου
- Η κατανάλωση ενέργειας με το προτεινόμενο σύστημα αναμένεται να είναι πολύ μικρότερη από αυτή με τους ηλεκτρικούς αναθρεπτήρες. Επιπλέον κάθε μείωση της θερμοκρασίας, ανάλογα με την ηλικία των χοιριδίων προϋποθέτει και μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που δεν συμβαίνει με τις λάμπες που έχουν σταθερή κατανάλωση

Τέλος, σημειώνεται ότι η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη και αναμένεται να προκύψουν αξιόλογα και ακριβή συμπεράσματα σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας στις αίθουσες τοκετών των χοιροστασίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μαρτζόπουλος Γ. 1985. Θέρμανση αίθουσας τοκετών χοιροστασίου με ηλιακή ενέργεια. Πρακτικά Δεύτερου Εθνικού Συνεδρίου στις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, ΙΗΕ, Θεσσαλονίκη
2. M.J.Milanuk, J.A.DeShazer, D.D.Schutle. 1989. Performance comparisons of naturally- and mechanically- ventilated solar-assisted swine nurseries. Transactions of the ASAE
3. T.J.Siebenmorgen, A.C.Dale, H.W.Jones 1986. Trombe wall solar heating system augmented with planar reflectors. Transactions of the ASAE
4. M.A.Diesch, D.P.Froelich. 1988. Production and environmental simulations in livestock housing. Transactions of the ASAE
5. Βαζαίος Η. Ε 1990. Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας, Υπολογισμός και σχεδίαση συστημάτων
6. VDI-WARMEATLAS .1991. Έκτη έκδοση. Μετάδοση θερμότητας, Τεχνοεκδοτική



Σχ.1 Διάγραμμα Ροής Συνδυασμένου Συστήματος Παραγωγής Θερμού νερού με Αξιοποίηση Ηλιακής Ενέργειας

Βελτίωση της αποδοτικότητας παθητικού ηλιακού συστήματος στα θερμοκήπια με εμπλουτισμό CO_2

Βαφειάδης Δ., Κωτσόπουλος Θ., Νικήτα- Μαρτζοπούλου Χ.
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54006 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή διερευνά τη δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης του ηλιακού παθητικού συστήματος με πλαστικούς σωλήνες με νερό σε ένα θερμοκήπιο που εμπλουτίζεται με CO_2. Η αυξημένη συγκέντρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου επιτρέπει την καλλιέργεια φυτών σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις κανονικές, με αποτέλεσμα το παθητικό ηλιακό σύστημα να συλλέγει περισσότερη ενέργεια. Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι ο εμπλουτισμός με CO_2 συμβάλλει στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Οι διαφορές στις θερμοκρασίες του αέρα, του εδάφους και του νερού είναι εμφανείς ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επιπλέον τα φυτά στο πειραματικό θερμοκήπιο παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη και μεγαλύτερη απόδοση.

The efficiency improvement of a passive solar system in the greenhouses with CO_2 enrichment

Vafiadis, D., Kotsopoulos, Th., Nikita- Martzopoulou, Ch.
Department of Hydraulics, soil science and Agricultural Engineering
School of Agriculture, Aristotle University,
54006 Thessaloniki, Greece.

ABSTRACT

This work investigates the possibility of improvement of a solar passive system with plastic pipes filled by water in a greenhouse enriched with CO_2. Increased CO_2 concentration in the greenhouse atmosphere allows the plants grow in temperatures higher than common, so as the passive solar system to collect more energy. The result of this research is that the CO_2 enrichment contributes in the better exploitation of solar energy. The differences in temperatures of air, soil and water are obvious particularly during the night. Moreover the plants in the experimental greenhouse presented better growth and productivity.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα καθορίζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Σε περιοχές με ήπιο χειμώνα, χωρίς παγετούς , είναι συγκεντρωμένα τα περισσότερα θερμοκήπια, γιατί μειώνονται σημαντικά οι ανάγκες σε θέρμανση. Τέτοιες περιοχές είναι η Κρήτη, η Νοτιοδυτική Πελοπόννησος, η Αττική, οι Κυκλάδες και οι παραθαλάσσιες περιοχές της Κεντρικής Μακεδονίας. Στη Βόρεια Ελλάδα βρίσκεται εγκατεστημένο το 24,3 % των συνολικών θερμοκηπίων της χώρας από τα οποία το 18,5% στην Κεντρική Μακεδονία [1]. Το συγκριτικό πλεονέκτημα της Κεντρικής Μακεδονίας είναι η γεωγραφική της θέση καθώς, είτε μέσω της Εγνατίας οδού και του λιμανιού της Ηγουμενίτσας είτε οδικώς από τις χώρες της πρώην Γιουγκοσλαβίας, τα θερμοκηπιακά προϊόντα μπορούν να εξάγονται στις μεγάλες λαχαναγορές τις Κεντρικής Ευρώπης ευκολότερα από ό,τι τα προϊόντα που παράγονται στη Νότια Ελλάδα. Η σημερινή κατάσταση είναι τέτοια που όχι μόνο δεν γίνονται εξαγωγές προϊόντων της Κεντρικής Μακεδονίας, αλλά δεν καλύπτεται ούτε η ζήτηση των τοπικών αγορών. Το αποτέλεσμα είναι να εισάγονται μεγάλες ποσότητες θερμοκηπιακών προϊόντων, ακόμη και από χώρες της Βόρειας Ευρώπης (Ολλανδία), σε πολύ υψηλές τιμές. Για να αλλάξει αυτή η κατάσταση θα πρέπει να δημιουργηθούν πολλές νέες θερμοκηπιακές μονάδες που να λειτουργούν πιο αποδοτικά και με μικρότερο ενεργειακό κόστος παραγωγής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με :

1.) Την κατασκευή σύγχρονων -τυποποιημένων θερμοκηπίων που να φέρουν εξοπλισμούς ελέγχου περιβάλλοντος (τεχνητό φωτισμό, εμπλουτισμό με CO_2).

2.) Την ελαχιστοποίηση της χρήσης συμβατικών καυσίμων κατά τη διάρκεια των ψυχρών περιόδων του έτους.

3.) Το συνδυασμό των ανωτέρω.

Ο περιορισμός της χρήσης συμβατικών καυσίμων επιτυγχάνεται με δυο τρόπους:

α.) Τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπου το κόστος της πρώτης ύλης για την παραγωγή θερμότητας είναι συγκριτικά πολύ χαμηλό (π.χ. καύση βιομάζας, γεωθερμική ενέργεια, ηλιακά παθητικά συστήματα).

β.) Με συστήματα εξοικονόμησης και διατήρησης της ενέργειας.

Ένας από τους επικρατέστερους τρόπους αποκατάστασης συμβατικών καυσίμων στα θερμοκήπια είναι η εγκατάσταση πλαστικών σωλήνων με νερό. Πρόκειται για ένα ηλιακό παθητικό σύστημα που μπορεί και εκμεταλλεύεται τόσο την άμεση όσο και την έμμεση ακτινοβολία. Οι σωλήνες αποτελούνται συνήθως από εύκαμπτο λεπτό διαφανές πολυαιθυλένιο και τοποθετούνται κατά μήκος των σειρών των φυτών, πάνω σε πλαστικό εδαφοκάλυψης χρώματος μαύρου, το οποίο ενισχύει την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η διάμετρος των σωλήνων κυμαίνεται συνήθως από 0,1 ως 0,4 m και συνιστάται να καλύπτουν το 35-40% της επιφάνειας του θερμοκηπίου.

Από πολυετή πειράματα που έγιναν κυρίως σε μεσογειακές χώρες προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα, [2]-[9]:

- Οι θερμοκρασίες του αέρα των θερμοκηπίων με το ηλιακό παθητικό σύστημα ήταν κατά 2 ^{0}C ως 8 ^{0} C υψηλότερες από ό,τι σε αντίστοιχα θερμοκήπια - μάρτυρες.
- Γίνεται ομαλοποίηση τυχόν έντονων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας σ' ένα θερμοκήπιο.
- Υπάρχει η δυνατότητα αντιπαγετικής προστασίας.
- Είναι δυνατή η επέκταση της καλλιεργητικής περιόδου για αρκετές ημέρες, ανάλογα με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, χωρίς να απαιτείται η χρήση συμβατικών καυσίμων.

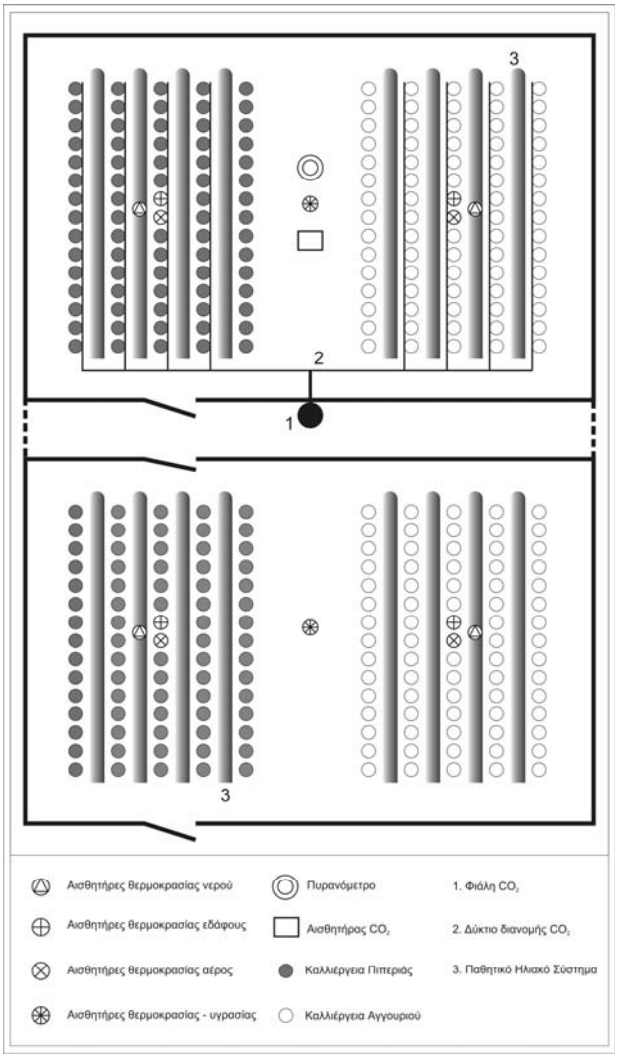
2.ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ένας τρόπος για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος ιδιαίτερα την άνοιξη και το φθινόπωρο, είναι ο εμπλουτισμός των θερμοκηπίων με CO_2 .Κατά τη διάρκεια των δυο αυτών εποχών του έτους υπάρχουν πολλές ημέρες όπου οι θερμοκρασίες μέσα στο θερμοκήπιο είναι υψηλότερες από 23 ^{0}C την ημέρα και χαμηλότερες από 16 ^{0}C κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό συνεπάγεται την αναγκαιότητα δροσισμού των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της ημέρας και θέρμανσης κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθώς τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά στα θερμοκήπια (C3) έχουν άριστες θερμοκρασίες ανάπτυξης ημέρας τους 23 ^{0}C και νύχτας τους 16 ^{0}C. Όταν όμως η συγκέντρωση του CO_2 στον αέρα του θερμοκηπίου βρίσκεται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα από τα κανονικά τότε τα φυτά αναπτύσσονται κανονικά μέχρι και τους 30 ^{0}C -32 ^{0}C. Το γεγονός αυτό παράλληλα με την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας από τη μη χρήση του συστήματος δροσισμού, επιτρέπει στο ηλιακό παθητικό σύστημα να συλλέγει πολύ περισσότερη ενέργεια. Η ενέργεια αυτή αποδίδεται κατά τη διάρκεια της νύχτας περιορίζοντας έτσι τη χρήση του συστήματος θέρμανσης με συμβατικά καύσιμα. Επισημαίνεται ότι το ενεργειακό κόστος, κατά τη διάρκεια των ψυχρών περιόδων του έτους, μπορεί να φθάσει μέχρι και το 80% του συνολικού κόστους παραγωγής μιας θερμοκηπιακής μονάδας. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται στις τιμές των προϊόντων όπου οι τιμές πώλησης σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι και 10πλάσιες κατά τη διάρκεια του χειμώνα από ότι το καλοκαίρι. Έτσι η οποιαδήποτε προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας έχει άμεση θετική επίδραση τόσο στην δυνατότητα παραγωγής, όσο και στην τιμή των θερμοκηπιακών προϊόντων.

3.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε το Φθινόπωρο του 2004 σε θερμοκήπιο του Κέντρου Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών, (Κ.Ε.Γ.Κ.) στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ.. Πρόκειται για ένα τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο έκτασης 308 m^2 με υλικό κάλυψης το πολυαιθυλένιο. Για το σκοπό του πειράματος το θερμοκήπιο χωρίστηκε σε δύο ίσα τμήματα 140 m^2 με ενδιάμεσο διαχωριστικό τμήμα. Σε κάθε τμήμα τοποθετήθηκαν 75 φυτά πιπεριάς και 75 φυτά αγγουριάς. Το έδαφος όλου του θερμοκηπίου καλύφτηκε με μαύρο υδατοδιαπερατό πλαστικό εδαφοκάλυψης. Κατά μήκος των σειρών των φυτών τοποθετήθηκαν σωλήνες διαφανούς πολυαιθυλενίου με νερό, περιμέτρου 120 cm. Το συνολικό μήκος των σωλήνων για κάθε τμήμα ήταν 64 m, και ο όγκος του νερού 7331 m^3. Κάθε σωλήνας περιείχε 15gr πενταένυδρου θειικού χαλκού ($CuSO_4.5H_2O$) για την αποφυγή της ανάπτυξης μικροφυκών. Ο εμπλουτισμός με CO_2 γινόταν στο πειραματικό τμήμα 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. Το CO_2 προερχόταν από φιάλη που υπήρχε στο διαχωριστικό τμήμα. Ένας εκτονωτής πίεσης βοηθούσε την ομαλή ροή του αερίου καθώς αυτό βρισκόταν υπό πίεση σε υγρή μορφή. Για τον έλεγχο και την καταγραφή των δεδομένων σε κάθε τμήμα υπήρχαν 7 αισθητήρες θερμοκρασίας. Από αυτούς 3 κατέγραφαν τη θερμοκρασία του αέρα, 2 του εδάφους και 2 του νερού των σωλήνων.
Σε κάθε τμήμα είχε επίσης τοποθετηθεί και ένα υγρασιόμετρο. Στο πειραματικό τμήμα τοποθετήθηκε επιπλέον ένας αισθητήρας CO_2 και ένα πυρανόμετρο (σχήμα 1). Έξω από το θερμοκήπιο λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός. Η συλλογή των μετρήσεων έγινε σε καταγραφικό δεδομένων που είναι απευθείας συνδεδεμένο με υπολογιστή. Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες θερμοκρασίας καταγράφονταν ανά 10 λεπτά, του πυρανόμετρου ανά 5 λεπτά, του αισθητήρα CO_2 ανά 1 λεπτό και του υγρασιόμετρου

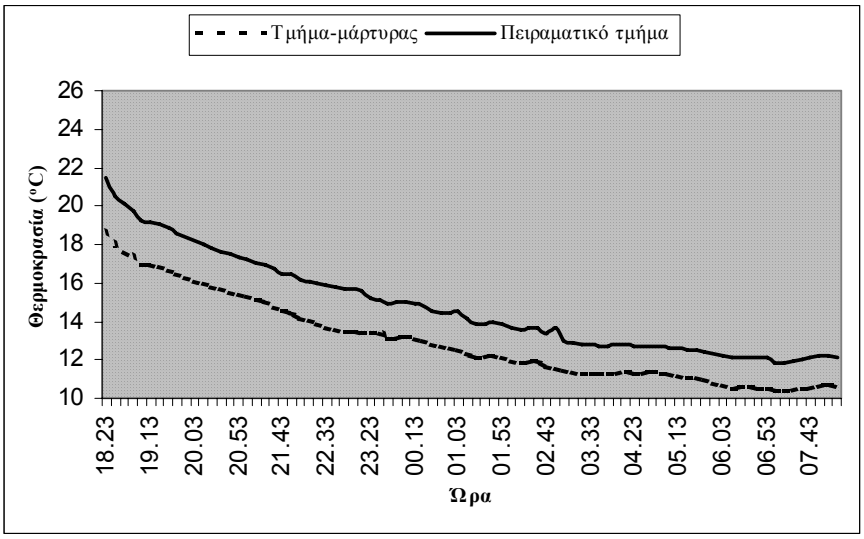
ανά 3 λεπτά. Το πρόγραμμα του υπολογιστή έδινε τη δυνατότητα παρακολούθησης των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Η διαδικασία της καλλιέργειας των φυτών ήταν η ίδια και στα δύο θερμοκήπια. Η θερμοκρασία έναρξης του αερισμού του πειραματικού τμήματος ήταν οι 30 με 32 ^{O}C , ενώ του τμήματος μάρτυρα οι 23 ^{O}C. Όταν η θερμοκρασία στο πειραματικό τμήμα υπερέβαινε τους 23 ^{O}C γινόταν εμπλουτισμός, με σκοπό τη διατήρηση μιας μέσης συγκέντρωσης του CO_2 3 φορές υψηλότερη (1000 ppm) από τα κανονικά επίπεδα (350 ppm).



Σχήμα 1. Κάτοψη του θερμοκηπίου

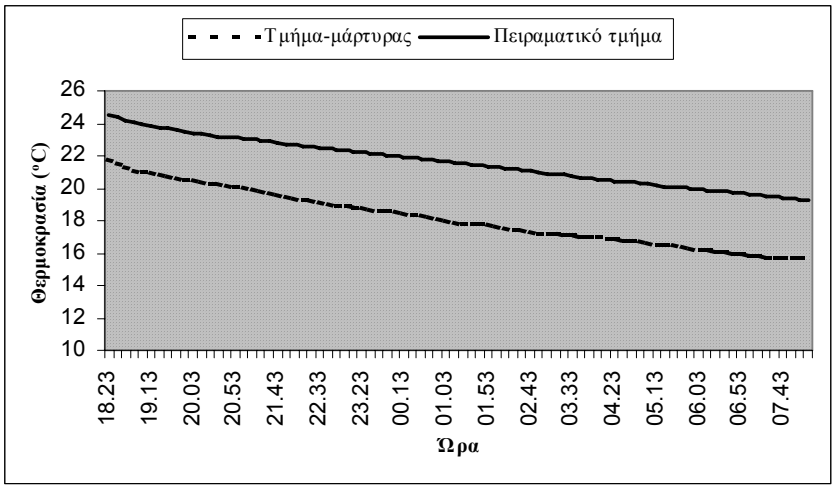
4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο κυριότερος παράγοντας που επηρέασε τη διαφοροποίηση των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου στα ποσά της ενέργειας που συλλέγονταν από τους πλαστικούς σωλήνες, ήταν η συνολική χρονική περίοδος κατά την οποία τα παράθυρα αερισμού παρέμειναν περισσότερη ώρα κλειστά στο πειραματικό τμήμα σε σχέση με τα παράθυρα αερισμού στο τμήμα μάρτυρας. Η κύρια φάση του πειράματος διεξήχθη από 17.10.2004 ως 20.11.2004. Στην περίοδο αυτή η μικρότερη χρονική διάρκεια κατά την οποία τα παράθυρα στο πειραματικό τμήμα παρέμειναν περισσότερη ώρα κλειστά ήταν 3ώρες και η μεγαλύτερη χρονική διάρκεια 8 ώρες, για δύο συγκεκριμένες μέρες. Για τις υπόλοιπες μέρες η χρονική αυτή περίοδος κυμαινόταν μεταξύ των δύο αυτών τιμών. Στο σχήμα 2α παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των θερμοκρασιών του αέρα στα δύο τμήματα από τη δύση του ηλίου στις 5 Νοεμβρίου μέχρι την ανατολή του ηλίου στις 6 Νοεμβρίου (ενδεικτική νύχτα). Κατά τη διάρκεια της προηγούμενης ημέρας (5/11) τα παράθυρα στο πειραματικό τμήμα παρέμειναν περισσότερη ώρα κλειστά κατά 6 ώρες και 50 λεπτά από ότι στο τμήμα μάρτυρας. Όπως προκύπτει από το σχήμα 2α, η θερμοκρασία στο πειραματικό τμήμα έπεσε κάτω από τους 16 ^{0}C στις 22:23, ενώ στο τμήμα μάρτυρας στις 20:13, δηλαδή κατά 2 ώρες και 10 λεπτά νωρίτερα. Επίσης η θερμοκρασία στο πειραματικό τμήμα έπεσε κάτω από τους 12 ^{0}C (που αποτελεί μια κρίσιμη για τα φυτά θερμοκρασία), στις 7:24 και στο τμήμα μάρτυρας στις 2:42, δηλαδή κατά 4 ώρες και 42 λεπτά νωρίτερα.

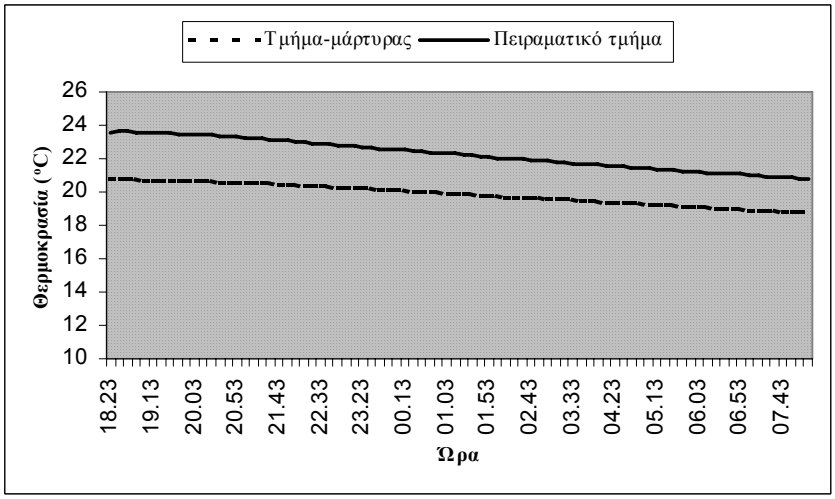


Σχήμα 2α. Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα των δύο τμημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Στα σχήματα 2β και 2γ παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των θερμοκρασιών του νερού των σωλήνων και του εδάφους αντίστοιχα, στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ίδιας νύχτας.



Σχήμα 2β. Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του νερού των σωλήνων των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 2γ. Διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του εδάφους των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Από την ανάλυση των διαφοροποιήσεων των θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια των ημερήσιων κύκλων όλης της πειραματικής περιόδου εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η διαφορά των θερμοκρασιών του αέρα μεταξύ των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας δεν υπερέβαινε τον 1 ^{O}C όταν τα παράθυρα αερισμού στο

πειραματικό τμήμα την προηγούμενη ημέρα παρέμεναν λιγότερο από 4 ώρες κλειστά σε σχέση με τα παράθυρα του τμήματος μάρτυρα.
- Η θερμοκρασία του αέρα του τμήματος μάρτυρα ακολουθούσε πιο έντονα τη μεταβολή της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα.
- Η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο τμημάτων τόσο του εδάφους όσο και του νερού των σωλήνων δεν μηδενίσθηκε ποτέ καθ' όλη τη διάρκεια του πειραματικού κύκλου.
- Σύγκληση της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ των δύο τμημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας παρουσιαζόταν μόνο όταν υπήρχε απότομη πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας σε επίπεδα κάτω των 10 ^{O}C.

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων προέκυψε ότι ο εμπλουτισμός με CO_2 συμβάλλει στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας από το ηλιακό παθητικό σύστημα των σωλήνων πολυαιθυλενίου με νερό. Η διατήρηση υψηλών επιπέδων CO_2 με εμπλουτισμό μείωσε τις ανάγκες αερισμού του πειραματικού θερμοκηπίου από 3 ως 8 ώρες ανά ημέρα συμβάλλοντας έτσι στη δέσμευση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας, στις διαφορές των θερμοκρασιών του αέρα, του εδάφους και του νερού των σωλήνων μεταξύ των δύο θερμοκηπίων. Τα φυτά στο πειραματικό θερμοκήπιο απορροφούσαν έντονα το CO_2 και παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη σε σύγκριση με τα φυτά στο θερμοκήπιο-μάρτυρα, παρά το γεγονός ότι αναπτύσσονταν σε υψηλότερες από τα κανονικά επίπεδα θερμοκρασίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Υπουργείο Γεωργίας. 2001. Δ/νση Αγροτικής πολιτικής & Τεκμηρίωσης, Τμήμα Εισοδηματικής Πολιτικής, Ακαθάριστη Αξία Γεωργικής Παραγωγής. Αθήνα.
2. Jelinkova H. 1988. The Czechoslovak experience with passive solar system in greenhouses. Proc. of FAO CNRE Workshop, Adana, Turkey, Vol. 21: 18-20.
3. Mougou A. and Verlodt H. 1989. Use of passive solar heating system to improve greenhouse bioclimate. In: von Zabeltitz C. (ed.), Greenhouse heating with solar energy. REUR technical series, 1/Fao CNRE Study No 1, Rome 1987, pp58-64.
4. Baitorun N. 1989. Investigation of the effect of solar heating systems in greenhouses. In: von Zabeltitz C. (ed.), Passive solar heating of greenhouses with water filled polyethylene tubes. FAO-Regional Office for Europe, pp65-68.
5. Medany M. A. and Abou-Hadid A. F., 1989. Studies on the heat requirement of sweet pepper plants grown under plastic houses in Egypt. Acta Hort. 287: 255-260.
6. Grafiadellis M., Spanomitsios G., and Mattas K., 1990. Recent developments introduced in the passive solar system for heating greenhouses. Acta Hort., 263:111-119.
7. Segal 1990b. Passive solar heating of greenhouses utilizing water tubes. Proc. Int. Sem. And British-Israel Workshop on Greenhouse Technology. Bet-Dagan, Aug., 1990.
8. 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.
9. Photiades I. 1994. Heating plastic greenhouses with a solar passive water-sleeve system. Ministry of Agriculture, Natural Resourses and the Environment, Agriculture Research Institute. Nicosia. Report No. 62.

ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΩΝ

Χρυσοβαλάντου Λαμνάτου*, Γεώργιος Παπαδάκης[1], Στυλιανός Ροζάκης[2]

*[1]Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, [2]Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας & Ανάπτυξης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αφορά τη μαθηματική προσομοίωση ενός συστήματος αφαλάτωσης ηλιακών αποστακτήρων. Για τη μαθηματική προσομοίωση βασιστήκαμε στα ενεργειακά ισοζύγια του αποστακτήρα και καταλήξαμε σε σύστημα εξισώσεων με αγνώστους τη θερμοκρασία του νερού της βάσης και του καλύμματος του αποστακτήρα. Χρησιμοποιώντας ωριαία κλιματικά δεδομένα της Αθήνας του έτους 1985, βρέθηκε ότι η παραγωγή όλου του έτους είναι 1,370 kg/m^2, ενώ το κόστος του νερού κυμαίνεται από 10.41 ως 12.46 €/m^3 εξαρτώμενο από διάφορους παράγοντες όπως το κόστος της γης και το κόστος των αποστακτήρων.

INVESTIGATION OF A SOLAR STILL DESALINATION SYSTEM

Chrysovalantou Lamnatou*, George Papadakis[1], Stylianos Rozakis[2]

*[1]Dept. of Natural Resources & Agricultural Engineering, [2]Dept. of Agricultural Economics & Rural Development, 75 Iera Odos street, 11855, Athens

ABSTRACT

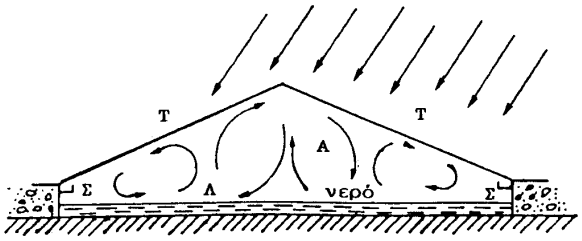
This paper is about a mathematical simulation of a solar still desalination system. Based on the energy balance of the solar still, there was found out a system of two equations with two unknown quantities, the temperature of the water of the base and the temperature of the cover of the still. Then hourly meteorological data of Athens for the year 1985 are used to calculate the fresh water production. Finally the yearly production of water was found to be 1,370 kg/m^2 and the cost of the water was calculated to be between 10.41 and 12.46 €/m^3, depending on several factors such as the cost of land and the cost of solar stills.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αφαλάτωση αποτελεί μια φυσική διεργασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται αποχωρισμός αλάτων και νερού από υδατικά διαλύματα. Σε μία εγκατάσταση αφαλάτωσης η πρώτη ύλη για την τροφοδότησή της είναι νερό θαλάσσιο ή υφάλμυρο του οποίου η περιεκτικότητα σε άλατα υπερβαίνει το ανώτατο επιτρεπτό όριο των προδιαγραφών για τη συγκεκριμένη χρήση. Η εξάτμιση ή απόσταξη μέσω της ηλιακής ενέργειας αποτελεί μία εκ των μεθόδων αφαλάτωσης και ονομάζεται ηλιακή αφαλάτωση. Στην ηλιακή αφαλάτωση η χρήση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να είναι άμεση ή έμμεση. Άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας έχουμε σε ορισμένες συσκευές οι οποίες ονομάζονται ηλιακοί αποστακτήρες [1].

2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΕΣ

Οι ηλιακοί αποστακτήρες (Solar Stills) κατατάσσονται στα παθητικά ηλιακά συστήματα και αποτελούνται από μία βάση η οποία περιέχει το προς εξάτμιση νερό και από ένα διαφανές κάλυμμα μέσω του οποίου διεισδύει η ηλιακή ακτινοβολία. Το κάλυμμα (συνήθως γυάλινο) και η βάση σχηματίζουν ένα αεροστεγή χώρο όπου λαμβάνει χώρα η διεργασία της εξάτμισης – συμπύκνωσης. Το απόσταγμα συλλέγεται σε κανάλια τα οποία βρίσκονται εντός της κατασκευής. Ο πιο συνήθης τύπος αποστακτήρα είναι ο τύπος θερμοκηπίου (σχήμα 1) στον οποίο το κάλυμμα είναι σε ισόπλευρη διάταξη [1]. Επίσης το πλάτος ενός αποστακτήρα κυμαίνεται από 0.5-2 m ενώ το μήκος του ποικίλει. Επιπρόσθετα η βάση του αποστακτήρα μπορεί να είναι ρηχή (0.01 ως 0.03 m) έχοντας το πλεονέκτημα υψηλότερων θερμοκρασιών νερού ή βαθιά (0.10 ως 0.15 m) έχοντας το πλεονέκτημα της συνέχισης της εξάτμισης και κατά τη διάρκεια της νύχτας καθώς λειτουργεί και ως αποθήκη θερμότητας [2].



Σχήμα 1. Ηλιακός αποστακτήρας τύπου θερμοκηπίου. Τ το διαφανές κάλυμμα, Λ η λεκάνη (βάση) στην οποία περιέχεται το νερό προς αφαλάτωση και Σ τα κανάλια συλλογής του αποστάγματος (Πηγή: [1]).

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΩΝ

3.1. Βασικές αρχές λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων

Η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται μέσα από το κάλυμμα του αποστακτήρα και απορροφάται από τη μάζα του νερού της βάσης η οποία καλύπτεται από ένα απορροφητικό υλικό π.χ. μαύρο χρώμα [3-6], με στόχο την αύξηση της απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι το νερό της βάσης θερμαίνεται,

εξατμίζεται, συμπυκνώνεται στο εσωτερικό του καλύμματος και ρέει προς τα κανάλια συλλογής όπου συλλέγεται [1]. Κάτω από το κάλυμμα στον ελεύθερο χώρο Α (σχήμα 1), έχουμε σχηματισμό ρευμάτων μίγματος αέρα-ατμών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας νερού βάσης-καλύμματος. Το μίγμα ακριβώς κάτω από το κάλυμμα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και είναι ακόρεστο σε υδρατμούς ενώ στην επιφάνεια του νερού η θερμοκρασία του μίγματος είναι υψηλότερη, έχει μικρότερη πυκνότητα και είναι κορεσμένο σε υδρατμούς. Έτσι έχουμε δημιουργία ανοδικών ρευμάτων του κορεσμένου σε υδρατμούς θερμού μίγματος προς την επιφάνεια του καλύμματος, όπου ψύχεται και ένα μέρος των υδρατμών συμπυκνώνεται. Το υπόλοιπο μίγμα αντιστρέφει την πορεία του και κινείται προς την επιφάνεια του νερού της βάσης [1].

3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων

Λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές αρχές λειτουργίας των αποστακτήρων συμπεραίνουμε ότι με την αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ νερού βάσης και καλύμματος, έχουμε αύξηση της θερμότητας που μεταφέρεται μέσω εξάτμισης – συμπύκνωσης στο κάλυμμα και άρα αύξηση της παραγωγής αποστάγματος [7]. Κατά συνέπεια είναι φανερό ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων είναι η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος και η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας [8]. Η παραγωγή αποστάγματος είναι δυνατή για θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος πάνω από 4^oC [9] καθώς στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος, το νερό της βάσης βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με το κάλυμμα και έτσι δεν μπορεί να διεξαχθεί η διαδικασία της εξάτμισης–συμπύκνωσης και άρα δεν υπάρχει παραγωγή αποστάγματος [10].
Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την απόδοση του συστήματος είναι η ταχύτητα του ανέμου του εξωτερικού περιβάλλοντος [11-13]. Με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου έχουμε αφενός μείωση της θερμοκρασίας του καλύμματος του αποστακτήρα και άρα αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς καλύμματος–νερού βάσης, και αφετέρου αύξηση των απωλειών θερμότητας από το κάλυμμα προς τα έξω με συναγωγή [11,14]. Γενικά θεωρείται ότι η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου είναι πιο έντονη τη νύχτα και οδηγεί σε αύξηση της έντασης του φαινομένου εξάτμισης–συμπύκνωσης και τελικά σε μικρή αύξηση της απόδοσης. Ωστόσο σε μία τέτοια περίπτωση έχουμε πτώση της θερμοκρασίας του νερού της βάσης κατά την επόμενη μέρα και άρα μείωση της παραγωγής κατά τις ώρες της ημέρας [11]. Από την άλλη πλευρά λόγω του ότι η θερμοκρασία της βάσης εξαρτάται κυρίως από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν επιδρά σημαντικά στη λειτουργία του αποστακτήρα [11].

3.3. Στόχος κατά το σχεδιασμό

Κατά το σχεδιασμό των αποστακτήρων στόχος μας είναι να μεγιστοποιήσουμε τη θερμότητα που μεταφέρεται στο νερό της βάσης για εξάτμιση και αποδεσμεύεται από τον ατμό για συμπύκνωση δηλ. η μεγιστοποίηση του ρυθμού παραγωγής αποστάγματος. Και τα δύο αυτά μεγέθη συνδέονται με τη διαφορά στην πίεση ατμού μεταξύ νερού βάσης και καλύμματος. Με άλλα λόγια πρέπει η θερμοκρασία του νερού της βάσης να είναι κατά το δυνατόν υψηλότερη διότι έτσι αυξάνεται ο λόγος μεταφορά θερμότητας με εξάτμιση–συμπύκνωση προς μεταφορά θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία [2]. Γενικά οι θερμοκρασιακές διαφορές του νερού της βάσης και του καλύμματος μέσα στον αποστακτήρα είναι η κινητήρια δύναμη που προκαλεί φυσική κυκλοφορία του

υγρού αέρα και συμπύκνωση του ατμού στο εσωτερικό του καλύμματος [15-17]. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι προτιμάται η κατασκευή αποστακτήρων με ρηχές βάσεις (βέλτιστο βάθος 0.03 m, [18]) με μικρή θερμική χωρητικότητα καθώς ζεσταίνονται γρηγορότερα σε σχέση με τις βαθιές βάσεις και έτσι το σύστημα λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες [2].

4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

4.1. Ενεργειακά ισοζύγια – Μάζα παραγόμενου νερού

Η εξίσωση (1) αποτελεί το ενεργειακό ισοζύγιο όλου του αποστακτήρα [9], αν υποθέσουμε ότι οι απώλειες με αγωγή από τη μονωμένη βάση του αποστακτήρα προς το εξωτερικό περιβάλλον είναι μηδέν και ότι σε κάθε χρονικό βήμα επίλυσης του συστήματος των εξισώσεων (1) και (2) η κατάσταση είναι στάσιμη (steady state) [19]. Επίσης η εξίσωση (2) αποτελεί το ενεργειακό ισοζύγιο του καλύμματος του αποστακτήρα [9] και η εξίσωση (3) δίνει την παραγωγή αποστάγματος [10].

$$\alpha_g I + \alpha_w \tau I = (2.8+3.8V)(T_g - T_a) + \varepsilon_g \sigma [T_g^4 - (T_a-20)^4] \quad (1)$$

$$(2.8+3.8V)(T_g - T_a) + \varepsilon_g \sigma [T_g^4 - (T_a-20)^4] = [0.884[(T_w - T_g)+[((P_w-P_g)T_w)/(268,900-P_w)]]^{1/3}(T_w - T_g)] + [0.9\sigma(T_w^4 - T_g^4)] + [(0.884 \cdot 16.28 \cdot 10^{-3}) [(T_w-T_g)+[((P_w-P_g)T_w)/(268,900-P_w)]]^{1/3}(P_w-P_g)] + \alpha_g I \quad (2)$$

$$m = [16.28 \cdot 10^{-3}[0.884[(T_w - T_g)+[((P_w-P_g)T_w)/(268,900-P_w)]]^{1/3}](P_w-P_g)3,600] / h_{fg} \quad (3)$$

α_g: η απορροφητικότητα του γυαλιού του καλύμματος
I: η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια σε W/m^2
α_w: η απορροφητικότητα του νερού
τ: η περατότητα του γυαλιού του καλύμματος
(2.8+3.8V): ο συντελεστής βεβιασμένης συναγωγής σε W/m^2K
V: η ταχύτητα του ανέμου σε m/s
T_g: η θερμοκρασία του γυαλιού του καλύμματος σε K
T_a: η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα σε K
ε_g: η εκπεμπτικότητα του γυαλιού του καλύμματος
σ: η σταθερά Stefan – Boltzmann. Ίση με $5.67 \cdot 10^{-8}$ W/m^2K^4
(T_a-20): η θερμοκρασία του ουρανού σε K, [9]
T_w: η θερμοκρασία του νερού της βάσης του αποστακτήρα σε K
P_w: η πίεση κορεσμού του ατμού του νερού σε θερμοκρασία ίση με T_w σε Pa
P_g: η πίεση κορεσμού του ατμού του νερού σε θερμοκρασία ίση με T_g σε Pa
m: η παραγωγή σε αποσταγμένο νερό σε kg/m^2h
h_{fg}: η μεταβολή ενθαλπίας για την εξάτμιση του νερού σε J/kg

4.2. Υλικά και μέθοδοι

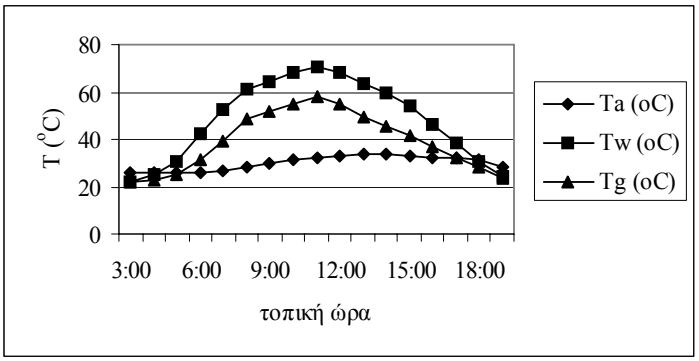
Τα δεδομένα εισαγωγής (inputs) για την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων (1)-(2) είναι τα μετεωρολογικά στοιχεία της Αθήνας για το 1985 το οποίο θεωρείται παρόμοιο με το τυπικό μετεωρολογικό έτος [20]. Τα δεδομένα αφορούν την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας I (σε οριζόντιο επίπεδο) (W/m^2), την ταχύτητα του ανέμου U (m/s) και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (του εξωτερικού αέρα) T_a

(ºC) [21]. Επίσης οι τιμές των τριών αυτών μεγεθών αποτελούν μέσες ωριαίες τιμές. Η επίλυση του συστήματος των εξισώσεων (1)-(2) θα γίνει μέσω του προγράμματος Matlab. Στόχος μας είναι η εύρεση της θερμοκρασίας του νερού της βάσης και του καλύμματος, κάθε μία ώρα, για όλες τις ώρες του έτους στις οποίες η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι > 0 W/m^2. Η παραγωγή σε απόσταγμα προκύπτει από την αντικατάσταση των τιμών των δύο αυτών μεγεθών στην εξίσωση (3) [19].

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

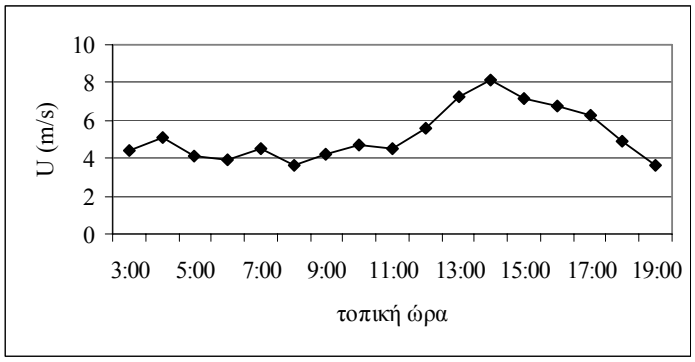
5.1. Η μέρα του έτους με τη μέγιστη απόδοση

Με βάση τις υποθέσεις που κάναμε, από τη μαθηματική προσομοίωση προέκυψε ότι η μέρα του έτους με τη μέγιστη απόδοση είναι η 10/6. Πιο συγκεκριμένα στα σχήματα 2 και 3 μπορούμε να δούμε τη μεταβολή των θερμοκρασιών του εξωτερικού περιβάλλοντος T_a, του νερού της βάσης T_w και του καλύμματος του αποστακτήρα T_g, καθώς και τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου U σε συνάρτηση με την τοπική ώρα.

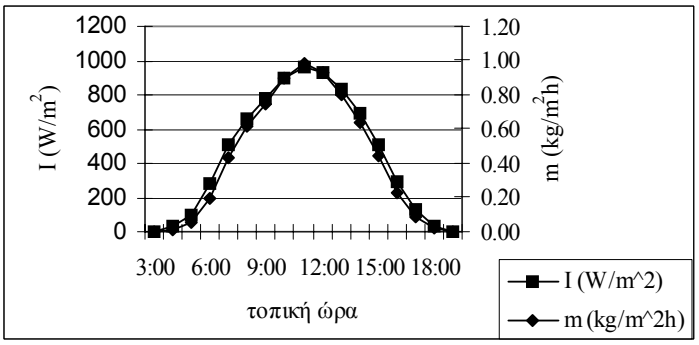


Σχήμα 2. Η μεταβολή των θερμοκρασιών του εξωτερικού περιβάλλοντος T_a, του νερού της βάσης T_w και του καλύμματος του αποστακτήρα T_g.

Επίσης από το σχήμα 2 παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία του καλύμματος και του νερού της βάσης σχετίζονται με την κατανομή της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ακόμα η θερμοκρασία του νερού της βάσης είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του καλύμματος και από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά τον ίδιο τρόπο η θερμοκρασία του καλύμματος είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος [19].



Σχήμα 3. Η μεταβολή της ταχύτητας U του ανέμου.

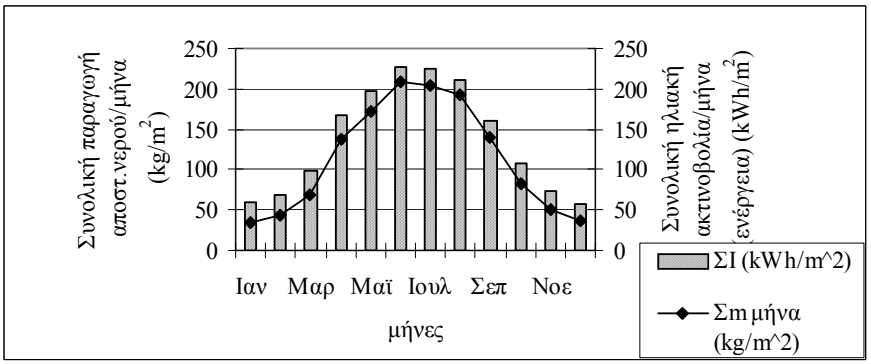


Σχήμα 4. Η μεταβολή της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας I και της παραγόμενης ποσότητας αποστάγματος m.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το σχήμα 4 στο οποίο παρατηρούμε ότι η παραγόμενη ποσότητα αποστάγματος m μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας I και ότι σε ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας περίπου 1,000 W/m^2 αντιστοιχεί παραγωγή περίπου 1 kg/m^{2}h [19].

5.2. Η απόδοση όλου του έτους

Στο σχήμα 5 βλέπουμε τη μεταβολή της συνολικής παραγωγής αποστάγματος Σm ανά μήνα και της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ΣI (ενέργειας) ανά μήνα, για όλο το έτος 1985. Παρατηρούμε ότι η παραγωγή είναι μεγαλύτερη στους καλοκαιρινούς μήνες (μέγιστη τον Ιούνιο: 209.54 kg/m^2) από ότι στους χειμερινούς μήνες (ελάχιστη τον Ιανουάριο: 34.85 kg/m^2). Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο και οφείλεται στις μεγαλύτερες τιμές της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα που σημειώνονται κατά το καλοκαίρι. Επίσης την άνοιξη και το φθινόπωρο η παραγωγή κυμαίνεται σε ενδιάμεσα επίπεδα και η παραγωγή όλου του έτους είναι 1,370 kg/m^2. Επιπρόσθετα θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η παραγωγή αναφέρεται στο 1 m^2 επιφάνειας βάσης του αποστακτήρα [19].



Σχήμα 5. Η μεταβολή της συνολικής παραγωγής αποστάγματος Σm ανά μήνα και της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ΣΙ (ενέργειας) ανά μήνα, για όλο το έτος.

5.3. Το κόστος του παραγόμενου νερού

Ο υπολογισμός του κόστους του παραγόμενου νερού έγινε με βάση την Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης [22] και θεωρώντας ένα σύστημα 80 αποστακτήρων διαστάσεων 1 x 5 m^2, τύπου θερμοκηπίου με γυάλινο κάλυμμα, βάση fiberglass, πλαίσιο καλύμματος από γαλβανισμένο σίδηρο, κανάλια συλλογής του αποστάγματος από ανοξείδωτο ατσάλι, μονωτικό βάσης από πολυστηρόλη. Η ετήσια παραγωγή του συγκεκριμένου συστήματος είναι 544 m^3 καλύπτοντας τις ανάγκες σε πόσιμο νερό μιας κοινότητας 300 κατοίκων [23]. Οι υποθέσεις που κάνουμε για την εγκατάσταση του συστήματος είναι: 1) Εγκατάσταση στην Αθήνα, κόστος γης 150 €/έτος, 2) Εγκατάσταση στην Αθήνα, κόστος γης μηδενικό, 3) Εγκατάσταση σε νησί με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με την Αθήνα, κόστος γης 150 €/έτος, επιδότηση 35%, 4) Εγκατάσταση σε νησί με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με την Αθήνα, κόστος γης μηδενικό, επιδότηση 35%. Με βάση τις προηγούμενες υποθέσεις προκύπτει ότι η ελάχιστη τιμή του παραγόμενου νερού είναι 12.46 €/m^3 για την υπόθεση 1, 12.18 €/m^3 για την υπόθεση 2, 10.69 €/m^3 για την υπόθεση 3 και 10.41 €/m^3 για την υπόθεση 4. Ωστόσο το κόστος του νερού ενδέχεται να διαφέρει από τις παραπάνω τιμές, ανάλογα την περίπτωση διότι εξαρτάται από παράγοντες που προσδίδουν αβεβαιότητα στην οικονομική μελέτη (όπως κόστος εργατικών, κόστος αποστακτήρων, κόστος γης) [19].

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την εργασία αυτή αποδείχθηκε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων είναι η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, του νερού της βάσης και του καλύμματος. Επίσης η παραγωγή αποστάγματος την ημέρα μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και είναι μεγαλύτερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (μέγιστη τον Ιούνιο: 209.54 kg/m^2) από ότι τους χειμερινούς μήνες (ελάχιστη τον Ιανουάριο: 34.85 kg/m^2). Αυτό οφείλεται στις μεγαλύτερες τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα που σημειώνονται το καλοκαίρι. Την άνοιξη και το φθινόπωρο η παραγωγή σε απόσταγμα βρίσκεται σε ενδιάμεσα επίπεδα και η παραγωγή όλου του έτους είναι 1,370 kg/m^2. Το κόστος παραγωγής του αποσταγμένου νερού, είναι 12.46 €/m^3 για κόστος γης 150

€/έτος και 12.18 €/m^3 για κόστος γης μηδενικό, στην περίπτωση εγκατάστασης του συστήματος στην Αθήνα ενώ αν υποθέσουμε ότι το σύστημα εγκαθίσταται σε νησί με κλιματικές συνθήκες παρόμοιες με της Αθήνας, τότε το νερό κοστίζει λιγότερο λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει και επιδότηση 35%. Στην περίπτωση αυτή το νερό κοστίζει 10.69 €/m^3 για κόστος γης 150 €/έτος και 10.41 €/m^3 για κόστος γης μηδενικό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τον Δρ. Πασγιάνο Γεώργιο για τη βοήθειά του στην επεξεργασία των μετεωρολογικών στοιχείων μέσω του προγράμματος Matlab.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δεληγιάννη Ε. και Μπελεσιώτης Β. (1995), *Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης – Αρχές διεργασιών αφαλάτωσης*, ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», Αθήνα.
2. Duffie J. and Beckman W. (1991), *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, USA.
3. Akash B., Mohsen M., Osta O. and Elayan Y. (1998), Experimental evaluation of a single basin solar still using different absorbing materials, *Renewable Energy* 14, 307-310.
4. Morcos V. (1994), Some experimental and theoretical studies of a single basin solar still, *Renewable Energy* 4, 401-407.
5. Tiwari G., Gupta S. and Lawrence S. (1989), Transient analysis of solar still in the presence of dye, *Energy Conversion and Management* 29, 59-62.
6. Kumar S. and Tiwari G. (1996), Estimation of convective mass transfer in solar distillation systems, *Solar Energy* 57, 459-464.
7. Porta-Gandara M., Rubio E. and Fernandez J. (1997), Experimental measurement of the water to cover heat transfer coefficient inside shallow solar stills, *Applied Thermal Engineering* 18, 69-72.
8. Mohamad M., Soliman S., Abdel-Salam M. and Hussein H. (1995), Experimental and financial investigation of asymmetrical solar stills with different insulation, *Applied Energy* 52, 265-271.
9. Ghoneyem A. and Ileri A. (1997), Software to analyze solar stills and an experimental study on the effects of the cover, *Desalination* 114, 37-44.
10. Rubio-Cerda E., Porta-Gandara M., Fernandez-Zayas J. (2002), Thermal performance of the condensing covers in a triangular solar still, *Renewable Energy* 27, 301-308.
11. Voropoulos K., Mathioulakis E. and Belessiotis V. (2002), Analytical simulation of energy behavior of solar stills and experimental validation, *Desalination* 153, 87-94.
12. Al-Hinai H., Al-Nassri M. and Joubran B. (2002), Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still, *Energy Conversion & Management* 43, 1639-1650.
13. Maalej A. (1991), Solar still performance, *Desalination* 82, 197-205.
14. Zurigat Y. and Abu-Arabi M. (2004), Modeling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit, *Applied Thermal Engineering* 24, 1061-1072.

15. Voropoulos K., Mathioulakis E. and Belessiotsis V. (2000), Transport phenomena and dynamic modeling in greenhouse-type solar stills, *Desalination* 129, 273-281.
16. Rubio E., Porta M. and Fernandez J. (2000), Cavity geometry influence on mass flow rate for single and double slope solar stills, *Applied Thermal Engineering* 20, 1105-1111.
17. Kumar A. and Tiwari G. (1990), Use of waste hot water in double slope solar still through heat exchanger, *Energy Conversion and Management* 30, 81-89.
18. El-Haggar S. and Awn A. (1993), Optimum conditions for a solar still and its use for a greenhouse using the nutrient film technique, *Desalination* 94, 55-68.
19. Λαμνάτου Χ., *Διερεύνηση της λειτουργίας ενός συστήματος αφαλάτωσης τύπου ηλιακού αποστακτήρα μέσω μαθηματικής προσομοίωσης*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
20. Argiriou A., Lykoudis S., Kontoyiannidis S., Balaras C., Asimakopoulos D., Petrakis M. and Kassomenos P. (1999), Comparison of methodologies for TMY generation using 20 year data for Athens, Greece, *Solar Energy* 66, 33-45.
21. Upatras, 2005. http://helios.mech.upatras.gr
22. Gittinger J. (1984), *Economic Analysis of Agricultural Projects*, Economic Development Institute The World Bank, London.
23. Itdg, 2004. http://www.Itdg.org

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΤΟΥ H_2 ΩΣ ΜΕΣΟ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Γεώργιος Δ. Κυριακαράκος, Γεώργιος Σ. Παπαδάκης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046 e-mail: gκ@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η εργασία περιγράφει τη σύγκριση μέσω προσομοίωσης δύο αυτόνομων ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη αναγκών μιας κατοικίας. Και τα δύο συστήματα βασίζονται στην ίδια φωτοβολταϊκή συστοιχία. Το πρώτο σύστημα χρησιμοποιεί για αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας συσσωρευτές, ενώ το δεύτερο ένα υποσύστημα υδρογόνου. Το υποσύστημα αυτό αποτελείται από κυψέλη καυσίμου τεχνολογίας P.E.M., μονάδα ηλεκτρόλυσης του νερού τεχνολογίας P.E.M., μονάδα αποθήκευσης του υδρογόνου αποτελούμενη από δοχεία μεταλλοϋδριδίων, έναν ελεγκτή και ένα μικρό συσσωρευτή. Με την πραγματοποίηση αυτών των προσομοιώσεων παρατηρούμε πως είναι τεχνικά εφικτή η αντικατάσταση των συμβατικών συσσωρευτών με ένα σύστημα υδρογόνου.

POSSIBILITIES TO USE H_2 AS A LONG TERM ENERGY STORAGE MEDIUM IN AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

George D. Kyriakarakos, George S. Papadakis

Agricultural University of Athens
Department of Natural Resources and Agricultural Engineering
Laboratory of Agricultural Engineering
Iera odos St. 75, 11855 Athens tel. 210 5294046 email: gk@aua.gr

ABSTRACT

This paper describes the comparison through a numerical simulation of two renewable energy autonomous electricity producing systems aiming to cover the needs of a home. Both systems are based on the same photovoltaic array. The first system uses batteries for the energy storage, whereas the second uses a hydrogen subsystem. This subsystem includes a PEM fuel cell, a PEM electrolyzer, metal hydride tank hydrogen storage and a small battery. With the realization of these simulations it is evident that it is technically possible to replace batteries with a hydrogen subsystem.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας τα περισσότερα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν συσσωρευτές μεγάλης χωρητικότητας για να μπορέσουν να αποθηκεύσουν την παραγόμενη ενέργεια. Οι συσσωρευτές όμως, όπως γνωρίζουμε, περιέχουν στοιχεία τοξικά πράγμα που τους κάνει μη φιλικούς προς το περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα έχουν μικρή διάρκεια ζωής με μεγάλο κόστος αντικατάστασης. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο αποθήκευσης της ενέργειας τόσο βραχυπρόθεσμα, όσο και μακροπρόθεσμα αποθηκεύοντας την περίσσια της ενέργειας που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία τους θερινούς μήνες για την κάλυψη των χειμερινών αναγκών και συνεπώς έχουν την δυνατότητα να αντικαταστήσουν πλήρως τους συμβατικούς συσσωρευτές[1,2].

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το TRNSYS (Transient System Simulation Program). Το TRNSYS είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης μεταβλητών ενεργειακών συστημάτων με αρθρωτή μορφή. Το TRNSYS βασίζεται στην αρθρωτή του δομή για να λύνει μεγάλα συστήματα εξισώσεων που περιγράφονται από υπορουτίνες γραμμένες σε FORTRAN. Κάθε υπορουτίνα της FORTRAN περιέχει ένα μοντέλο για ένα τμήμα του συστήματος. Κάθε υπορουτίνα έχει εισόδους (inputs), εξόδους (outputs) και παραμέτρους (parameters). Στο αρχείο εισόδου ο χρήστης συνδέει διάφορες υπορουτίνες μεταξύ τους οι οποίες σαν σύνολο αποτελούν το προς προσομοίωση σύστημα. Η μηχανή επίλυσης του TRNSYS καλεί τις υπορουτίνες που αναφέρονται στο αρχείο εισόδου και προσπαθεί να βρει λύση για κάθε χρονικό βήμα. Οι συνδέσεις που μπορεί να έχουν οι διάφορες υπορουτίνες είναι πολλές δίνοντας πολύ μεγάλη ελευθερία στο χρήστη. Επίσης ένα ακόμα χαρακτηριστικό που κάνει το πρόγραμμα τρομερά ευέλικτο είναι η δυνατότητα που δίνει στο χρήστη να γράψει μια δικιά του υπορουτίνα σε FORTRAN και να την ενσωματώσει στο TRNSYS. Αυτή η δυνατότητα χρησιμοποιήθηκε και έτσι γράφηκαν νέες υπορουτίνες για την ενεργειακή προσομοίωση της κυψέλης καυσίμου, της μονάδας ηλεκτρόλυσης, των δοχείων μεταλλοϋδριδίων και του ελεγκτή του συστήματος[3,4].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Σύστημα Πρώτο

Το πρώτο σύστημα αποτελείται από φωτοβολταϊκή συστοιχία 8.4 kWp και συσσωρευτές 1250 Ah.

- Χρησιμοποιήθηκαν κρυσταλλικά πάνελ πυριτίου Solarex MSX-30, 280 σε σύνολο. Τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακα 1. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συνδεδεμένη με έναν ελεγκτή μέγιστου σημείου ισχύος με απόδοση ίση με 98%
- Χρησιμοποιήθηκαν 4 συσσωρευτές που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά με χωρητικότητα 1250 Ah και με ονομαστική τάση 6 V.

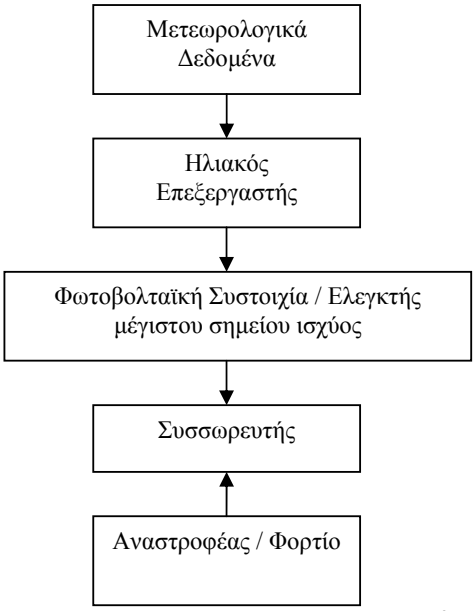
2.2 Σύστημα Δεύτερο

Το δεύτερο σύστημα αποτελείται από την ίδια φωτοβολταϊκή συστοιχία με το πρώτο αλλά ο μεγάλης χωρητικότητας συσσωρευτής έχει αντικατασταθεί από ένα υποσύστημα υδρογόνου. Αναλυτικότερα

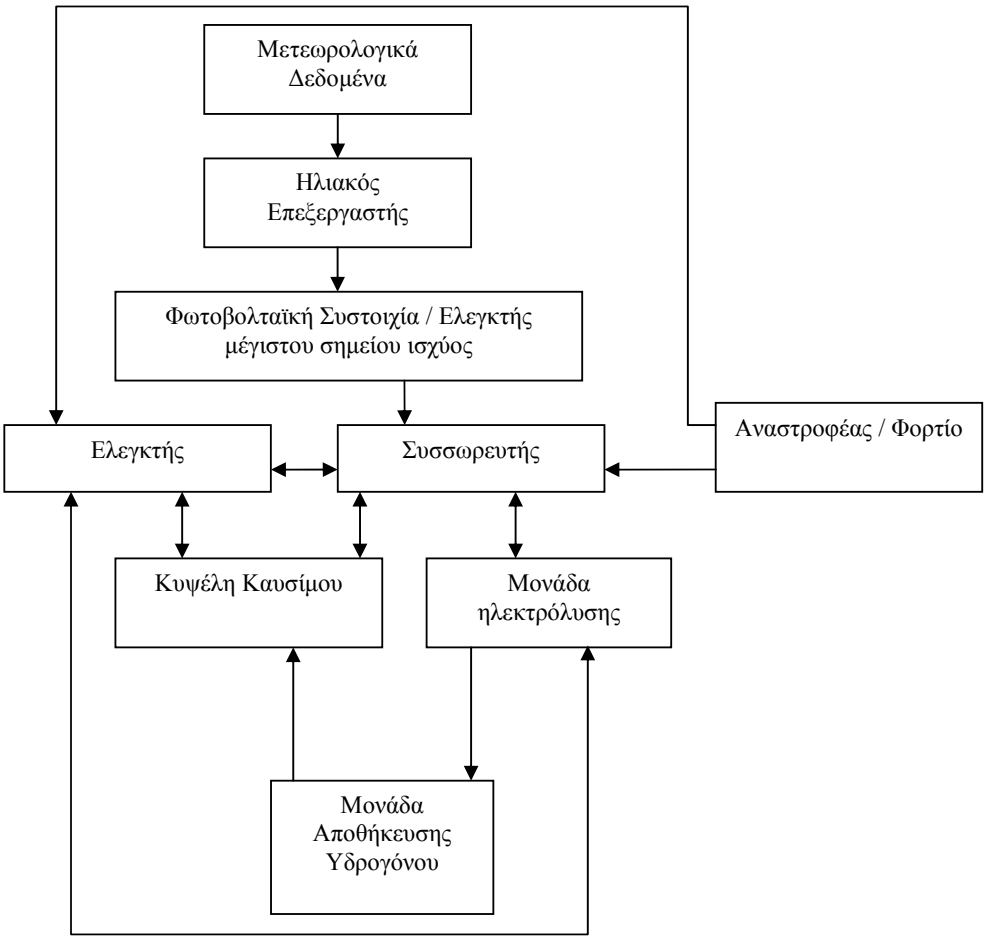
- Χρησιμοποιήθηκαν πάνελ πυριτίου Solarex MSX-30, 280 σε σύνολο. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συνδεδεμένη με έναν ελεγκτή μέγιστου σημείου ισχύος με απόδοση ίση με 98%
- Κυψέλη καυσίμου τεχνολογίας PEM ονομαστικής ισχύος 1650 W με ενσωματωμένο μετατροπέα συνεχούς ρεύματος και συνολικής ονομαστικής απόδοσης 40 %.
- Μονάδα ηλεκτρόλυσης τεχνολογίας PEM ονομαστικής ισχύος 5000 W με ενσωματωμένο μετατροπέα συνεχούς ρεύματος και συνολικής απόδοσης 60%.
- Μονάδα αποθήκευσης υδρογόνου αποτελούμενη από δοχεία μεταλλοϋδριδίων χωρητικότητας 50 Nm^3 H_2.
- 12 συσσωρευτές 150 Ah με τάση 2 V συνδεδεμένοι σε σειρά. Η ύπαρξη του μικρού συσσωρευτή αποσκοπεί στην προστασία του συστήματος, καθώς και για την εξομάλυνση των φορτίων λόγω της μικρής χρονικής καθυστέρησης που παρατηρείται κατά την εκκίνηση των ηλεκτροχημικών εξαρτημάτων του συστήματος.
- Ελεγκτής ο οποίος έχει σχεδιαστεί με λογική ακολουθίας του φορτίου, που όμως ταυτόχρονα σε κάθε χρονικό βήμα ελέγχει την κατάσταση του συστήματος μέσω του σημείου φόρτισης του συσσωρευτή προστατεύοντας τον από βαθιές εκφορτίσεις και αποτρέποντας την άσκοπη εκκίνηση των ηλεκτροχημικών συσκευών.

2.3 Προσομοίωση με το TRNSYS

Και για τα δύο συστήματα χρησιμοποιήθηκαν ωριαία μετεωρολογικά στοιχεία από την περιοχή της Αθήνας. Πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία αυτά είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο και η θερμοκρασία ξηρού βολβού. Τα δεδομένα αυτά καλύπτουν ένα ημερολογιακό έτος. Αυτά τα δεδομένα και μέσω της υπορουτίνας του ηλιακού επεξεργαστή (Type 16) τροφοδοτήθηκαν στην υπορουτίνα των φωτοβολταϊκών (Type 94). Ο ηλιακός επεξεργαστής υπολογίζει ηλιακά δεδομένα για χρονικά βήματα μικρότερα της μιας ώρας και για διάφορες γωνίες πρόπτωσης. Τα φωτοβολταϊκά είναι συνδεδεμένα στο συσσωρευτή (Type 47) μέσω ενός ελεγκτή μέγιστου σημείου ισχύος και σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Γράφηκε υπορουτίνα προσομοίωσης του ελεγκτή μέγιστου σημείου ισχύος, όπως επίσης γράφηκαν υπορουτίνες σε Fortran για την ενεργειακή προσομοίωση των ηλεκτροχημικών υποσυστημάτων - της κυψέλης καυσίμου και της μονάδας ηλεκτρόλυσης. Επίσης γράφηκαν και ενσωματώθηκαν στο TRNSYS υπορουτίνες για την προσομοίωση των δοχείων μεταλλοϋδριδίων (με την παραδοχή ότι η διαδικασία φόρτισης-εκφόρτισης των δεν έχει απώλειες) και υπορουτίνα για τον ελεγκτή του συστήματος. Στις εικόνες 1 και 2 φαίνεται σχηματικά το διάγραμμα ροής του TRNSYS για τα 2 συστήματα αντίστοιχα[5].



Εικόνα 1. Διάγραμμα ροής του TRNSYS για το το 1^{ο} σύστημα



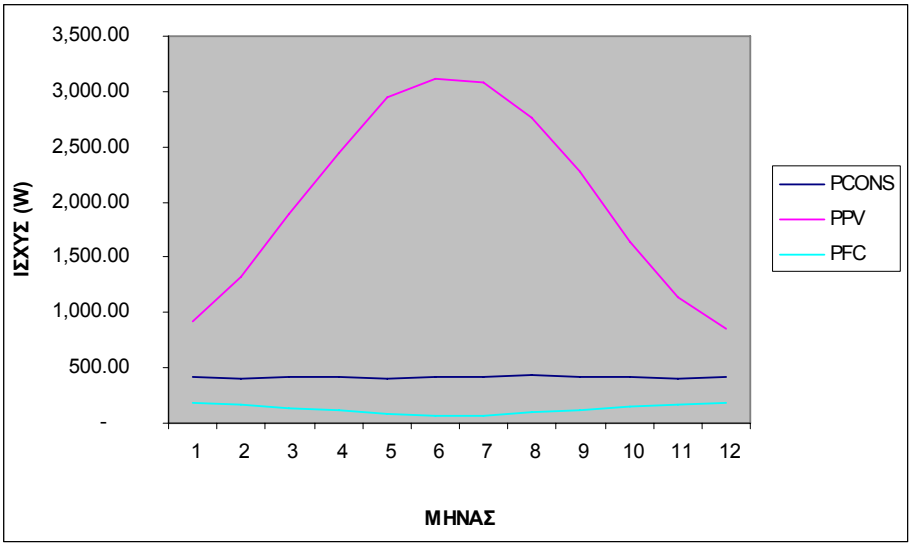
Εικόνα 2. Διάγραμμα ροής του TRNSYS για το 2^{ο} σύστημα

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν τυπικές καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος μιας κατοικίας. Η μέση κατανάλωση κατά τη διάρκεια του έτους ήταν 440 W, η μέγιστη κατανάλωση 1734 W και η ελάχιστη 35 W. Το σύστημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο της κατοικίας μέσω ενός αναστροφέα με ονομαστική απόδοση ίση με 95%. Σε κάθε περίπτωση υπήρχε σαν απαίτηση από το κάθε σύστημα η μηδενική έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη διάρκεια του έτους. Επίσης θεωρήσαμε ότι η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών στην εκκίνηση της

προσομοίωσης την $1^{η}$ Ιανουαρίου ήταν 100 % και ότι υπήρχαν αποθηκευμένα 17 Nm^3 H_2 στα δοχεία μεταλλοϋδριδίων.

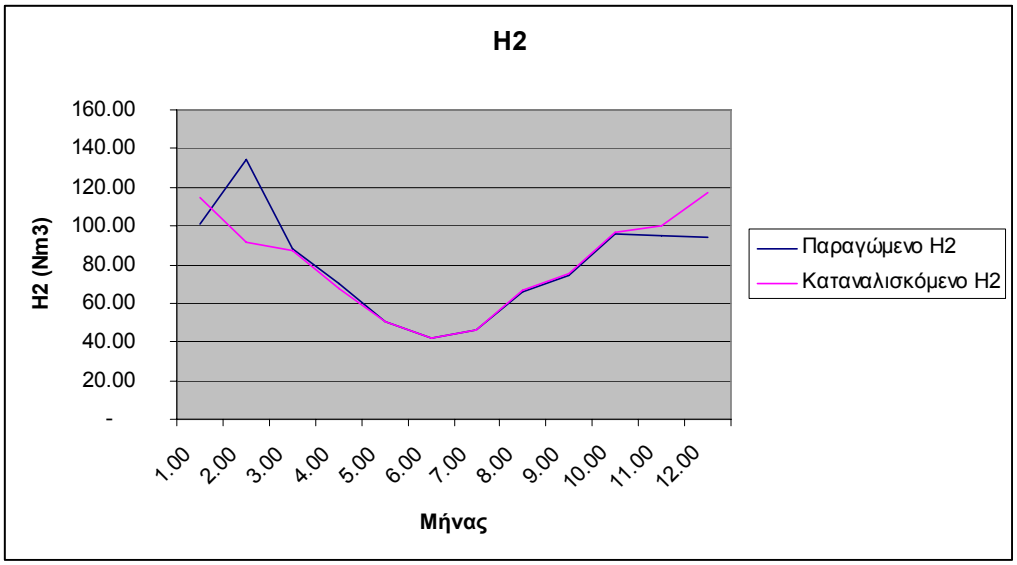
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός των δύο συστημάτων ήταν να καλύψουν στο 100% τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια μιας κατοικίας. Από τα αποτελέσματα βλέπουμε πως και τα δυο συστήματα μπορούν να ανταπεξέλθουν σε αυτό σκοπό. Επίσης βλέπουμε πως και οι συσσωρευτές και των δύο συστημάτων δεν υφίστανται βαθιά εκφόρτιση σε καμία χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια του έτους. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο σύστημα η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή παίρνει χαμηλότερη τιμή ίση με 0.36 %, ενώ για το δεύτερο 0.27 %. Ο μέσος όρος για το πρώτο σύστημα είναι 0.91 %, ενώ για το δεύτερο 0.69 %. Η διατήρηση της κατάστασης φόρτισης του συσσωρευτή σε υψηλά επίπεδα έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.
Στην Εικόνα 1 βλέπουμε ένα διάγραμμα με την ισχύ κατανάλωσης, την ισχύ που παράγει η φωτοβολταϊκή συστοιχία και την ισχύ που παράγει η κυψέλη καυσίμου όσο αφορά το δεύτερο σύστημα.

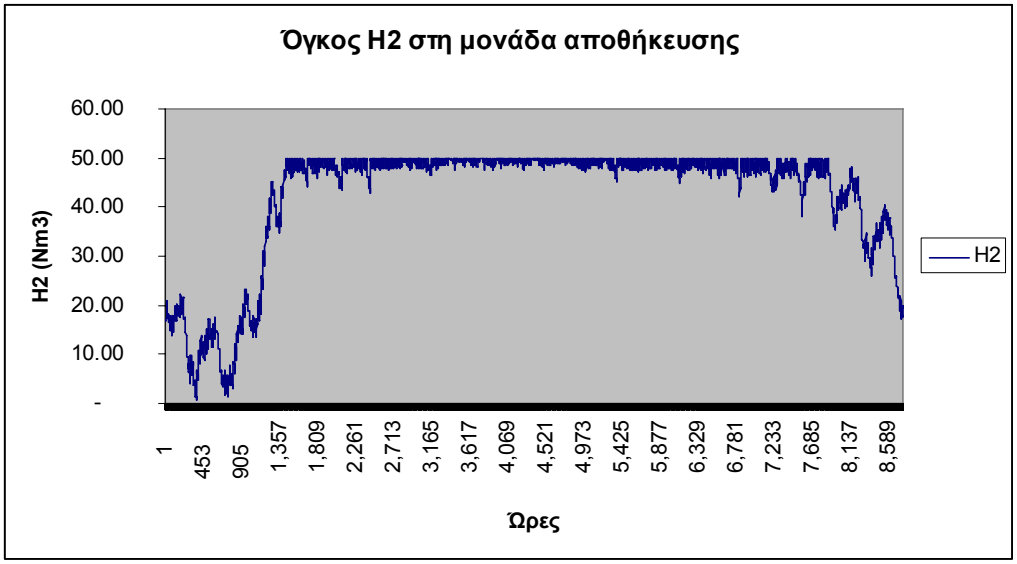


Εικόνα 1 Διάγραμμα Ηλεκτρικής ισχύος

Ενδιαφέρον είναι να εξετάσουμε τον τρόπο λειτουργίας του δεύτερου συστήματος. Στο διάγραμμα της εικόνας 2 βλέπουμε την παραγωγή και την κατανάλωση υδρογόνου από το σύστημα, ενώ στης εικόνας 3 το υδρογόνο που είναι αποθηκευμένο στη μονάδα αποθήκευσης. Όπως βλέπουμε στην ουσία έλλειμμα υδρογόνου έχουμε μόνο τους χειμερινούς μήνες. Αυτό το έλλειμμα καλύπτεται ήδη από τους πρώτους μήνες της άνοιξης και σε ημερησία βάση η μονάδα αποθήκευσης είναι γεμάτη. Στα παρακάτω διαγράμματα θα δούμε τη διακύμανση των καταναλώσεων του υδρογόνου σε ημερήσια βάση. Η εποχιακή αποθήκευση στην ουσία λαμβάνει χώρα το καλοκαίρι και έρχεται να καλύψει τις ανάγκες τις περιόδου που ξεκινά μέσα Οκτώβρη και τελειώνει αρχές Μάρτη.

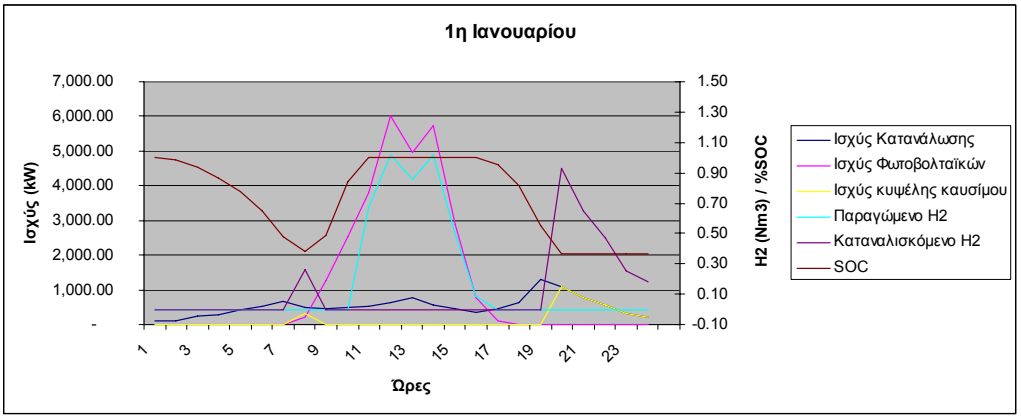


Εικόνα 2 Παραγωγή & Κατανάλωση H_2

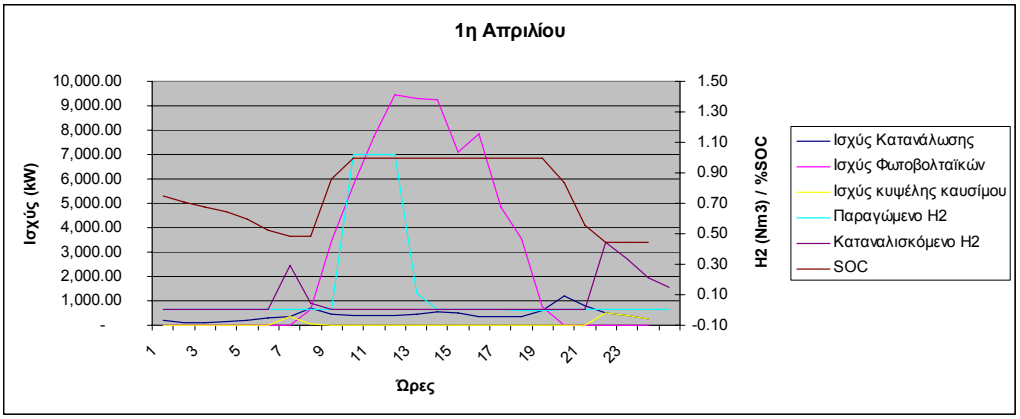


Εικόνα 3 Όγκος H_2 στη μονάδα αποθήκευσης

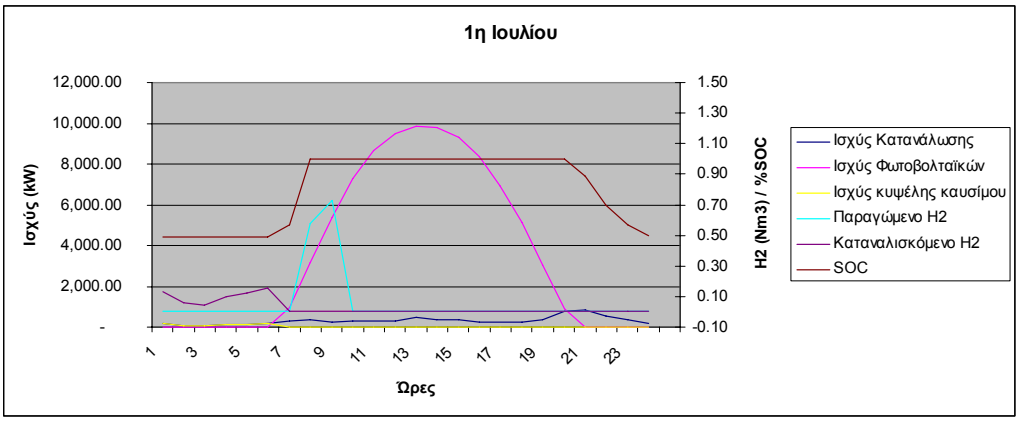
Στις εικόνες 4, 5, 6 και 7 βλέπουμε τις ημερήσιες καταναλώσεις σε ισχύ και σε υδρογόνο, καθώς και την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή του δευτέρου συστήματος για την πρώτη μέρα του μεσαίου μήνα κάθε εποχής.



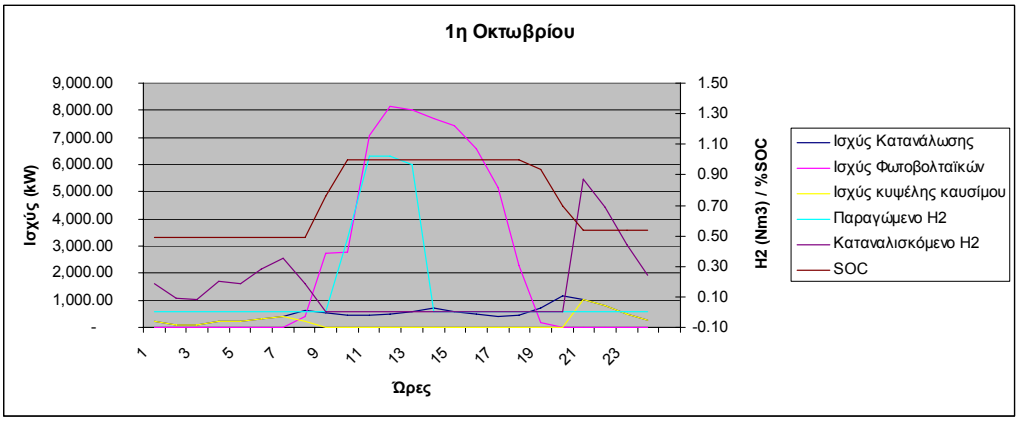
Εικόνα 4 Κατάσταση συστήματος την 1 Ιανουαρίου



Εικόνα 5 Κατάσταση συστήματος την 1 Απριλίου



Εικόνα 6 Κατάσταση συστήματος την 1 Ιουλίου



Εικόνα 7 Κατάσταση συστήματος την 1 Οκτωβρίου

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

- Οι μεγάλης χωρητικότητας συσσωρευτές μπορούν να αντικατασταθούν από υποσύστημα υδρογόνου
- Η εποχιακή αποθήκευση της ενέργειας σε υδρογόνο είναι τεχνικά εφικτή
- Ο συνδυασμός του μεγέθους της μονάδας ηλεκτρόλυσης και του μεγέθους της μονάδας αποθήκευσης του υδρογόνου εξαρτώνται από το προφίλ του φορτίου κατανάλωσης σε ημερήσια και εποχιακή βάση
- Η αρθρωτή δομή του TRNSYS και η δυνατότητα συγγραφής νέων υπορουτίνων έκανε εύκολη την προσομοίωση των πραγματικών παραμέτρων του συστήματος.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. P.C. Ghosh , B. Emonts, D. Stolten “Comparison of hydrogen storage with diesel-generator system in a PV–WEC hybrid system” Solar Energy 2003, Article in Press
2. Kodjo Agbossou, Mohan Lal Kolhe, Jean Hamelin, Etienne Bernier, Tapan K. Bose “Electrolytic hydrogen based renewable energy system with oxygen recovery and re-utilization”, Renewable Energy 29, 1305-1318
3. S.E.L., “TRNSYS Manual”

4. Κυριακαράκος Γ. "Τεχνική ανάλυση και σύγκριση δυο φωτοβολταϊκών συστημάτων άντλησης νερού μέσω μαθηματικής-φυσικής προσομοίωσης**",** 2003, Πτυχιακή Μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
5. Oystein Ulleberg "The importance of control strategies in PV–hydrogen systems", Solar Energy 76, 323-329

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ

***Essam Sh. Mohamed[1], Γ. Παπαδάκης[1], Ε. Μαθιουλάκης[2] και Β. Μπελεσιώτης[2]**

[1]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
75 Ιερά Οδός 118 55 Αθήνα, *e-mail: esamsh@aua.gr Τηλ. 210 529 4046,
Fax. 210 594023
[2] Εργαστήριο Ηλιακών & Ενεργειακών Συστημάτων Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών - ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος – 15310 Αγ. Παρασκευή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την πειραματική διερεύνηση ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης, που τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ανεμογεννήτρια (Α/Γ) και φωτοβολταϊκά (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 ισχύς.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF AN AUTONOMOUS REVERSE OSMOSIS DESALINATION SYSTEM POWERED BY WIND TURBINE AND PHTOVOLTAICS

***Essam Sh. Mohamed[1], Γ. Παπαδάκης[1], Ε. Μαθιουλάκης[2] και Β. Μπελεσιώτης[2]**

Essam Sh. Mohamed[1*], G. Papadakis[1], E. Mathioulakis[2] and V. Belessiotis[2], [1]Agricultural University of Athens, Faculty of Natural Resources and Agricultural Engineering, 75 Iera Odos, Street, GR 11855 Athens, Greece
[2]NCSR"Demokritos", Laboratory of Solar and Other Energy Systems, 153-10 Aghia Paraskevi Attikis, Greece [*]e. mail esamsh@aua.gr

ABSTRACT

This paper presents a design, simulation and preliminary experimental results of a stand alone hybrid wind-photovoltaic system powering a reverse osmosis (RO) desalination unit with an energy recovery system of Clark pump type. This system is installed at the Agricultural University of Athens.

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.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτόνομους σταθμούς, μπορεί να στηρίζεται στη συνεργασία ηλεκτρικών πηγών διαφόρου είδους, όπου η μια πηγή να δρα συμπληρωματικά προς την άλλη, ώστε να μειώνεται το συνολικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος. Οι σταθμοί αυτού του τύπου ονομάζουνται «υβριδικοί», αφού αποτελούνται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών. Ειδικότερα, στα αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, η συνεργασία της Φ/Β γεννήτριας γίνεται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ντίζελ ή με ανεμογεννήτριες ή και με τα δύο.

Συχνά, η οικονομική σύγκριση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας ενός υβριδικού σε σχέση με το αντίστοιχο καθαρά φωτοβολταϊκό σύστημα, είναι θετική υπέρ του υβριδικού συστήματος [1].

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η προσομοίωση λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) που αποτελείται από ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά. Το υβριδικό σύστημα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανάκτηση ενέργειας. Επίσης παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα από την δοκιμή του συστήματος της αφαλάτωσης.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1 Περιγραφή του υβριδικού συστήματος

Το υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από μία ανεμογεννήτρια (Α/Γ) 1 kW και 845 Wp φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β). Η ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι συνδεδεμένα παράλληλα με τους συσσωρευτές μέσου των ρυθμιστών φόρτωσης, ένας για την ανεμογεννήτρια που είναι και ανορθωτής της ισχύς και ένας για τα Φ/Β πλαίσια Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση ηλιακών συσσωρευτών βαθιάς εκφόρτωσης χωρητικότητας 315 Ah (βλ. Πίνακα 1).

Ανεμογεννήτρια	Whisper H-80
Διάμετρος πτερυγίου	3 m
Αριθμός πτερυγίων	3
Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας	3.1 m/s
Μέγιστη ισχύ	1 kW
Ύψος ιστού	6 m
Γεννήτρια	3 Φ μεταβλητή συχνότητα και στροφές
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	Arco Solar
Μέγιστη ισχύ	47 Wp
Ρεύμα μέγιστης ισχύς	3.3 A
Τάση σημείου μέγιστης ισχύς	14.2 V
Ρεύμα βραχυκυκλώματος	3.9 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	22 V
Αριθμός πλαισίων σε σειρά	9
Αριθμός πλαισίων παράλληλα	2
Συσσωρευτές	FIAMM TMHD 425/3
Χωρητικότητα	315 Αη
Τάση ενός στοιχείου	2 V
Αριθμός στοιχείων σε σειρά	12
Αριθμός παράλληλων στοιχείων	1

Πίνακα 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του υβριδικού συστήματος

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

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 μέσου των φίλτρων. Ο κινητήρας της αντλίας είναι συνεχούς ρεύματος ισχύς 510 W, βλ. Πίνακα 2.

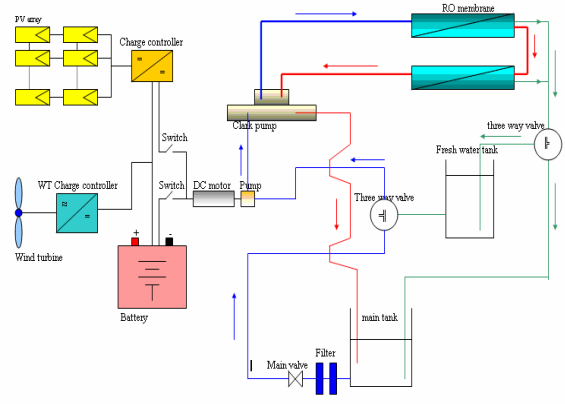
Η αντλία Clark pump, είναι η αντλία υψηλής πίεσης του συστήματος και ταυτόχρονα σύστημα ανάκτησης της ενέργειας από τη γραμμή της άλμης [2].

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.

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

Πίνακα 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα και της αντλίας

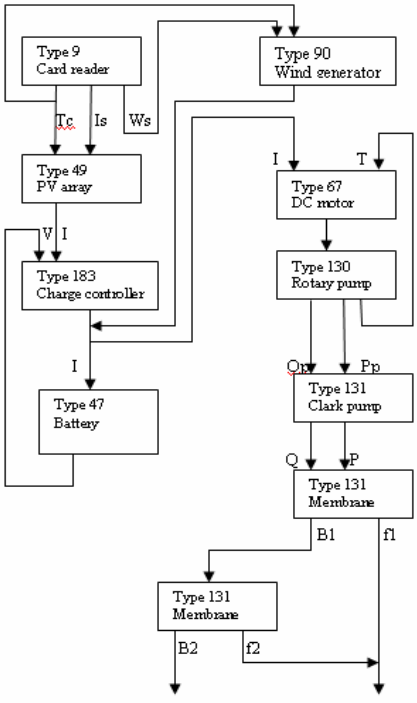
Ένα σχηματικό διάγραμμα του συστήματος και ο τρόπος σύνδεσης των διαφόρων συστημάτων απεικονίζεται στο σχήμα 1. Η μονάδα ανάκτησης της υδραυλική ενέργειας (Clark pump) κατατάσσεται στην πρώτη κατηγορία των ανακτητών.



Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση του συστήματος

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο σχεδιασμός και η εξομοίωση του υβριδικού συστήματος, καθώς και του συστήματος της αφαλάτωσης έγινε με την χρήση του προγράμματος TRNSYS 15. Το TRNSYS είναι ένα πρόγραμμα δυναμικής προσομοίωσης ενεργειακών συστημάτων με αρθρωτή μορφή. Το TRNSYS βασίζεται στην αρθρωτή του δομή για να λύνει μεγάλα συστήματα εξισώσεων που περιγράφονται από υποπρογράμματα γραμμένους σε FORTRAN. Κάθε υποπρόγραμμα της FORTRAN περιέχει ένα μοντέλο για ένα κομμάτι του συστήματος. Η μηχανή επίλυσης του TRNSYS καλεί τα υποπρογράμματα που αναφέρονται στο αρχείο εισόδου και προσπαθεί να βρει λύση για κάθε χρονικό βήμα. Οι συνδέσεις που μπορεί να έχουν τα διάφορα υποπρογράμματα είναι πολλές δίνοντας πολύ μεγάλη ελευθερία στο χρήστη. Επίσης ένα ακόμα χαρακτηριστικό που κάνει το πρόγραμμα τρομερά ευέλικτο είναι η δυνατότητα που δίνει στο χρήστη να γράψει ένα δικό του υποπρόγραμμα σε FORTRAN και να το ενσωματώσει στο TRNSYS [4].
Τα καινούρια υποπρογράμματα τα οποία έχουν συνδεθεί με το TRNSYS είναι το υποπρόγραμμα της μεμβράνης, της αντλίας και του συστήματος ανάκτηση της υδραυλικής ενέργειας της άλμης (Clark Pump) που αντικαθιστά την αντλία ψηλής πίεσης στο σύστημα αντίστροφης ώσμωσης. Στο Σχήμα 2 φαίνεται το διάγραμμα ροής του προγράμματος [5].



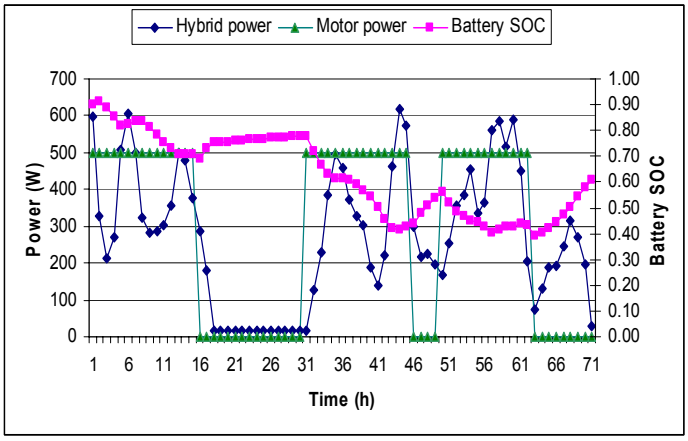
Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής του TRNSY 15

3.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της Αθήνας του 1985, ο Ιανουάριος έχει την χαμηλότερη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας και ο Ιούλιος την υψηλότερη τιμή, για το λόγο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης του συστήματος στους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο.

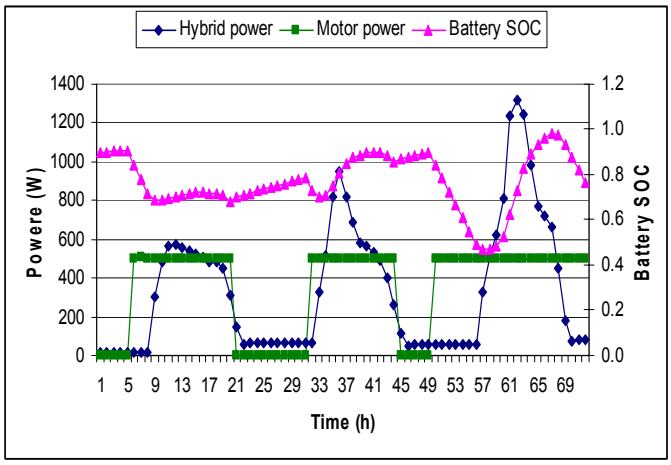
Ο στόχος της προσομοίωσης είναι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συστήματος αφαλάτωσης με υπαρκτή ικανοποιητικής κατάστασης φόρτωσης των συσσωρευτών.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του συστήματος τον μήνα Ιανουάριο. Το σύστημα της αντίστροφης όσμωσης λειτουργεί 12 ώρες/ ημέρα παράγοντας περίπου 1.3 m3/d, με ειδική κατανάλωση ενέργειας 5.5 kWh/m^3 διατηρώντας την κατάσταση φόρτωσης της μπαταρίας πάνω από 40%.



Σχήμα 3 : Προσομοίωση του συστήματος τον μήνα Ιανουάριο

Το μήνα Ιούλιο το σύστημα της αντίστροφης όσμωσης λειτουργεί 15 ώρες/ ημέρα παράγοντας περίπου 1.8 m3/d, με ειδική κατανάλωση ενέργειας 4 kWh/m^3 διατηρώντας την κατάσταση φόρτωσης της μπαταρίας πάνω από 40%. Η μείωση στην ειδική κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στης αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και εκεί ως αποτέλεσμα τη μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος ανά παραγόμενο κυβικό νερού (βλ. Σχήμα 4).



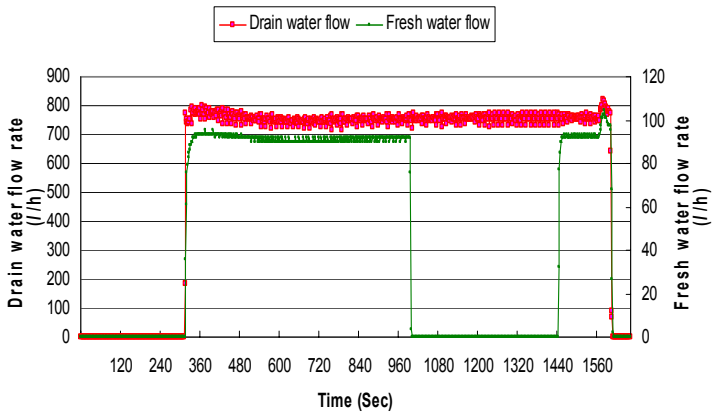
Σχήμα 4 : Προσομοίωση του συστήματος τον μήνα Ιούλιο

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

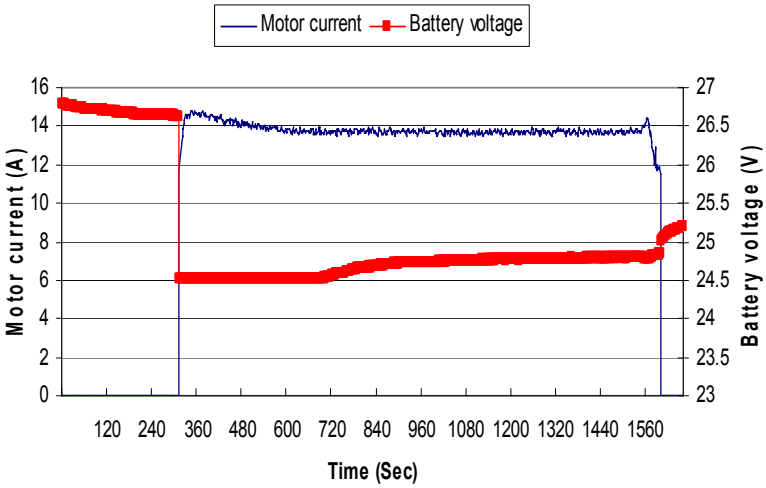
Οι παράμετροι οι οποί καταγράφηκαν στο σύστημα είναι :

- Παροχή του φρέσκου νερού και της άλμης
- Πίεση εισόδου και εξόδου της μεμβράνης
- Πίεση της αντλίας τροφοδοσίας
- Ρεύμα από τις συσσωρευτές
- Τάση συσσωρευτών
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα του φρέσκου νερού και της άλμης

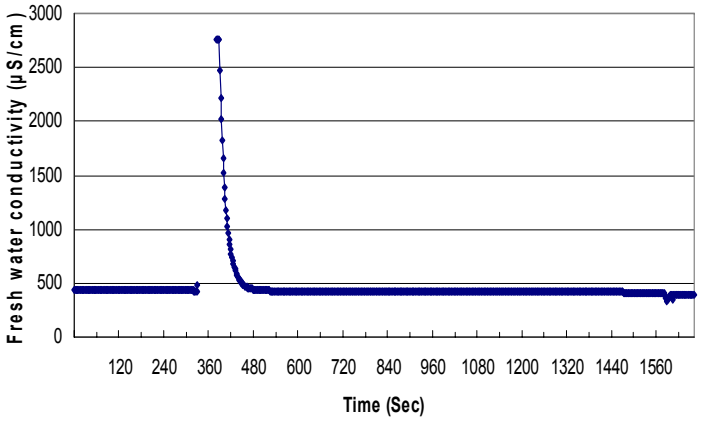
Η παροχή του φρέσκου νερού που καταγράφηκε την δεύτερη μέρα του Ιουνίου (βλ. Σχήμα 5), ήταν 92 *l*/h και το σύστημα λειτούργησε για 17 συνεχόμενες ώρες καταναλώνοντας 13.7 A ηλεκτρικό ρεύμα και 24.77 V (βλ. Σχήμα 6) τάση συσσωρευτή. Η ειδική κατανάλωση ενέργειας σε αυτό το μήνα ήταν 4.7 kWh/m^3. Η ποιότητα του φρέσκου νερού ήταν λιγότερο από το επιτρεπτό όριο της αλατότητας του πόσιμου νερού της παγκόσμιας οργάνωσης υγείας που είναι περίπου 1000 μS/cm (βλ. Σχήμα 5) .



Σχήμα 5: Παροχή φρέσκου νερού και άλμης



Σχήμα 6 : Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και τάση



Σχήμα : 7 Ποιότητα του παραγόμενο νερό

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα υβριδικά συστήματα είναι μια λύση τεχνικά εφικτή και οικονομικά αποδεκτή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μικρών συστημάτων αφαλάτωσης.
- Η ανάκτηση της υδραυλικής απορριπτόμενης ενέργειας της άλμης είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη μείωση της καταναλισκόμενης και της εγκαταστημένης ισχύς.
- Το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS 15 απεδείχθη κατάλληλο πρόγραμμα για το σχεδιασμό και προσομοίωση του δυναμικού ενεργειακού συστήματος .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Καγκαράκη Κ. (1992) *Φωτοβολταϊκή τεχνολογία,* εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
[2] Spectra (2003). *Clark Pump Field Repair & Rebuild Manual*, 22/08/03, Spectra Watermakers, San Rafael, California. Also available at: http://www.spectrawatermakers.com/documents/Repair3.pdf
[3] DOW (1995). *FILMTEC Membrane Elements - Technical Manual*, April 1995, Dow Liquid Separations. Also available at: http://www.dow.com/liquidseps/lit/down_lit.htm
[4] TRNSYS, a transient system simulation program manual, solar energy laboratory, University of Wisconsin – Madison, February 2000, USA
[5] Essam Sh. Mohamed and G. Papadakis, A TRNSYS dynamic simulation model for a stand alone pv system powering a reverse osmosis desalination unit with energy recovery systems. *In proceedings of the 19 th photovoltaic solar energy conference and exhibition,* 7 – 11 June 2004 Paris, France.

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΛΥΜΑΤΑ ΑΓΕΛΑΔΩΝ

Θ. Κωτσόπουλος, Δ. Βαφειάδης, Γ. Μαρτζόπουλος
Εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων στη Γεωργία
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Σχολή Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54006 Θεσσαλονίκη
Τηλ.: 2310998714, 6977602360 e-mail: mkotsop@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το υδρογόνο είναι μια ιδανική, καθαρή και εναλλακτική πηγή ενέργειας με υψηλή ενεργειακή αξία 122kJ/g. Σήμερα, η παραγωγή του υδρογόνου γίνεται κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα. Η αναερόβια επεξεργασία των ζωικών λυμάτων με παράλληλη παραγωγή υδρογόνου αποτελεί ένα πεδίο που χρήζει έρευνας. Στην παρούσα εργασία γίνεται λόγος των προοπτικών που υπάρχουν για παραγωγή υδρογόνου από ζωικά λύματα. Επιπλέον αναφέρονται χρήσιμα συμπεράσματα που προέκυψαν από πείραμα που έγινε με χρήση λυμάτων από αγελάδες.

PROSPECTS OF HYDROGEN PRODUCTION FROM CATTLE WASTES

Th. Kotsopoulos, D. Vafiadis, G. Martzopoulos
Laboratory of Alternative Energy Sources in Agriculture
Department of Hydraulics, Soil Sciences and Agricultural Engineering
School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki
Tel: 2310998714, 6977602360 e-mail: mkotsop@agro.auth.gr

ABSTRACT

Hydrogen is an ideal, clean and alternative energy source with high energy value 122kJ/g. Today, the production of hydrogen is mainly done from fossil fuels. Anaerobic treatment of animal wastes with parallel production of hydrogen is an area which requires investigation. This work refers to the prospects which exist for hydrogen production from animal wastes. Furthermore useful conclusion are reported from the experiment witch has be done with the use of cattle wastes.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ζωτικής σημασίας για την ευημερία και την οικονομική ανάπτυξη της κοινωνίας αποτελεί η επάρκεια ενέργειας. Σήμερα οι παγκόσμιες ανάγκες σε ενέργεια καλύπτονται από τα ορυκτά καύσιμα (περίπου 80% της παρούσας ενεργειακής ζήτησης)[1]. Αυτή η υπερβολική ζήτηση οδηγεί στην αύξηση της τιμής του πετρελαίου με επακόλουθο να δυσχεραίνεται η παγκόσμια οικονομία.

Η σημερινή εξάρτηση της παραγωγικής δραστηριότητας από τα ορυκτά καύσιμα, ως πρωταρχική πηγή ενέργειας επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον. Παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές, υποβάθμιση του περιβάλλοντος, και προβλήματα υγείας είναι το αποτέλεσμα της χρήσης των ορυκτών καυσίμων [2].

Το υδρογόνο έχει χαρακτηρισθεί από πολλούς ως το καύσιμο του μέλλοντος και όχι άδικα, εξαιτίας του ότι είναι καθαρό καύσιμο με υψηλή ενεργειακή απόδοση (122kJ/g)[3]. Είναι καθαρό, αποδοτικό καύσιμο και δεν παράγει τοξικά προϊόντα σε αντίθεση με τα άλλα ενεργειακά προϊόντα. (βλ. πίνακα 1) [4].

Πίνακας 1. Ποσότητες ρυπαντικού υλικού σε καυσαέρια τεσσάρων τύπων καυσίμου

Καύσιμο	Συγκέντρωση ρυπαντικού φορτίου στα καυσαέρια (kg/kg καυσίμου)					
Τύπος	CO_2	SO_2	N_XO	Σκόνη και άκαυστο υλικό	H_2O	$Pb(C_2H_5)_4$
C	1,893	0,012	0,008	0,1	0,633	0
CH_4	2,75	0,03	0,0075	0	2,154	0
C_8H_{17}	3,09	0,01	0,0115	0,85	1,254	0,001
H_2	0	0	0,016	0	7	0

Το υδρογόνο σήμερα παράγεται κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα, από τη βιομάζα και το νερό χρησιμοποιώντας χημικές ή βιολογικές μεθόδους. Η βιολογική παραγωγή υδρογόνου υπερέχει των άλλων μεθόδων γιατί είναι περιβαλλοντικά φιλική και απαιτεί λιγότερη κατανάλωση ενέργειας [1]. Η παραγωγή του υδρογόνου από βιομάζα χρησιμοποιώντας βιολογικές μεθόδους είναι μια ενδιαφέρουσα νέα αναπτυσσόμενη τεχνολογία, η οποία προσδίδει τη δυνατότητα της χρήσης ποικίλων πρώτων υλών για παραγωγή ενέργειας, όπως τη χρήση των λυμάτων [3]. Οι βιολογικές μέθοδοι αποδίδουν ενέργεια και παράγουν χρήσιμες χημικές ουσίες καθώς επιτυγχάνουν ως ένα βαθμό να ελέγξουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος [5]. Προς το παρόν έχει επιτευχθεί η παραγωγή υδρογόνου από οργανικά οικιακά λύματα καθώς και από λύματα βιομηχανιών τροφίμων[6][7]. Παραγωγή υδρογόνου από ζωικά λύματα δεν έχει ακόμη αναφερθεί.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στις δυνατότητες που υπάρχουν για παραγωγή υδρογόνου από ζωικά λύματα καθώς και στα συμπεράσματα που προέκυψαν από πείραμα που διεξήχθηκε χρησιμοποιώντας λύματα αγελάδων ως αρχικό μόλυσμα. Για τον λόγο αυτό η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στο να διαφανούν τυχόν προοπτικές

παραγωγής υδρογόνου από τα ζωικά λύματα και γίνεται εκτενής αναφορά στην αναερόβια αποικοδόμηση για την παραγωγή.

1.1. Βιολογικές μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου

Οι βιολογικές μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες[8]:

- Βιοφωτόλυση του νερού με χρήση φυκών και κυανοβακτηρίων.
- Φωτοδιάσπαση οργανικών ουσιών με φωτοσυνθετικά βακτήρια.
- Παραγωγή υδρογόνου με αναερόβια επεξεργασία οργανικών ουσιών.
- Υβριδικά συστήματα με χρήση φωτοσυνθετικών και ζυμωτικών βακτηρίων.

Η διαδικασία της βιοφωτόλυσης που γίνεται από τα φύκη είναι παρόμοια με αυτήν της φωτοσύνθεσης. Η βιοφωτόλυση περιλαμβάνει την απορρόφηση του φωτός από δύο εμφανή φωτοσυνθετικά συστήματα τα οποία λειτουργούν σε σειρά: η διάσπαση του νερού και η παραγωγή οξυγόνου (φωτοσύστημα II, PSII) και ένα δεύτερο φωτοσύστημα (PSI), το οποίο λειτουργεί αναγωγικά για τη μείωση του CO_2. Σε αυτήν τη διπλή διαδικασία, δύο φωτόνια (ένα ανά φωτοσύστημα) χρησιμοποιούνται για κάθε απομάκρυνση ηλεκτρονίου από το νερό και γίνεται μείωση του CO_2 ή παράγεται υδρογόνο. Στα φυτά μόνο μείωση του διοξειδίου του άνθρακα λαμβάνει χώρα διότι το ένζυμο που καταλύει το σχηματισμό υδρογόνου (υδρογενάση) απουσιάζει[9]. Ο ρυθμός παραγωγής του υδρογόνου με τη βιοφωτόλυση είναι χαμηλός, και εκτός αυτού μικρές ποσότητες οξυγόνου που παράγονται επιδρούν δυσμενώς στην υδρογενάση.

Τα κυανοβακτήρια είναι γνωστό ότι διασπούν το νερό, παρουσία φωτός, σε υδρογόνο και οξυγόνο σε αντιδράσεις που περιλαμβάνουν τη νιτρογενάση και την υδρογενάση. Στη διαδικασία αυτή όπως και στην προηγούμενη το οξυγόνο που παράγεται αναστέλλει τη δράση της υδρογενάσης.

Η φωτοδιάσπαση των οργανικών ουσιών για παραγωγή H_2 γίνεται με την παρακάτω γενική εξίσωση :

$$(CH_2O)_2 \xrightarrow[\uparrow ATP]{} \text{Ferredoxin} \longrightarrow \text{Nitrogenase} \xrightarrow[\uparrow ATP]{} H_2$$

Το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτό από τα φωτοσυνθετικά βακτήρια ως ακολούθως[10] :

$CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$

Τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας αυτής είναι: α) η υψηλή θεωρητική απόδοση, β) η ικανότητα χρήσης μεγάλου εύρους φάσματος φωτός, γ) η ικανότητα χρήσης οργανικής ουσίας που περιέχεται στα λύματα και δ) η έλλειψη παραγωγής οξυγόνου, το οποίο αναστέλλει διάφορα βιολογικά συστήματα.

Η παραγωγή υδρογόνου κατά τη διαδικασία της αναερόβιας αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών φαίνεται να υπερέχει έναντι των προηγούμενων βιολογικών διεργασιών διότι[1]:

- Τα ζυμωτικά βακτήρια εμφανίζουν πολύ υψηλή παραγωγή υδρογόνου.
- Υπάρχει σταθερή παραγωγή υδρογόνου κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας.
- Ο ρυθμός αύξησης των βακτηρίων είναι υψηλός άρα υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου λυμάτων.

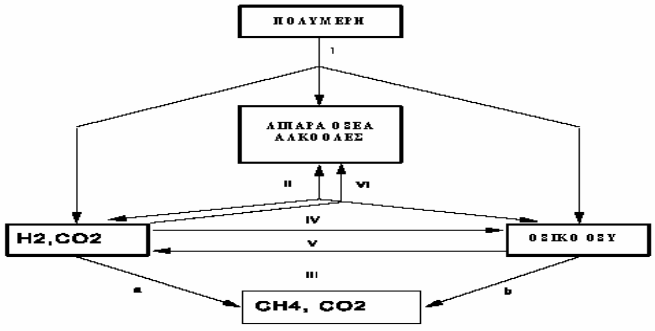
Γι' αυτούς τους λόγους η αναερόβια διάσπαση των οργανικών ουσιών πλεονεκτεί έναντι των φωτοχημικών διαδικασιών παραγωγής υδρογόνου. Τα υβριδικά συστήματα είναι συστήματα που χρησιμοποιούν συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων.

1.2. Αναερόβια αποικοδόμηση

Το γενικό μοντέλο που περιγράφει την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας (πολυμερή όπως υδρογονάνθρακες, πρωτεΐνες, και λίπη) κάτω από αναερόβιες συνθήκες λειτουργεί με τρεις κυρίως ομάδες βακτηρίων, τα οποία δουλεύοντας συνδυαστικά μετασχηματίζουν την οργανική ουσία σε μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Στο σχήμα 1 διακρίνονται τα στάδια της αναερόβιας βιοαποικοδόμησης [11]. Τα ζυμωτικά βακτήρια (ομάδα Ι) υδρολύουν με τη βοήθεια εξωκυτταρικών ενζύμων τα πολυμερή σε ολιγομερή και μονομερή.

Οι αλκοόλες και τα λιπαρά οξέα οξειδώνονται με τη βοήθεια βακτηρίων (ομάδα ΙΙ) και σχηματίζουν οξικό οξύ και μυρμηκικό οξύ με παράλληλη παραγωγή υδρογόνου και CO_2. Τα ενδιάμεσα προϊόντα που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια των βακτηρίων των ομάδων Ι και ΙΙ μετασχηματίζονται σε μεθάνιο με τη βοήθεια των μεθανογενών βακτηρίων (ομάδα ΙΙΙ, περιλαμβάνει τα βακτήρια που καταναλώνουν το υδρογόνο (a) καθώς και τα βακτήρια που καταναλώνουν το οξικό οξύ (b) για την παραγωγή μεθανίου).

Τα τρία στάδια της αναερόβιας αποικοδόμησης όπως αναλύθηκαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δοθεί μια γενική εικόνα σχετικά με τη διαδικασία. Το μοντέλο που περιγράφει καλύτερα τη βιοαποικοδόμηση περιλαμβάνει και άλλες ομάδες βακτηρίων οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία.



Σχήμα 1. Μοντέλο αναερόβιας αποικοδόμησης

Τα βακτήρια της ομάδας (IV) (homoacetogenic bacteria) χρησιμοποιούν το υδρογόνο για τη δημιουργία του οξικού οξέος. Μια ειδική υποκατηγορία της προηγούμενης ομάδας, που αντιστρέφει όμως τη διαδικασία, είναι τα βακτήρια που οξειδώνουν το οξικό οξύ σε υδρογόνο, διαδικασία (V).

Η ομάδα (VI) περιλαμβάνει βακτήρια τα οποία είναι ικανά να αντιστρέψουν τη διαδικασία που προκαλούν τα βακτήρια της ομάδας (II).

Επομένως κατά την αναερόβια αποικοδόμηση παράγεται υδρογόνο το οποίο όμως καταναλώνεται ραγδαίως για την παραγωγή είτε μεθανίου είτε οξικού οξέος. Η κύρια οδός μέσω της οποίας καταναλώνεται κυρίως το υδρογόνο είναι η μεθανογένεση. Εάν βρεθεί τρόπος να σταματήσουν οι διαδικασίες κατανάλωσης του υδρογόνου, το υδρογόνο που παράγεται θα απελευθερωθεί.

Το υδρογόνο παράγεται κυρίως κατά το στάδιο της παραγωγής των κατώτερων λιπαρών οξέων όπως οξικό οξύ καθώς και βουτυρικό οξύ σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις[12]:

$$C_{12}H_{22}O_{11} + 5H_2O \longrightarrow 4CH_3COOH + 4CO_2 + 8H_2$$

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow 2CH_3CH_2CH_2COOH + 4CO_2 + 4H_2$$

Τα τελευταία έτη κάποιοι ερευνητές πέτυχαν την παραγωγή υδρογόνου από απόβλητα βιομηχανίας τροφίμων [7], και από οικιακά λύματα [13] μειώνοντας τον υδραυλικό χρόνο συγκράτησης των αποβλήτων (HRT) σε επίπεδα της μισής ώρα με μία. Μια άλλη παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε για να διακοπεί η μεθανογένεση και να παραχθεί υδρογόνο ήταν το pH το οποίο κυμάνθηκε σε πολύ όξινο περιβάλλον[14]. Οι δύο παραπάνω τρόποι αποσκοπούσαν στο να διακοπεί η μεθανογένεση δεδομένου ότι τα μεθανογενή βακτήρια αναπτύσσονται σε ουδέτερο περιβάλλον και απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο ανάπτυξης σε σχέση με τα οξεογενή βακτήρια. Η παραγωγή υδρογόνου από ζωικά απόβλητα δεν έχει ακόμη επιτευχθεί διότι δεν έχει βρεθεί μέθοδος διακοπής της διαδικασίας μεθανογένεσης σε αυτά.

Η παραγωγή του μεθανίου σε θερμοκρασία 70°C είναι δύσκολη [15][16][17]. Επομένως ένας τρόπος που πιθανόν να βοηθάει στην παραγωγή του υδρογόνου είναι η χρήση αυτής της θερμοκρασίας. Στο πείραμα που έγινε, χρησιμοποιήθηκε η θερμοκρασία αυτή και βγήκαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την παραγωγή υδρογόνου από λύματα αγελάδων.

2. ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε δοκιμάστηκαν λύματα αγελάδων τα οποία πάρθηκαν από αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης (CSTR: Continuously Stirred Tank Reactor) ο οποίος λειτουργούσε στη θερμόφιλη ζώνη στους 55°C για παραγωγή μεθανίου. Τα λύματα τοποθετήθηκαν μετέπειτα σε αντιδραστήρα ανοδικής ροής λυμάτων διαμέσου αναερόβιας στρώσης λάσπης (UASB: Upflow Anaerobic Sludge

Blanket Reactor) που λειτουργούσε σε θερμοκρασία 70°C. Μέσα στον αντιδραστήρα αυτόν τοποθετήθηκαν 110ml διαλύματος (βασικό διάλυμα ανάπτυξης αναερόβιων βακτηρίων) το οποίο περιείχε την πιο κάτω σύσταση σε (mg/lt): NH_4Cl 1000; NaCl 100; $MgCl_2.6H_2O$ 100; $CaCl_2.2H_2O$ 50; $K_2HPO_4.3H_2O$ 400; Resazurin 0,5; $FeCl_2.4H_2O$ 2; H_3BO_3 0,05; $ZnCl_2$ 0,05; $CuCl_2$ 0,03; $MnCl_2.4H_2O$ 0,05; $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.H_2O$ 0,05; $AlCl_3$ 0,05; $CoCl_2.6H_2O$ 0,05; $NiCl_2$ 0,05; EDTA 0,5; H_2SeO_3 0,49; $NaHCO_3$ 2500; Na_2S 250 και διάλυμα βιταμίνης όπως αναφέρεται από τους Angelidaki et al. [18]. Επίσης τοποθετήθηκε μέσα στον αντιδραστήρα 1gr γλυκόζης.

Ο αντιδραστήρας που χρησιμοποιήθηκε είχε όγκο 220ml και ήταν κατασκευασμένος από διπλό γυαλί. Η θερμοκρασία των 70°C επιτεύχθηκε με τη ροή νερού ίδιας θερμοκρασίας μεταξύ των τοιχωμάτων. Ο αντιδραστήρας λειτουργούσε μόνο με ανακυκλοφορία των λυμάτων και όχι με συνεχόμενη τροφοδότηση με λύματα. Η ανακυκλοφορία γινόταν με τη χρήση περισταλτικής αντλίας.

Η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου μετρήθηκε με τη μέτρηση της ποσότητας του νερού που απομάκρυνε το βιοαέριο. Το υδρογόνο, το μεθάνιο και το CO_2 στην αέρια φάση αναλύθηκε με τη χρήση αέριου χρωματογράφου ο οποίος ήταν εξοπλισμένος με έναν αναλυτή θερμικής αγωγής (TCD) και μία στήλη Porapak Q (50/80 mesh). Η θερμοκρασία λειτουργίας της εισόδου έκχυσης ήταν 100^0C, του φούρνου ήταν 55°C για το διοξείδιο του άνθρακα και οι 80°C για το υδρογόνο, και του αναλυτή η θερμοκρασία ήταν οι 100^0C. Σαν φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε το Ήλιο με παροχή 30ml/min.

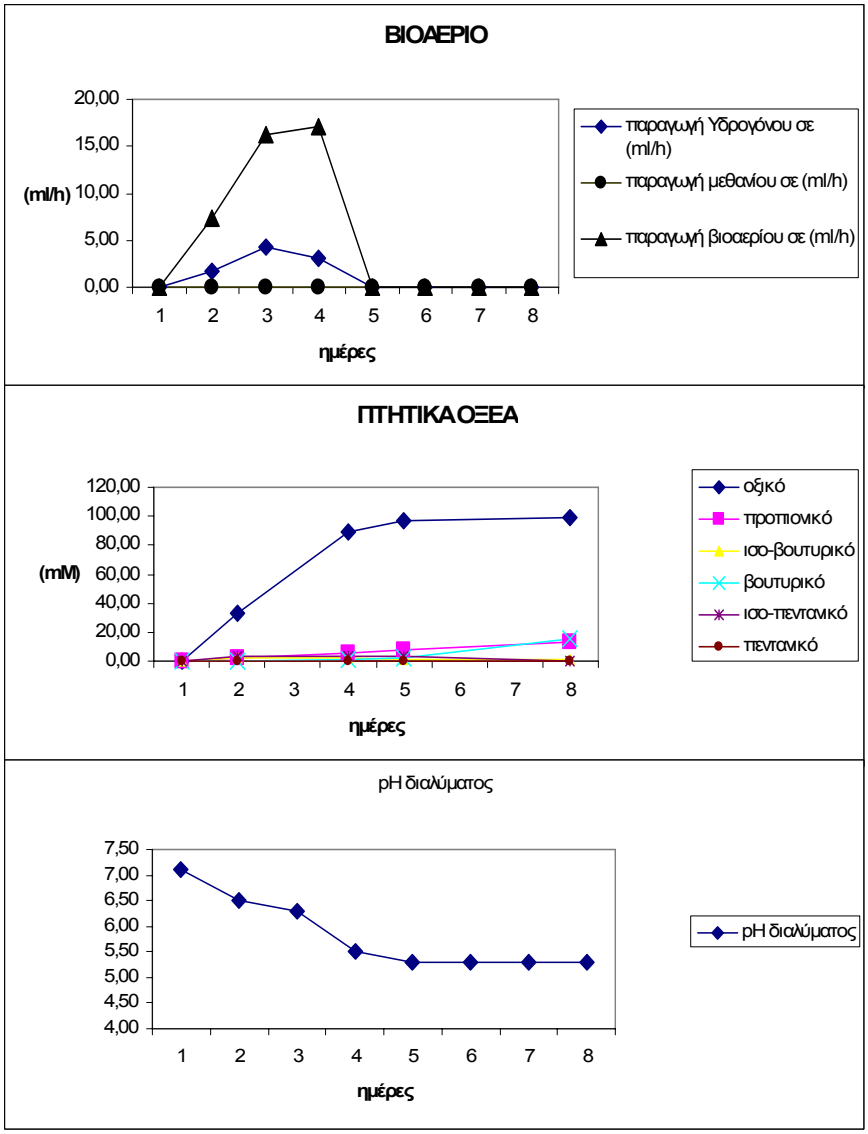
Η συγκέντρωση των κατώτερων λιπαρών οξέων μετρήθηκε με τη βοήθεια αέριου χρωματογράφου (HP 5890 series II), ο οποίος ήταν με έναν αναλυτή φλόγας ιόντων και μια HP FFAP στήλη (διαστάσεων 30m_0.53mm_1.0 mm). Η αρχική θερμοκρασία της στήλης ήταν οι 70^0C και η θερμοκρασία αυξανόταν μέχρι τους 190^0C με ρυθμό 10^0C/min. Πριν εισαχθούν τα διαλύματα για ανάλυση, το διάλυμα γινόταν όξινο με τη χρήση φωσφορικού οξέος 17%.

Κάθε ημέρα γινόταν τροφοδότηση του αντιδραστήρα με γλυκόζη 0,5g. και παράλληλα λαμβάνονταν μετρήσεις της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου, της σύνθεσής του, του pH, καθώς και της συγκέντρωσης των λιπαρών οξέων (VFA) μέσα στον αντιδραστήρα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που μετρήθηκαν εμφανίζονται στα παρακάτω διαγράμματα του σχήματος 2. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι:

- Δεν υπήρξε παραγωγή μεθανίου.
- Υπήρξε παραγωγή υδρογόνου από την αρχή που τοποθετήθηκαν τα λύματα στον αντιδραστήρα.
- Η παραγωγή γενικώς του βιοαερίου σταμάτησε σε διάστημα λίγων ημερών.
- Οξικό οξύ ήταν το κύριο λιπαρό οξύ που παραγόταν.
- Το pH έπεσε γύρω στο 5 σε σύντομο σχετικά διάστημα.



Σχήμα 2. Χρονική Μεταβολή του βιοαερίου, του pH και των πτητικών οξέων.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η υψηλή θερμοκρασία ανέστειλε τη δράση των μεθανογενών βακτηρίων τουλάχιστον για το χρονικό διάστημα που αναφέρεται στο πείραμα. Υπήρξε παραγωγή υδρογόνου έστω και για μικρό σχετικά διάστημα. Πιθανόν το χαμηλό pH ή η υψηλή συγκέντρωση οξικού οξέος ανέστειλε την παραγωγή του βιοαερίου. Επίσης η άμεση σχεδόν παραγωγή βιοαερίου από την τοποθέτηση των λυμάτων στον αντιδραστήρα δείχνει ότι τα οξεογενή βακτήρια αναπτύσσονται ταχύτατα ακόμη και σε αυτή τη θερμοκρασία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Debabrata D., Veziroglou TN. 2001. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature. Int. J Hydrogen Energy 26:13-28.
2. Bockris JO'M. 2002. The origin of ideas on a hydrogen economy and its solution to the decay of the environment. Int. J Hydrogen Energy 27:731-40.
3. Levin DB., Pitt L., Love M. 2003. Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. Int. J Hydrogen Energy 29:173-85.
4. Arienti R. and Nicoletti G. 1990. La definizione di un indice entropico ambientale di alcuni combustibili, 45th Cngresso Nazionale A.T.I., Cagliari.
5. Angenent LT., Karim K., Al-Dahhan MH., Wrenn BA., Espinosa RD. 2004. Production of bioenergy and biochemicls from industrial and agricultural wastewater. Trends in Biotechnology 22:477-85.
6. Yu H., Zhu Z., Hu W., Zhang H. 2002. Hydrogen production from rice winery wastewater in an upflow anaerobic reactor by using mixed anaerobic cultures. Int. J Hydrogen Energy 27:1359-65.
7. Han SK., Shin HS. 2004. Biohydrogen production by anaerobic fermentation of food waste. Int. J Hydrogen Energy 29:569-77.
8. Vijayaraghavan K., Soom MAM. 2004. Trends in biological hydrogen production – a review. Int. J Hydrogen Energy , in press.
9. Ramachandran R., Menon RK. 1998. An overview of industrial use of hydrogen. . Int. J Hydrogen Energy 23:593-8.
10. Uffen RL. 1976. Anaerobic growth of a Rhodopseudomonas species in the dark with carbon monoxide as sole source of carbon and energy substrate. Pro Natl Acad Sci USA 73:3298-302.
11. Angelidaki I., Schmidt JE. 2003. THE ANAEROBIC PROCESS, Chapter 3, Anaerobic Microbiology. Environment & Resources DTU.
12. Khanal S.K., Chen WH., Li L., Sung S. 2004. Biological hydrogen production: effects of pH and intermediate products. Int. J Hydrogen Energy 29:1123-31.
13. Hawkes F. R., Dinsdale R., Hawkes D.L., Hussy I. 2002. Sustainable fermentative hydrogen production: challenges for process optimization. Int. J Hydrogen Energy 27: 1339-47.
14. Fang H.P., Liu H. 2002. Effect of pH on hydrogen production from glucose by a mixed culture. Bioresource Technology 82:87-93.
15. Lepisto R., Rintala J. 1997. The effect of extreme temperatures (70-80°C) on the effluent quality and sludge characteristics of UASB reactors. Wat. Sci. Tech. 36:325-32.
16. Lepisto R., Rintala J. 1999. Extreme thermophilic (70°C), VFA-FED UASB reactor: Performance, temperature response, load potential and comparison with 35 and 55°C UASB reactors. Wat. Res. 33:3162-70.
17. Lepisto R., Rintala J. 1999. Kinetics and characteristics of 70°C, VFA-grown, UASB granular sludge. Appl. Microbiol. Biotechnol. 52: 730-6.
18. Angelidaki I., Petersen SP., Ahring BK. 1990. Effects of lipids on thermophilic anaerobic-digestion and reduction of lipid inhibition upon addition of bentonite. APPL. MICROBIOL. BIOT. 33: 469-72.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΥΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ-ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Γεώργιος Δ. Κυριακαράκος, Γεώργιος Σ. Παπαδάκης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046 e-mail: gκ@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία έχει γίνει προσομοίωση για τη διάρκεια ενός έτους δυο φωτοβολταϊκών αντλητικών συστημάτων που αποτελούνται από φωτοβολταϊκά, ελεγκτή μέγιστης ισχύος, ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος και φυγόκεντρη αντλία. Η διαφορά του ενός συστήματος από το άλλο έγκειται στον τύπο του χρησιμοποιούμενου ηλεκτροκινητήρα. Στη μία περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ηλεκτροκινητήρας διέγερσης σειράς και στην άλλη ηλεκτροκινητήρας ξένης διέγερσης. Η προσομοίωση έγινε με το λογισμικό TRNSYS. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η χρήση ηλεκτροκινητήρα ξένης διέγερσης είναι προτιμότερη γιατί μπορούμε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα σε όγκο αντλούμενου νερού με μικρότερη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

TECHNICAL ANALYSIS AND COMPARISON OF TWO PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEMS THROUGH NUMERICAL SIMULATION

George D. Kyriakarakos, George S. Papadakis

Agricultural University of Athens
Department of Natural Resources and Agricultural Engineering
Laboratory of Agricultural Engineering
Iera odos St. 75, 11855 Athens tel. 210 5294046 email: gk@aua.gr

ABSTRACT

In this paper a one year simulation has taken place for two photovoltaic water pumping systems which include photovoltaic panels, maximum power point tracker, direct current electricity generator and centrifugal pump. The difference between the two systems lies on the type of the used generator. In the first case a series dc generator is used and in the second a separately excited dc generator. The simulation took place with the software package TRNSYS. The results of the simulation show that the use of a separately excited dc generator is preferred because we can achieve the same results in the volume of the pumped water with a smaller photovoltaic array.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εποχή μας η καθημερινή μας ζωή βασίζεται πάνω σε τεχνολογικά αγαθά όσο ποτέ άλλοτε. Τα περισσότερα από τα αγαθά αυτά απαιτούν την κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας και ειδικότερα ηλεκτρικής ενέργειας. Από το 1970 μέχρι σήμερα έχει διπλασιαστεί η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ενώ ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης μεγαλώνει συνεχώς. Οι συμβατικές μέθοδοι παραγωγής ενέργειας καταφέρνουν να καλύψουν αυτή τη ζήτηση με πολύ μεγάλο όμως περιβαλλοντικό κόστος, κόστος που πια δεν μπορεί να αγνοηθεί από κανέναν[1].

Στις ημέρες μας επίσης, η αναγκαιότητα του νερού είναι σημαντική. Το νερό είναι ένα αγαθό σε έλλειψη και τα τελευταία χρόνια οι δαπάνες για εξασφάλιση του μεγάλες όσο ποτέ. Ακόμα όμως και έτσι υπάρχουν πολλές περιοχές του πλανήτη οι οποίες βιώνουν καθημερινά την έλλειψη του νερού.

Οι επιλογές για την άντληση νερού σε απομακρυσμένες περιοχές τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί σημαντικά με τη χρήση αντλιών που παίρνουν ενέργεια είτε από τον ήλιο είτε από τον άνεμο με τη χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών αντίστοιχα. Τα συστήματα που βασίζονται στα φωτοβολταϊκά έχουν επιδείξει τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε συνδυασμό με το μικρότερο κόστος σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών[1].

Ειδικότερα στη γεωργία αυτόνομα συστήματα άντλησης νερού μπορούν να καλύψουν τις αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών, όπως και την απαραίτητη παροχή νερού σε κτηνοτροφικές μονάδες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε αύξηση της παραγωγής με αρκετά ανταγωνιστικό κόστος[1].

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όπως είδαμε το ενδιαφέρον για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα άντλησης νερού είναι μεγάλο. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε να γίνει σύγκριση δύο συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Τα συστήματα για τα οποία έγινε η σύγκριση είναι δύο που περιλαμβάνουν φωτοβολταϊκά, ελεγκτή μέγιστης ισχύος, ηλεκτροκινητήρα και φυγόκεντρη αντλία. Η διαφορά του ενός συστήματος από το άλλο έγκειται στον τύπο του χρησιμοποιούμενου ηλεκτροκινητήρα. Στη μία περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ηλεκτροκινητήρας διέγερσης σειράς και στην άλλη ηλεκτροκινητήρας

ξένης διέγερσης. Σκοπός ήταν να κατανοήσουμε τη λειτουργία του κάθε υποσυστήματος θεωρητικά και μέσω της προσομοίωσης να δούμε πως αλληλεπιδρούν αυτά τα υποσυστήματα μεταξύ τους, δίνοντας βάρος στην τελική απόδοση σε ποσότητα αντλούμενου νερού.

Η τεχνική ανάλυση και σύγκριση των δύο συστημάτων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου TRNSYS[2]. Οι ρουτίνες που χρησιμοποιήθηκαν είτε ήταν ενσωματωμένες στο λογισμικό πακέτο, είτε γράφηκαν από τον Jürgen Helmut Eckstein[3] και προστέθηκαν στο πακέτο. Πιο συγκεκριμένα οι ρουτίνες που ενσωματώθηκαν στον κώδικα του TRNSYS αφορούν τη φυγόκεντρη αντλία με το υδραυλικό φορτίο, τον ελεγκτή μέγιστης ισχύος και τους ηλεκτροκινητήρες.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Διάταξη φωτοβολταϊκών συστημάτων

3.1.1 Φωτοβολταϊκά

Χρησιμοποιήθηκαν πάνελ πυριτίου Solarex MSX-30, 140 σε σύνολο, ανά 12 ήταν συνδεδεμένα σε σειρά και ανά 9 συνδεδεμένα παράλληλα. Η κλίση των πάνελ είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας εγκατάστασης που για την Αθήνα είναι 38°. Τα χαρακτηριστικά όπως δίνονται από τον κατασκευαστή φαίνονται στον πίνακα 2.2.1.

3.1.2 Φυγόκεντρη αντλία

Χρησιμοποιήθηκε φυγόκεντρη αντλία με ονομαστική παροχή ίση με 5 l/s και ονομαστικό μανομετρικό ίσο με 45 m

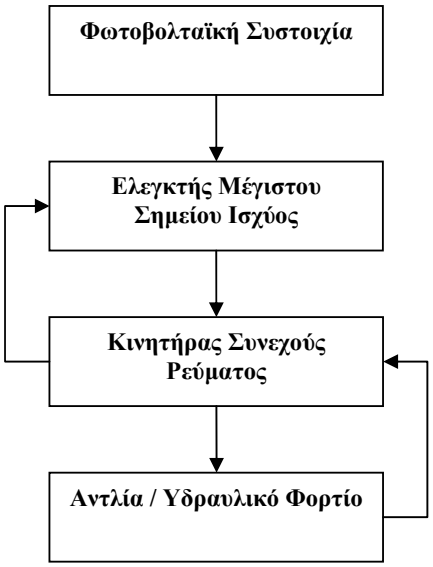
3.1.3 Ελεγκτής σημείου μέγιστης ισχύος

Χρησιμοποιήθηκε ένας τυπικός ελεγκτής με απόδοση 97%

3.1.4 Ηλεκτροκινητήρες

Ο πρώτος είναι ένας διέγερσης σειράς και ο δεύτερος ένας ξένης διέγερσης ηλεκτροκινητήρας. Και οι δύο έχουν ονομαστική ισχύ 5 HP (3.68 kW).

3.2 Διάγραμμα ροής του συστήματος

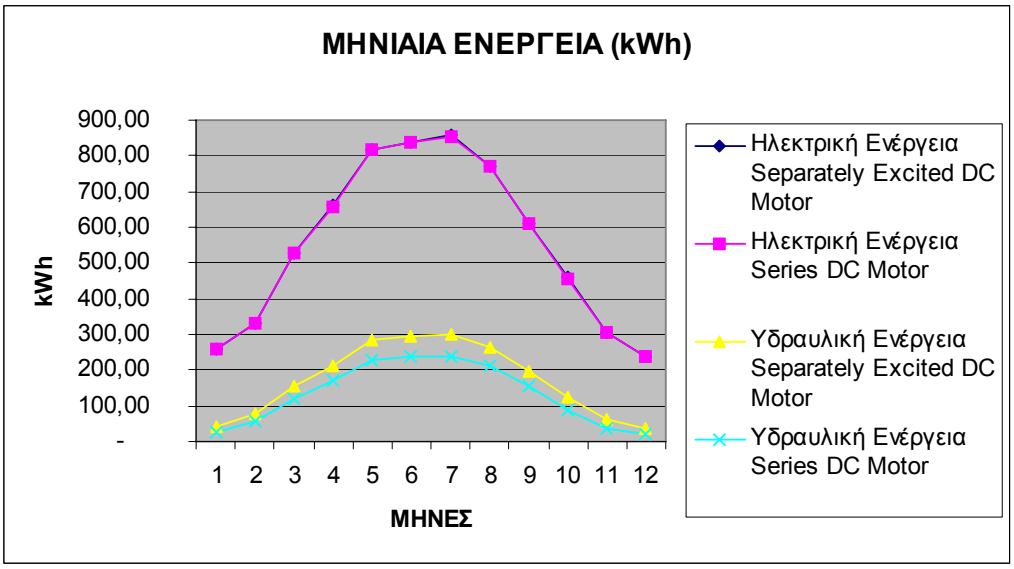


Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής του συστήματος

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

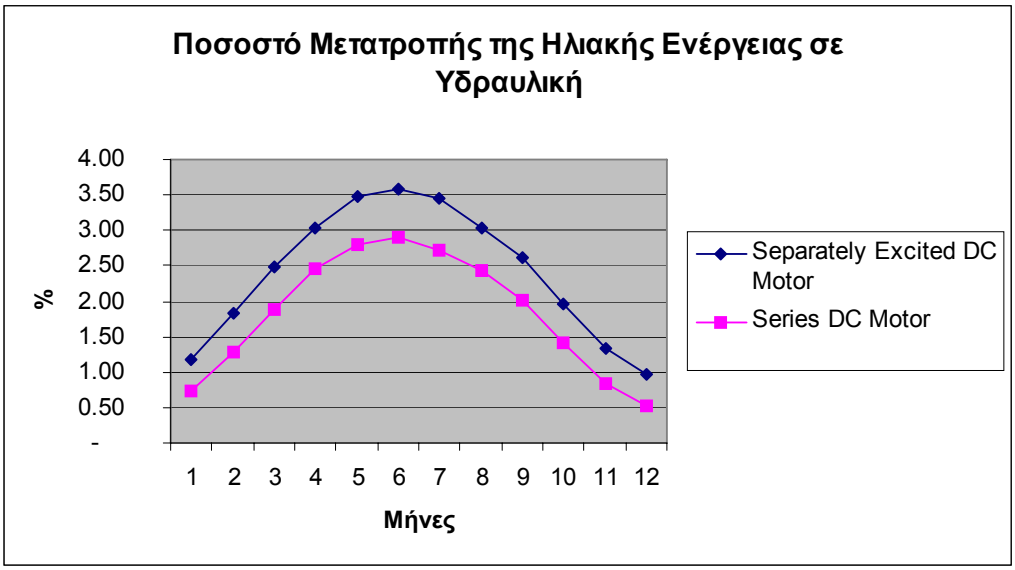
4.1 Ενεργειακά αποτελέσματα

Από τις προσομοιώσεις που έγιναν πήραμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα.



Εικόνα 2: Ηλεκτρική και Υδραυλική ενέργεια

Από την Εικόνα 2 γίνεται φανερή η υπεροχή του συστήματος που χρησιμοποιεί τον ξένης διέγερσης κινητήρα. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι πρακτικά η ίδια και στους δύο ηλεκτροκινητήρες πράγμα που δικαιολογείται από το γεγονός ότι τροφοδοτούνται από την ίδια συστοιχία φωτοβολταϊκών. Όμως το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον κινητήρα ξένης διέγερσης μετατρέπει μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη ισχύ που μπορεί να αποδώσει με μικρότερο ρεύμα εισόδου. Αυτή η μεγαλύτερη ισχύς επιτρέπει την έναρξη λειτουργίας της αντλίας με μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο όγκο αντλούμενου νερού.

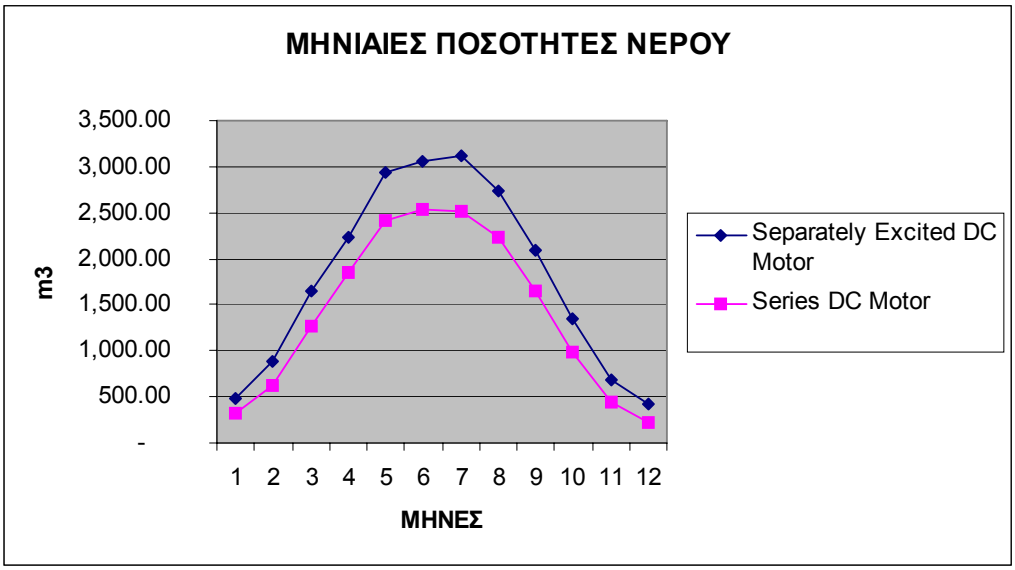


Εικόνα 3: Ποσοστό Μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε υδραυλική

Ενεργειακά τέλος είναι ενδιαφέρον να δούμε το συνολικό ενεργειακό βαθμό απόδοσης των προς σύγκριση συστημάτων, δηλαδή το ποσοστό μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε υδραυλική σε κάθε περίπτωση. Από την εικόνα 3 μπορούμε να δούμε καθαρά πως το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον κινητήρα ξένης διέγερσης πλεονεκτεί σε όλη τη διάρκεια του έτους με το πλεονέκτημα να είναι μεγαλύτερο τους μήνες με μεγάλη ηλιακή ακτινοβολία. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, πως για εφαρμογές άντλησης νερού με τη χρήση κινητήρα συνεχούς ρεύματος ο κινητήρας ξένης διέγερσης αποδίδει καλύτερα και θα πρέπει να προτιμάται παρά το μεγαλύτερο κόστος του.

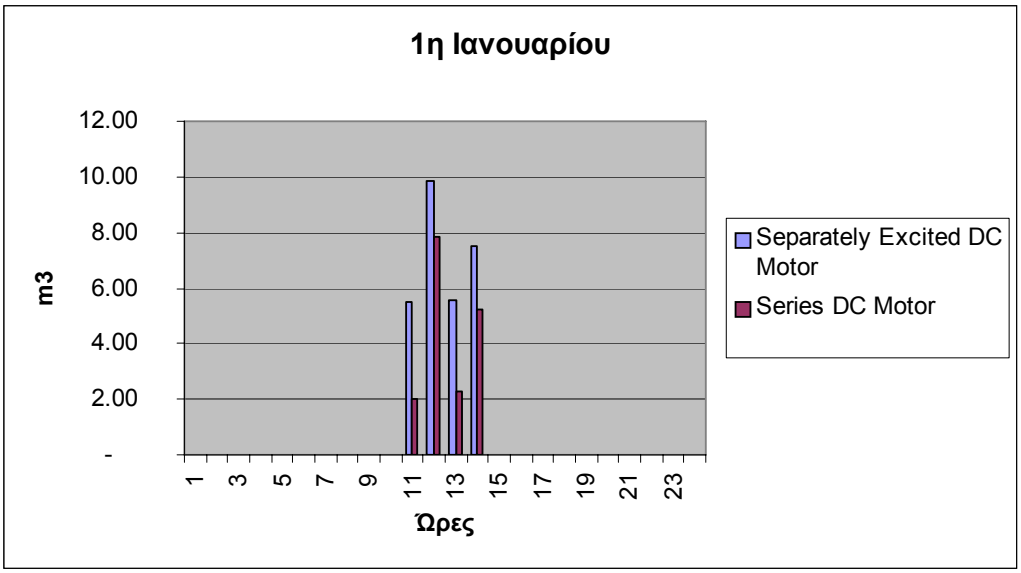
4.2 Αποτελέσματα άντλησης νερού

Ο σκοπός των συστημάτων που εξετάσαμε είναι η άντληση νερού και η τελική σύγκριση μπορεί να γίνει μόνο μέσα από συγκρίσεις στην παροχή νερού για ένα ολόκληρο έτος. Στην εικόνα 4 φαίνεται η παροχή και των δύο συστημάτων στη διάρκεια του έτους.

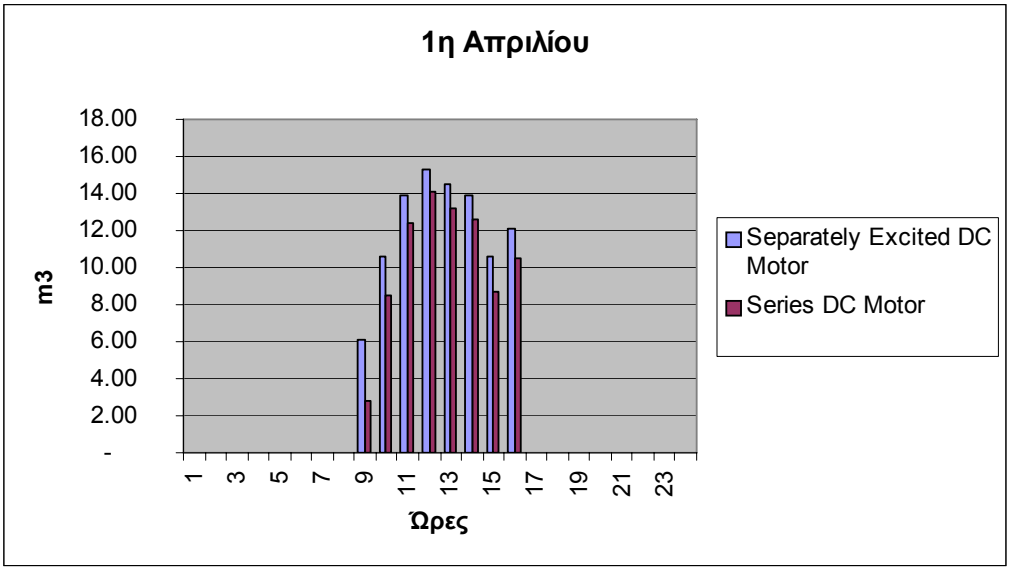


Εικόνα 4: Μηνιαίες Ποσότητες Νερού

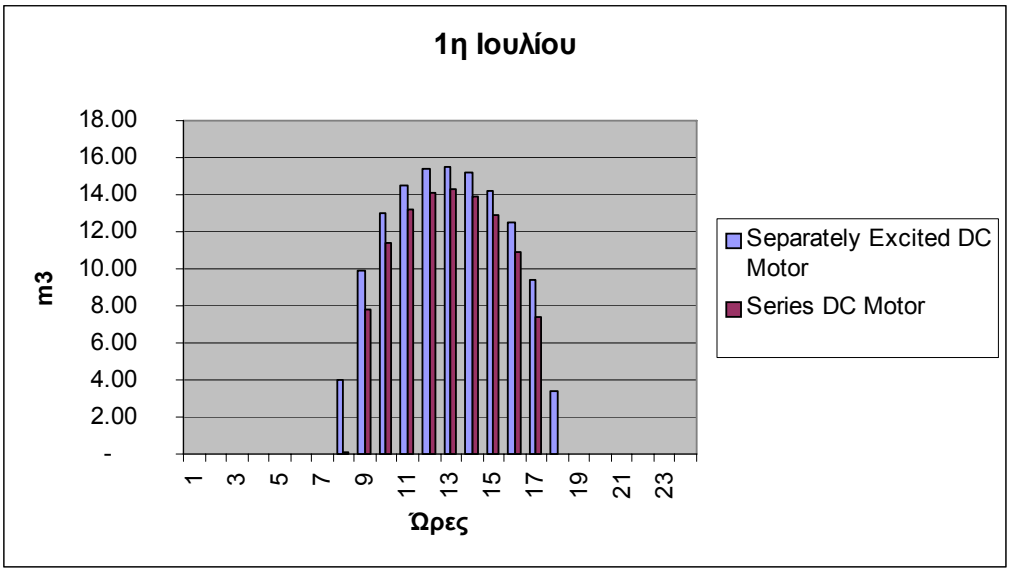
Η συνολική παροχή νερού των δύο συστημάτων είναι για το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον ηλεκτροκινητήρα διέγερσης σειράς 17067.15 m^3, ενώ για το σύστημα με τον κινητήρα ξένης διέγερσης είναι 21621.24 m^3. Είναι φανερό πως το σύστημα που είναι εφοδιασμένο με τον κινητήρα ξένης διέγερσης παράγει πολύ περισσότερο νερό. Επίσης στις εικόνες 5, 6, 7 και 8 παρουσιάζονται ημερήσια στοιχεία για τη λειτουργία του κάθε συστήματος για 4 αντιπροσωπευτικές ημέρες του έτους (1 από κάθε εποχή) για να γίνει φανερό και ποιες είναι οι διαφορές στην απόδοση των δύο συστημάτων κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Το σύστημα με τον κινητήρα ξένης διέγερσης αντλεί περισσότερο νερό σε όλη τη διάρκεια του έτους και μάλιστα αρχίζει να αντλεί νωρίτερα το πρωί και τελειώνει την άντληση αργότερα το απόγευμα.



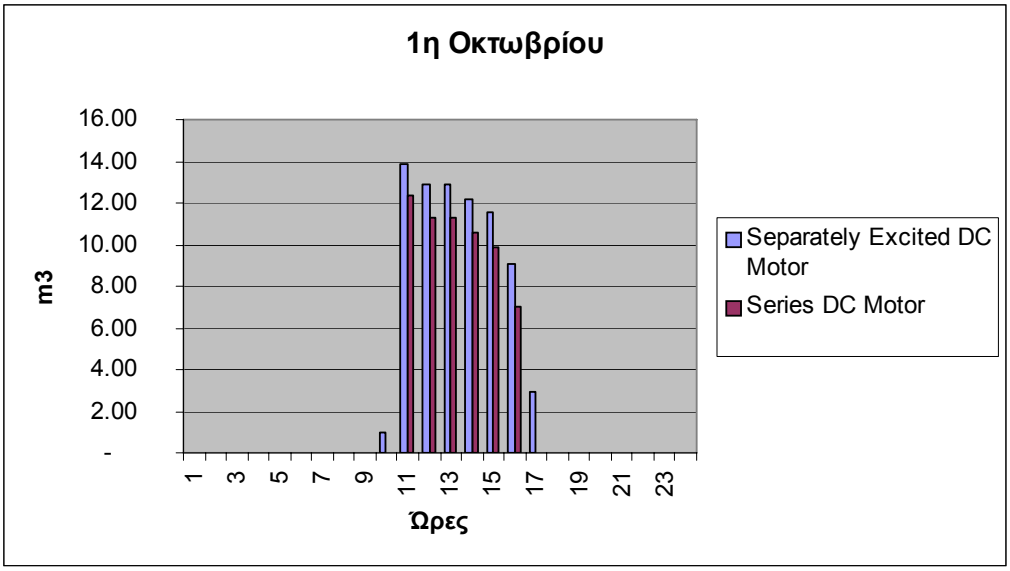
Εικόνα 5: Ωριαίες Ποσότητες Νερού 1η Ιανουαρίου



Εικόνα 6: Ωριαίες Ποσότητες Νερού 1η Απριλίου



Εικόνα 7: Ωριαίες Ποσότητες Νερού 1η Ιουλίου



Εικόνα 8: Ωριαίες Ποσότητες Νερού 1η Οκτωβρίου

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

- Είναι φανερό πως το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον ξένης διέγερσης ηλεκτροκινητήρα πλεονεκτεί κατά πολύ σε σχέση με το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον ηλεκτροκινητήρα διέγερσης σειράς. Η διαφορά αυτή είναι πολύ μεγάλη αγγίζοντας το 27% στο αντλούμενο νερό κατά τη διάρκεια ενός έτους.
- Το σύστημα με τον ξένης διέγερσης ηλεκτροκινητήρα ξεκινά να αντλεί νερό νωρίτερα το πρωί και σταματά να αντλεί νερό αργότερα το απόγευμα από το σύστημα με τον ηλεκτροκινητήρα διέγερσης σειράς.
- Τις χειμωνιάτικες ημέρες με μικρή ηλιοφάνεια το σύστημα με τον κινητήρα διέγερσης σειράς αντλεί σημαντικά μικρότερες ποσότητες νερού σε σύγκριση με το σύστημα που είναι εξοπλισμένο με τον κινητήρα ξένης διέγερσης.
- Η μεγαλύτερη ποσότητα αντλούμενου νερού παραλαμβάνεται κατά τους θερινούς μήνες και η μικρότερη κατά τους χειμερινούς, πράγμα αναμενόμενο.
- Η αρθρωτή δομή του TRNSYS έκανε εύκολη την προσομοίωση των πραγματικών παραμέτρων του συστήματος. Η επιφάνεια εργασίας δεν είναι πλήρως γραφική ειδικά όσο αφορά την κατασκευή του αρχείου εισόδου, πράγμα που δυσκολεύει αρχικά το χρήστη. Όμως όταν ο χρήστης εξοικειωθεί με το πρόγραμμα γίνονται κατανοητές οι πολύ μεγάλες δυνατότητες προσομοίωσης του λογισμικού σε μια πληθώρα εφαρμογών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Michael G. Thomas, “Water Pumping: The solar alternative”, 1996
2. S.E.L., “TRNSYS Manual”
3. Jürgen Helmut Eckstein, “Detailed Modeling of Photovoltaic System Components”, Wisconsin 1990

ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Λ. Γερονικολού, Σπ. Κυρίτσης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοπ. Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής.
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046 e-mail: gelou@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα βιοκαύσιμα μπορούν να αντικαταστήσουν ή να συμπληρώσουν τα ορυκτά καύσιμα και να χρησιμοποιηθούν σε εμβολοφόρους κινητήρες ή αεριοστροβίλους, με μικρή ή καθόλου τροποποίηση στους κινητήρες ή στο σύστημα τροφοδοσίας. Μεγάλες ποσότητες βιοκαυσίμων χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες, και υπάρχει προοπτική να διαδοθεί σε μεγάλο βαθμό η χρήση τους στο μέλλον.

Για τη χώρα μας, χάρη στις μεγάλες στρεμματικές αποδόσεις σε ενεργειακή βιομάζα και τη νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική, οι παραγωγοί μας μπορούν να βρουν, μέσα από την προοπτική παραγωγής βιοκαυσίμων, μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική καλλιέργεια.

NEW TRENDS IN BIOFUELS

L. Geronikolou, S. Kyritsis

Agricultural University of Athens
Dept. of Natural Resources and Agr. Engineering.
75, Iera Odos str, 11855 Athens tel.+30 210 5294046 e-mail: gelou@aua.gr

ABSTRACT

Biofuels could substitute or supplement fossil fuels and be used in IC engines or turbines, with slight or no modification to the engines or the feeding system. Large quantities of biofuels are already used in many countries, and there is prospect that their use is disseminated to a great extent in the future.

For our country, due to the high yields in biomass production that could be achieved and the new Common Agricultural Policy, our farmers could find, through the perspective of biofuels production, an interesting alternative energy crop.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιοκαύσιμα είναι υγρά ή αέρια που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα κυρίως στις μεταφορές και παράγονται κυρίαρχα ή αποκλειστικά από βιομάζα. Παραδείγματα αποτελούν η αιθανόλη, το βιοντήζελ, το βιοαέριο ή άλλα αέρια (από αεριοποίηση, αναερόβια ζύμωση κλπ.) προϊόντα αντλούμενα από φυτικές καλλιέργειες, φυτικά υπολείμματα ή απορρίματα.

Οι λόγοι που απαιτούν την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιοκαύσιμα είναι περιβαλλοντικοί, για μείωση των εκπομπών ρύπων, λόγοι στρατηγικής, για εξασφάλιση ασφάλειας τροφοδοσίας, καθώς και οικονομικοί και κοινωνικοί λόγοι. Η ικανοποίηση της αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης για ενέργεια με άντληση ορυκτών καυσίμων απαιτεί μεγάλο ποσό πρόσθετων επενδύσεων [1], ενώ η παραγωγή βιομάζας μπορεί να συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη, με ενίσχυση της γεωργίας και δημιουργία νέων θέσεων εργασίας (αναφέρεται [2] ότι στην Ευρώπη για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα ύψους 133 MTOE ετησίως το 2020, θα δημιουργηθούν 1.509.000 νέες θέσεις εργασίας), συμβάλλοντας έτσι στην ανάπτυξη ενός αειφόρου ενεργειακού συστήματος όπου θα εξασφαλίζονται ταυτόχρονα, ασφάλεια τροφοδοσίας καυσίμων, οικονομική αποδοτικότητα και περιβαλλοντική προστασία.

1. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥΣ

Προκειμένου τα βιοκαύσιμα να μπορέσουν να αντικαταστήσουν αποδοτικά τα υπάρχοντα ορυκτά καύσιμα, δύο προϋποθέσεις πρέπει να ικανοποιούνται: Να εκπέμπουν σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους μικρότερες ποσότητες ρύπων από ό,τι τα ορυκτά καύσιμα, και να ανταγωνίζονται οικονομικά τα ορυκτά καύσιμα.

1.1 Απαιτήσεις για περιβαλλοντική προστασία από τα βιοκαύσιμα

Η χρήση των βιοκαύσιμων μπορεί να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων επιβλαβών ρύπων που σχετίζονται με την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος.

Στη διάρκεια ανάπτυξής τους τα φυτά δεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα για να επιτελέσουν τη μοναδική από αυτά λειτουργία της φωτοσύνθεσης, απαραίτητης για τη θρέψη τους. Όταν τα παραγόμενα βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας, το διοξείδιο του άνθρακα που ελευθερώνεται δεν συμβάλλει στην αύξηση του CO2 της ατμόσφαιρας αθροιστικά, αφού ποσότητα CO2 έχει δεσμευθεί κατά την παραγωγική διαδικασία της φυτικής καλλιέργειας, ανακυκλώνοντας έτσι αποδοτικά τον άνθρακα.

Πολλά βιοκαύσιμα επίσης έχουν την ικανότητα να μειώνουν τις εκπομπές άλλων ανεπιθύμητων ρυπαντών κατά την καύση τους μαζί με ορυκτά καύσιμα. Για παράδειγμα, η χρήση οξυγονούχων βιοκαυσίμων, όπως η αιθανόλη και ο Ethyl-Tetriary-Boutyl-Ether ETBE, σε μίγματα με βενζίνη, μειώνει τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, και η χρήση αιθανόλης στις μηχανές diesel μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων κοντά στο μηδέν. Η χρήση του βιοντήζελ μειώνει τις εκπομπές CO, άκαυστων υδρογονανθράκων και καπνιάς σε σύγκριση με το diesel.

Η περιβαλλοντική επίπτωση των βιοκαυσίμων εξαρτάται από τα ειδικά χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής των διάφορων βιοκαυσίμων, όπως η περιοχή, η πηγή παραγωγής τους, το όχημα, η ειδική κατανάλωση καυσίμου του οχήματος, η χρήση των υπο-προϊόντων, η χρήση της γεωργικής γης, το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα, η μορφή της τεχνολογίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά διαμορφώνουν τη διακύμανση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε περίπτωσης. Γενικά πάντως, μπορεί να λεχθεί ότι τα

περισσότερα βιοκαύσιμα παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα [1] (Summary Biofuel Fact Sheet, VIEWLS Reference Results).

Η βιομηχανία αυτοκινήτων δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές CO2 στα 140 g/km έως το 2008 (κατανάλωση καυσίμου: ~ 5.7 l/100km). Επιπλέον μείωση στα 120 g/km έως το 2012 επιφέρει πρόσθετο κόστος ~ 4,000 € /όχημα με επεμβάσεις στους κινητήρες [3]. Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μια πολύτιμη, εναλλακτική λύση για τις βιομηχανίες αυτοκινήτου, ώστε να επιτύχουν τους στόχους των εκπομπών CO2 και αποτελούν μια όχι ακριβή λύση για τους καταναλωτές. Η ικανοποίηση του στόχου των χαμηλών εκπομπών ρύπων μπορεί να επιτευχθεί με επιλογή κατάλληλων βιοκαυσίμων στα οποία το ποσοστό συμμετοχής των ορυκτών καυσίμων στη διαδικασία παραγωγής τους ελαχιστοποιείται. Στην περίπτωση αυτή οι εκπομπές CO2 ορυκτής προέλευσης σχεδόν μηδενίζονται.

1.2 Απαιτήσεις για οικονομική ανταγωνιστικότητα των βιοκαυσίμων έναντι των ορυκτών καυσίμων

Στη διαμόρφωση της τιμής αγοράς των βιοκαυσίμων σημαντική επίδραση έχει το είδος της πρώτης ύλης και το κόστος παραγωγής της, καθώς και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του καυσίμου.

Η επίδραση της πρώτης ύλης στη διαμόρφωση της τιμής αγοράς του βιοκαυσίμου αναδεικνύεται χαρακτηριστικά στην περίπτωση παραγωγής βιοαιθανόλης από σάκχαρα και αμυλούχες ουσίες, με μεγάλο εύρος στο κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης (Πίνακας 1). Η παραγωγικότητα της καλλιέργειας και ο βαθμός μετατροπής της πρώτης ύλης σε βιοκαύσιμο (Lit/t) διαμορφώνουν σημαντικές διαφορές. Το κόστος τέλος των εργατικών φαίνεται επίσης να επιδρά καταλυτικά (περίπτωση παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία).

Πίνακας 1. Παραγωγή βιοαιθανόλης, αποδοτικότητα παραγωγής, και κόστος σε $/m^3 [4]

Νέες τάσεις διαμορφώνονται για εύρεση φθηνότερης πρώτης ύλης βιολογικής προέλευσης, είτε μέσω αύξησης των στρεμματικών αποδόσεων, είτε με χρησιμοποίηση απορριμμάτων και αποβλήτων. Νέα παραγωγικά υβρίδια ηλίανθου σε πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, έδωσαν αποδόσεις υψηλότερες των 4.5 t/ha [5]. Στις Η.Π.Α. σχεδιάζουν παραγωγή 83-170 εκ. m^3 ετησίως Biodiesel από mustard oil (κόστος 0.22$/*l*), του οποίου το άλφιτο έχει υψηλή αξία ως φυτοφάρμακο, γεγονός που κρατά χαμηλά την τιμή του λαδιού. Επιπλέον, το συγκεκριμένο λάδι συνδέεται με χαμηλές εκπομπές NOx λόγω της περιεκτικότητάς του σε κορεσμένα ελεύθερα λιπαρά οξέα (20%) Στην Ινδία εκτιμάται [6] ότι η παραγωγή biodiesel από το φυτό Jatropha Curcas θα πλησιάσει την τιμή κόστους του diesel. Οικονομικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τέλος τα λάδια ως υποπροϊόντα καλλιεργειών (βαμβάκι, καπνός, τομάτα, αγριοαγγινάρα κ.α.), ενώ τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί για παραγωγή biodiesel με πρώτη ύλη χρησιμοποιημένα, τηγανισμένα λάδια.

Η τεχνολογία παραγωγής του καυσίμου από την πρώτη ύλη επηρεάζει σημαντικά το τελικό κόστος του βιοκαυσίμου. Αναφέρεται η διαδικασία παραγωγής αιθανόλης από λιγνο-κυτταρινούχες πρώτες ύλες καθώς και η παραγωγή πετρελαίου ή βενζίνης από απορρίμματα με συνδυασμό αεριοποίησης και σύνθεσης καυσίμου. Περισσότερες λεπτομέρειες θα αναφερθούν παρακάτω, στην περιγραφή των αυριανών βιοκαυσίμων.

2. ΤΑ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝΤΑ ΣΗΜΕΡΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΤΑ ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ - ΑΥΡΙΑΝΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Η τεχνογνωσία σήμερα στο πεδίο των βιοκαυσίμων θα μπορούσε να διαχωρισθεί σε τεχνογνωσία έτοιμη για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές και σε τεχνογνωσία σε προεμπορικό-επιδεικτικό ή πειραματικό στάδιο.

2.1 Σημερινά βιοκαύσιμα

Το **Biodiesel** είναι μεθυλ- ή αιθυλ- εστέρας λιπαρών οξέων από παρθένα ή χρησιμοποιημένα φυτικά λάδια (τόσο βρώσιμα όσο και μη βρώσιμα) και ζωϊκά λίπη. Η διαδικασία παραγωγής του είναι μέσω της μετεστεροποίησης των λαδιών, δηλαδή της αντίδρασης των τριγλυκεριδίων των λαδιών με μεθανόλη ή αιθανόλη. Ένας τόνος λαδιού και 110 kg μεθανόλης παράγουν ένα τόνο biodiesel και 110 kg γλυκερίνης.

Το biodiesel χρησιμοποιείται σε μίγματα με diesel από 5% (B5) στη Γαλλία έως 20% στις Η.Π.Α. (B20) και αυτούσιο (B100) στην Αυστρία, Σουηδία και Γερμανία. Αναφέρεται κόστος παραγωγής biodiesel από ελαιοκράμβη 0.557 €/lit (IPTS 2002), 0.35 €/lit [7] ή και 0.67 €/lit από ηλίανθο στην Ισπανία [8]. Η πρώτη ύλη που συμμετέχει με το μεγαλύτερο ποσοστό στην παγκόσμια παραγωγή biodiesel είναι η ελαιοκράμβη (84%), και ακολουθεί ο ηλίανθος (13%) [9]. Κύριες χώρες παραγωγής στην Ευρώπη είναι η Γερμανία, Γαλλία και Ιταλία με συνολική παραγωγή στην Ευρώπη των 25 1,550,000 τόνους το έτος 2002.

Καθαρό φυτικό έλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές IC με μικρή προσαρμογή του κινητήρα – προσάρτηση πρόσθετων εξαρτημάτων. Μερικές μικρές εταιρίες στην Ευρώπη έχουν αναπτύξει σε εμπορική κλίμακα πρόσθετα εξαρτήματα τροποποίησης κινητήρων (Hausmann Company, Gruber GmbH, W. UHLIG – U.T.G. Austria κ.α.). Τα πλεονεκτήματα χρήσης καθαρού φυτικού λαδιού συνίστανται στο ότι μπορούν να παραχθούν και να χρησιμοποιηθούν από μικρές αγροτικές εκμεταλλεύσεις, είναι οικονομικότερα σε σχέση με το biodiesel, και αποφεύγεται η κατανάλωση ή απώλεια ενέργειας κατά την παραγωγή biodiesel.

Η **βιοαιθανόλη** από απλά σάκχαρα και αμυλούχες ουσίες είναι ένα υγρό εναλλακτικό καύσιμο με χημικό τύπο C_2H_5OH και ενεργειακό περιεχόμενο κατά 30% λιγότερο από τη βενζίνη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μίγματα με βενζίνη ή πετρέλαιο ή αυτούσια σε οχήματα ειδικά για αιθανόλη. Σακχαρούχα και αμυλούχα φυτά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της είναι τα ζαχαρότευτλα, το ζαχαροκάλαμο, το γλυκύ σόργο (Στην Ισπανία χρησιμοποιείται και περίσσεια αραγωγής σταφυλιών) , και το σιτάρι, αραβόσιτος, πατάτες αντίστοιχα. Η διαδικασία παραγωγής της συνίσταται στη ζύμωση των σακχάρων ή του αμύλου.

Σήμερα χρησιμοποιούνται μίγματα αιθανόλης 5 ως 10% με βενζίνη. Τα καινούρια οχήματα χρησιμοποιούν τα μίγματα αιθανόλης με μικρή ή καθόλου τροποποίηση. Αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Ford κατασκεύασαν Flexible Fuel Vehicles για τις ΗΠΑ, Σουηδία και Βραζιλία που μπορούν να χρησιμοποιούν καύσιμα από καθαρή βενζίνη, μέχρι μίγματα 85% αιθανόλης με βενζίνη (E85). Η ένυδρη αλκοόλη (5% νερό) χρησιμοποιείται επίσης αντί του diesel σε λεωφορεία. Στη Βραζιλία η άνυδρη αιθανόλη (99.6 GL) χρησιμοποιείται σε μίγματα με βενζίνη σε οποιαδήποτε αναλογία. Μίγματα 22% σε 6 εκ. αυτοκίνητα χωρίς τροποποίηση, ενώ η ένυδρη αιθανόλη (95.5GL) χρησιμοποιείται αυτούσια σε 4 εκ. αυτοκίνητα που έχουν όμως κατάλληλα τροποποιηθεί.

Συγκρίνοντας τις ανάγκες των φυτειών παραγωγής Β-Α σε νερό και χημικά καθώς και το ενεργειακό ισοζύγιο της διαδικασίας παραγωγής (εκροές:εισροές) όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, φαίνεται πως η καλλιέργεια γλυκού σόργου είναι λιγότερο απαιτητική σε νερό και λιπάσματα, δίνοντας ένα υψηλότερο ενεργειακό ισοζύγιο.

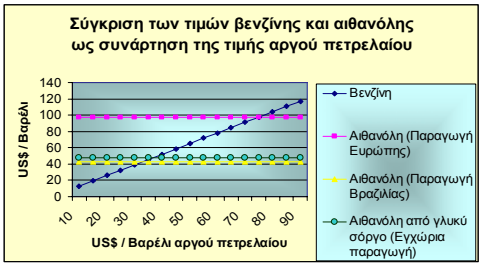
Πίνακας 2. Ανάγκες των φυτειών παραγωγής Β-Α σε Νερό και Χημικά και Ενεργειακό Ισοζύγιο [2]

Φυτεία	Νερό mm	Λιπάσματα μονάδες στοιχείου /στρέμμα.	Ενεργειακό Ισοζύγιο Εκροές/Εισροές
Ζαχαρότευτλα	750	N = 5 P = 1-2 K = 5-6	1.76
Ζαχαροκάλαμο	500	N = 1 P = 1 K = 5	2.50 – 9.0
Γλυκό Σόργο	250	N = 0.9 P = 0.9 K = 1.3	2.50 – 5.0
Αραβόσιτος	500	N = 10 P = 4 K = 5	1.30

Το κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης από σακχαρούχα φυτά φαίνεται χαμηλότερο σε σχέση με το κόστος παραγωγής από αμυλούχα φυτά (Πίν. 1), με εξαίρεση, ίσως τον αραβόσιτο, του οποίου όμως, λόγω της εντατικότητας καλλιέργειας, το ενεργειακό ισοζύγιο είναι πολύ χαμηλό ή και αρνητικό [10]

Το γλυκύ σόργο σε πειραματική καλλιέργεια από το Γ.Π.Α. στην Ορεστιάδα απέδωσε 12 t/στρέμμα σε χλωρή μάζα ενώ σε μερικές άλλες περιπτώσεις (στη Νότια Ελλάδα από το ΚΑΠΕ), έφθασε τα 14t/στρέμμα. Θεωρείται ότι ένας μέσος όρος παραγωγής στην Ελλάδα μπορεί να είναι 10 t/στρέμμα σε χλωρή μάζα. Κατά μέσο όρο στην Ελλάδα, σε εδάφη αραβοσίτου, βάμβακα, ποιοτικού καπνού, αναμένεται απόδοση > 4,5 t αιθανόλης / ha.

Με σύγκριση των τιμών βενζίνης και αιθανόλης ως συνάρτηση της τιμής αργού πετρελαίου (Διάγραμμα 1), θα μπορούσε να πει κανείς ότι η Ελλάδα με εγχώρια παραγωγή αιθανόλης από γλυκό σόργο μπορεί να επιτύχει τιμή αιθανόλης τέτοια, ώστε αυτή να γίνει προϊόν εξαγωγής στην υπόλοιπη Ευρώπη.



Διάγραμμα 1. Σύγκριση των τιμών βενζίνης και αιθανόλης ως συνάρτηση της τιμής πετρελαίου

2.2 Αναδυόμενα στην παγκόσμια αγορά – αυριανά βιοκαύσιμα

2.2.1. Βιοαλκοόλες από λιγνο-κυτταρινούχες πρώτες ύλες

Σήμερα έχει επιτευχθεί η αποδοτική ζύμωση κυτταρίνης και ημι-κυτταρίνης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, σε εμπορική πλέον κλίμακα στη Σουηδία, Η.Π.Α., και Βραζιλία, για παραγωγή αιθανόλης. Διάφορες μέθοδοι έχουν εφαρμοσθεί για αποδοτική ζύμωση της κυτταρίνης, με ιδιαίτερη σημασία αφού μπορούν να αξιοποιηθούν έτσι και τα υπολείμματα των σακχαρούχων φυτών (ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία – Μέθοδος γρήγορης υδρόλυσης Dedini) καθώς και άλλα απορρίματα με λιγνοκυτταρινούχο σύσταση. Η δυσκολία των μεθόδων έγκειται στην επίτευξη πρόσβασης στις κυτταρινούχες ύλες μέσα από το περίβλημα λιγνίνης. Ένας τρόπος είναι η εφαρμογή διαλύτη, ενώ μελετώνται και βιολογικές μέθοδοι.

Το οικονομικό ενδιαφέρον της μεθόδου είναι έντονο, αφού η παραγωγή αιθανόλης στη μονάδα έκτασης καλλιέργειας σακχαρούχων φυτών σχεδόν διπλασιάζεται, και το κόστος παραγωγής μειώνεται σημαντικά σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο παραγωγής.

2.2.2. Βιοσυνθετικά καύσιμα – Διαδικασία Fischer-Tropsch

Μεγάλο εύρος καθαρών βιοκαυσίμων μπορούν να προκύψουν από το βιοαέριο σύνθεσης, (με σχηματισμό διαφορετικών πολυμερών αλυσίδων από τα βασικά μόρια CO και H2) αντλούμενο από τη βιομάζα, όπως: FT Diesel, Βιοβενζίνη FT, βιομεθάνιο. Η πρώτη ύλη της διαδικασίας είναι βιομάζα.

Για τη χρήση τους δεν υπάρχει ανάγκη σημαντικής τροποποίησης του κινητήρα των οχημάτων και η αγορά για τα προϊόντα της διαδικασίας έχει αναπτυχθεί. Ωστόσο, το κόστος παραγωγής είναι ακόμα υψηλό και υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης αγοράς των υπο-προϊόντων της διαδικασίας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η Τεχνολογία Carbo-V Choren που αναπτύχθηκε στη Γερμανία [11, 12]. Η μονάδα αεριοποίησης βιομάζας συνδέεται με μονάδα Fischer-Tropsch για παραγωγή FT diesel. Υπάρχει δυνατότητα παραγωγής συνθετικού καυσίμου sundiesel από απορρίματα υγρασίας <35% για κίνηση οχημάτων ή για συμπαραγωγή ισχύος και θερμότητας. Το ενδιαφέρον είναι μεγάλο σε αυτή την περίπτωση λόγω υψηλού περιβαλλοντικού οφέλους, ενώ το οικονομικό όφελος είναι εφικτό στο άμεσο μέλλον.

2.2.3. Βιο-Μεθανόλη (BIO-MEOH)

Η βιο-μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από μίγματα σύνθεσης αερίου H_2 και CO μέσω της γνωστής διαδικασίας οξυγονο-αλλοθερμικής αεριοποίησης από βιομάζα, αναδόμηση ατμού από τον ξυλάνθρακα και την επακόλουθη διαδικασία καταλυτικής σύνθεσης του CO_2 και H_2. Μπορεί να αποτελέσει μελλοντικό καύσιμο για οχήματα κυψελών καυσίμου, (με μετατροπή σε υδρογόνο πάνω στο όχημα) λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε υδρογόνο.

Προς το παρόν η μεθανόλη παράγεται από φυσικό αέριο (παγκόσμια παραγωγή 27 mio t/year) με απόδοση μετατροπής ~55%. Η Βιο-Μεθανόλη έχει μακροπρόθεσμα την οικονομική δυνατότητα να αντικαταστήσει τη μεθανόλη από φυσικό αέριο. Πειράματα σύνθεσης βιομεθανόλης με καταλυτική ηλεκτρόλυση διαλύματος CO2-νερού έδειξαν θετικά αποτελέσματα με απόδοση ~100%.

2.2.4. Βιο-αέρια με αεριοποίηση υγρής βιομάζας

Με αεριοποίηση υγρής βιομάζας σε steam gasifiers επιτυγχάνεται παραγωγή αερίων πλούσιων σε H2 (60%) και CH4 (40%). Εφαρμογές μπορούν να αποτελέσουν οι κινητήρες I.C. και τουρμπίνες ή ειδικές κυψέλες καυσίμου (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC).

2.2.5. BIO-MTBE (Bio-Methyl-Tertiary Butyl Ether)

Πρόκειται για παρόμοιο βιοκαύσιμο με τον Bio-ETBE (Bio-Ethyl-Tertiary Butyl Ether) και παράγεται από μίξη βιομεθανόλης (36% κ.ο.) και τριτογενή βουτανόλη με θερμότητα και

καταλύτη. Ολλανδία και Γαλλία εξάγουν σήμερα μεγάλες ποσότητες MTBE σε άλλες χώρες συμπεριλαμβανομένων των Η.Π.Α.

2.2.6. Βιο-Διμεθυλ-αιθέρας (Bio-DME)

Παρουσιάζει ευνοϊκά χαρακτηριστικά για εφαρμογές σε μηχανές diesel λόγω των πολύ χαμηλών εκπομπών. Είναι υγρό σε πίεση ~5 bar. Είναι παρόμοιο με το LPG (μίγμα προπάνιου και βουτάνιου) όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στη βενζίνη, ή μίγμα με diesel ή ως υποκατάστατο του diesel σε τροποποιημένες μηχανές. Πιθανή συμμετοχή του στη βενζίνη είναι σε ποσοστό 2%.

Μπορεί να παραχθεί από bio-syn-gas (βιοαέριο σύνθεσης). Προς το παρόν ο DME παράγεται από μεθανόλη με όξινο καταλύτη σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, ενώ σε εξέλιξη είναι η απευθείας μετατροπή από CO με οικονομικό ενδιαφέρον.

2.2.7. Βιοαέριο (μίγμα 60% μεθάνιο, 40% CO2)

Εξευγενισμένο βιομεθάνιο (χωρίς CO2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές φυσικού αερίου. Ήδη λεωφορεία δημοτικών γραμμών λειτουργούν με βιοαέριο ή φυσικό αέριο.

Το αέριο παράγεται με αναερόβια ζύμωση (CH4 +CO2) και το CO2 απομακρύνεται με διάφορες μεθόδους (έκπλυση, πίεση – αποπίεση) και συμπιέζεται στα 220 bars για να μειωθεί ο όγκος του. Στη Σουηδία υπάρχει μικρό δίκτυο πρατηρίων βιοαερίου. Εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου μικρού μεγέθους είναι ευρέως διαδεδομένες σε αναπτυσσόμενες χώρες (~10 εκ. μονάδες στην Κίνα), ενώ στην Ευρώπη, βρήκαν υψηλή εφαρμογή στη Δανία, Αυστρία, όπου το παραγόμενο μεθάνιο διοχετεύεται στο δίκτυο φυσικού αερίου.

2.2.8. Πυρολυτικό λάδι (Flash pyrolysis oil)

Η παραγωγή και αναβάθμηση πυρολυτικού λαδιού έχει δοκιμασθεί σε εργαστήρια και πιλοτικές εγκαταστάσεις. Η πρώτη πιλοτική μονάδα στην Ευρώπη έγινε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών το 1995. Το πυρολυτικό λάδι παράγεται από θέρμανση βιομάζας για πολύ μικρό χρονικό διάστημα απουσία αέρα ή οξυγόνου. Το παραγόμενο λάδι μοιάζει εμφανισιακά με το ακατέργαστο λάδι αλλά έχει διαφορετική χημική σύνθεση. Έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές του πυρολυτικού λαδιού σε μηχανές diesel και αεριοστροβίλους, αλλά δεν είναι ακόμα διαθέσιμο ως καύσιμο στις μεταφορές.

2.2.9. Βιο-Υδρογόνο: Υδρογόνο παραγόμενο από βιομάζα

Είναι ένα εξαιρετικό καθαρό καύσιμο, με μεγάλη ενεργειακή αξία (~3 φορές του πετρελαίου ανά μονάδα μάζας) και οι εκπομπές CO2 κατά την καύση του είναι μηδενικές.
Μπορεί να παραχθεί:

Με καταλυτική μετατροπή από bio-syn-gas, μίγμα CO2-H2 από βιομάζα. Από δοκιμές φαίνεται ότι μπορεί να παραχθεί σε λογικό κόστος (~1700 €/t) μέσω αναδόμησης ατμού (steam reforming) των pellets ξυλάνθρακα από υπολείμματα βιομάζας χαμηλού κόστους (30 €/dt).

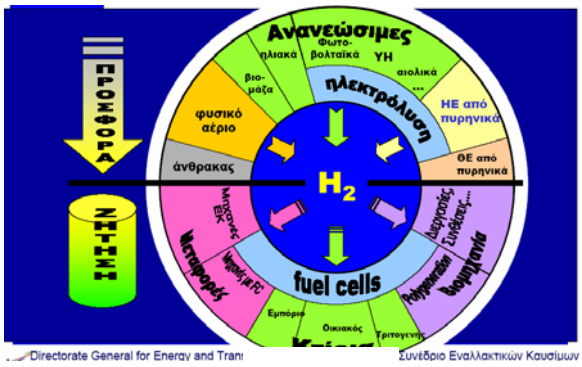
Με διαχωρισμό μεμβράνης από βιοαέριο σύνθεσης.

Από διάλυμα βιομεθανόλης-νερού (99% απόδοση μετατροπής – ισοζύγιο μάζας, 75% απόδοση μετατροπής – ισοζύγιο ενέργειας)

Από βιομεθανόλη με αναδόμηση ατμού (steam reforming).

Το κόστος παραγωγής υδρογόνου από φυσικό αέριο (παραδοσιακή μέθοδος, 3 €/MMBTU Φ.Α.) είναι ~1600 €/t με επένδυση ~220 mio €. Τα επόμενα 20 χρόνια αναμένεται κόστος φυσ. αερίου 7$/MMBTU.

Η Ευρώπη οραματίζεται την παραγωγή υδρογόνου από όλες τις μελλοντικές πηγές ενέργειας και τη χρήση του σε όλες τις μορφές ζήτησης ενέργειας (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Το όραμα της Ευρώπης για το υδρογόνο [13]

Κατά το επιδεικτικό Ευρωπαϊκό πρόγραμμα CUTE - Clean Urban Transport for Europe έχουν οργανωθεί οι παρακάτω δράσεις:

- •Στόλος 27 Η 2- κίνητων λεωφορείων
- •Επιδεικτικές δράσεις σε 9 Ευρωπαϊκές πόλεις (Πόρτο ,Μαδρίτη, Βαρκελώνη, Λονδίνο, Λουξεμβούργο, Αμβούργο , Άμστερνταμ και Στοκχόλμη)
- •Παραγωγή, διανομή και ανεφοδιασμός
- •Χρήση ΑΠΕ ως πρωτογενής μορφή ενέργειας

Ωστόσο, παρά τα επιδεικτικά προγράμματα, οι ειδικοί τοποθετούν την εμπορική χρήση του υδρογόνου στα Αυριανά Βιοκαύσιμα μετά το 2020.

3. Η ΝΕΑ ΚΟΙΝΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ (ΚΑΠ) ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Σύμφωνα με τη νέα ΚΑΠ η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει στην αποδέσμευση της γεωργικής παραγωγής από τις οικονομικές ενισχύσεις. Για την ικανοποίηση του στόχου αυτού προβλέπει τη χορήγηση οικονομικής ενίσχυσης στους παραγωγούς οι οποίοι καλλιεργούσαν επιδοτούμενες καλλιέργειες κατά την ιστορική περίοδο 2000-2002, με βάση τη μέση στρεμματική απόδοση των τριών αυτών ετών και ποσοστά αποδέσμευσης από την παραγωγή μέχρι 100%.

Αυτό σημαίνει ότι, ανεξάρτητα με το είδος της καλλιέργειας που ο παραγωγός θα εγκαταστήσει τα επόμενα χρόνια στους αγρούς όπου καλλιεργούσε επιδοτούμενο προϊόν, θα του χορηγείται το ποσοστό αποδεσμευμένης ενίσχυσης της παρελθούσης επιδοτούμενης καλλιέργειας, όπως αυτό οριστεί σε εθνικό επίπεδο.

Παρά το γεγονός ότι το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης δεν έχει ορίσει ακόμη ποσοστά αποδέσμευσης για τις διάφορες καλλιέργειες (δέσμευση για αποσαφήνιση έως τον Ιούλιο του τρέχοντος έτους), επιχειρήθηκε να εκτιμηθεί η καθαρή πρόσοδος στον παραγωγό που θα αποφασίσει να εγκαταστήσει ενεργειακές καλλιέργειες (επιλέχθηκαν τα παραδείγματα καλλιέργειας ηλίανθου για παραγωγή φυτικού λαδιού και biodiesel, και καλλιέργειας γλυκού σόργου για παραγωγή αιθανόλης από απλά σάκχαρα) σε αντικατάσταση καλλιεργειών βαμβακιού, αραβόσιτου, μαλακού και σκληρού σιταριού, και ποσοστά αποδεσμευμένης ενίσχυσης από 50% ως 100%.

Τα διάφορα πιθανά σενάρια δίνονται στους Πίνακες 3 και 4 που ακολουθούν. Για την περίπτωση του ηλίανθου έχουν ληφθεί υπόψη αποδόσεις από 300 – 380 kg/στρέμμα, σε

συνθήκες αγρού, αν και αποδόσεις ως 450 kg/στρέμμα, είναι επιτεύξιμες με σπορά παραγωγικών υβριδίων [5]. Στους υπολογισμούς έχει συμπεριληφθεί και η χαμηλή πρόσθετη επιδότηση των 4.5 €/στρέμμα στις καλλιέργειες για παραγωγή προϊόντων για ενεργειακή χρήση όπως προβλέπεται από τον Κανονισμό 1782/2003 της Ε.Ε., L 270/1, η οποία όμως δεν επιφέρει σημαντική επίδραση, ό,τι κι αν τελικά αποφασισθεί σχετικά με τη χορήγηση αυτής της μικρής πρόσθετης ενίσχυσης από το Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων ή την Ε.Ε..

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΗΛΙΑΝΘΟΣ	**Ξηρικός με βροχοπτώσεις**	**Ποτιστικός**
Απόδοση (kg/στρέμμα)	300	380
Τιμή πώλησης (€/kg)	0.18	0.18

Καθαρή πρόσοδος €/στρέμμα	**Ποσοστό αποδέσμευσης**			**Υπό αντικατ. Καλλιέργεια Ή**
Σε αντικατάσταση	100%	65%	50%	**Τιμή αναφοράς**
Βαμβάκι	197	134.4		154.48
Καπνός			281	
Αραβόσιτος	77.5			141.54
Σιτάρι Σκληρό	79		56.5	59.19
Σιτάρι Μαλακό	46.11		39.5	19.54

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ	
Απόδοση (kg/στρέμμα)	1200
Πρόσοδος από Πώληση Προϊόντος **(€/στρέμμα)**	152.6

Καθαρή πρόσοδος €/στρέμμα	**Ποσοστό αποδέσμευσης**			**Υπό αντικατ. καλλιέργεια**
Σε αντικατάσταση	100%	65%	50%	**Τιμή αναφοράς**
Βαμβάκι	333	270		154.48
Καπνός			281	
Αραβόσιτος	199		175	141.54
Σιτάρι Σκληρό	200		176	59.19
Σιτάρι Μαλακό	166		159	19.54

Σύμφωνα με τα διάφορα πιθανά σενάρια, η καλλιέργεια του ηλίανθου φαίνεται να αποφέρει συμφέρουσα καθαρή πρόσοδο στον παραγωγό σε ξηρικά χωράφια, σε αντικατάσταση καλλιεργειών σιταριού, ενώ η πρόσοδος του παραγωγού δεν εξασφαλίζεται στην περίπτωση αντικατάστασης βαμβακιού ή αραβόσιτου. Ενδιαφέρον πιθανώς να έχει και η περίπτωση καλλιέργειας ηλίανθου σε αντικατάσταση καπνού, λόγω της υψηλής χορηγούμενης ενίσχυσης στην περίπτωση αυτή, αλλά πρέπει να υπάρξουν διευκρινήσεις από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

Δυστυχώς, δεν στάθηκε δυνατό, προς το παρόν, η εύρεση στοιχείων για την καθαρή πρόσοδο των παραγωγών καπνού σήμερα, ώστε να υπάρξει μέτρο σύγκρισης.

Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου, λόγω των πολύ υψηλών αποδόσεων, φαίνεται να μπορεί να σταθεί σε όλες τις περιπτώσεις αντικατάστασης υπάρχουσων καλλιεργειών, από τις οποίες σημειωτέον ότι αυτές του μαλακού και σκληρού σιταριού δίνονται μόνο για αναφορά, αφού η καλλιέργεια γλυκού σόργου αφορά μόνο ποτιστικούς αγρούς. Το εισόδημα μάλιστα του παραγωγού φαίνεται να μπορεί να εξασφαλισθεί και με ελάχιστη έως καθόλου οικονομική ενίσχυση, δηλαδή μόνο από την πρόσοδο πώλησης του προϊόντος.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανασκόπηση σε παγκόσμιο επίπεδο έδειξε ότι σημαντική τεχνολογία έχει αναπτυχθεί για την παραγωγή βιοκαυσίμων προς αντικατάσταση των ορυκτών πρώτων υλών, και η στροφή προς τη χρήση τους αποτελεί άμεση αναγκαιότητα για τους λόγους που ήδη αναπτύχθηκαν παραπάνω, αλλά και δέσμευση προς το πρωτόκολλο Kyoto και την Ευρωπαϊκή πολιτική για επίτευξη συγκεκριμένων στόχων σε ορισμένα διαστήματα (χρήση 5.75% βιοκαυσίμων έως το 2010).

Η χρήση όμως των βιοκαυσίμων συνδέεται άμεσα αλλά και εξαρτάται από την παραγωγή της πρώτης ύλης. Με τη νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική και χάρη στις δυνατές μεγάλες στρεμματικές αποδόσεις σε ενεργειακή βιομάζα στην Ελλάδα, οι παραγωγοί μας μπορούν να βρουν μέσα από την προοπτική παραγωγής βιοκαυσίμων μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική καλλιέργεια. Η χώρα μας δεν φαίνεται να έχει αποφασίσει ακόμα: θα εισάγει ή θα παράγει βιοκαύσιμα;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Exxonmobil, A report on Energy Trends, Greenhouse Gas Emissions and Alternative Energy, 2004. www.exxonmobil.com
2. EUBIA, 2004
3. J. Modl – VOGELBUSCH, Proceedings of Central European Biomass Conference 2005, 26-29 Jan. 2005, Graz, Austria
4. 9th LAMNET Project Workshop. Ribeirão Preto - September 15th, 2004
5. Geronikolou L., Danalatos N. G., Kalavriotou P., Archondoulis S., Papadakis G., 2004. An experimental study of sunflower oil production in Greece to be used as an alternative fuel. Proceedings 2nd World Biomass Conference- Rome, 10-14 May 2004
6. Satish Lele. Biodiesel in India www.svlele.com
7. S. Rozakis and J. -C. Sourie Micro-economic modelling of biofuel system in France to determine tax exemption policy under uncertainty *Energy Policy, Volume 33, Issue 2, January 2005, Pages 171-182*
8. J. Fernandez, 2nd World Biomass Conference, Rome, 10-14 May 2004.
9. Austrian Biofuels Institute, 1997
10. Pimentel D., 2003. Ethanol Fuels: Energy balance, Economics and Environmental Impacts are negative. Natural Resources Research, Vol. 12, June 2003
11. Eberhard Oettel. State-of-the-art of Gasification of Biomass and Waste in Germany. First Meeting of IEA International Energy Agency Thermal Gasification of Biomass Task in Germany, November 21 to 23, 2001
12. Michael Deutmeyer – CHOREN Industries GmbH. Proceedings of Central European Biomass Conference 2005, 26-29 Jan. 2005, Graz, Austria
13. Κυριάκος Μανιάτης – DG TREN Biofuels and Industry. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών Καυσίμων, Αθήνα 27-28/01/2005
14. Γερονικολού Λ., Κυρίτσης Σ., Έκθεση αποτελεσμάτων επιδεικτικής καλλιέργειας Ηλίανθου στον κάτω Μόρνο, 2004.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΑΔΙΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Λ. Γερονικολού[1], Ν. Δαναλάτος[2,3], Σ. Αρχοντούλης[2] Γ. Παπαδάκης[1]

[1]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
Τμήμα Αξιοπ. Φυσικών Πόρων & Γεωργ. Μηχανικής.
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα τηλ. 210 5294046 e-mail: gelou@aua.gr
[2]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος
Φυτόκου 38446 Βόλος τηλ. 24210 93121 e-mail:danal@uth.gr
[3]Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Επιστήμης Περιβάλλοντος
Λόφος Ξενία 81100 Μυτιλήνη τηλ. 22510 36204

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα φυτικά έλαια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικά καύσιμα σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, τουρμπίνες ή καυστήρες θέρμανσης σε μίγματα με καύσιμο diesel ή αυτούσια είτε μετά από κατάλληλη επεξεργασία (αναφέρεται μετεστεροποίηση, πυρόλυση), είτε με ελαφρά τροποποίηση των κινητήρων, με προσαρμογή πρόσθετων εξαρτημάτων.

Μεταξύ των ενεργειακών πηγών από τον ευρύτερο τομέα της Βιομάζας, η καλλιέργεια του ηλίανθου ως πηγή παραγωγής φυτικού λαδιού παρουσιάζει ιδιαίτερο καλλιεργητικό ενδιαφέρον για τη χώρα μας, υπό τις κλιματολογικές συνθήκες της οποίας, προσαρμόζεται αρκετά καλά.

EXPERIMENTAL STUDY OF SUNFLOWER OIL PRODUCTION TO BE USED AS AN ALTERNATIVE FUEL

L. Geronikolou[1], N. G. Danalatos[2,3], S. Archodoulis[2] G. Papadakis[1]

[1]Agricultural University of Athens
Dept. of Natural Resources and Agr. Engineering.
75, Iera Odos str, 11855 Athens tel.+30 210 5294046 e-mail: gelou@aua.gr
[2]University of Thessaly.
Dept. of Crop productiuon and Agricultural Environment.
Fytoco, 38446 Volos, Greece
Tel. +30 24210 93121 e-mail:danal@uth.gr
[3] University of Aegean, Department of Environmental Sciences
University Hill, Mytilini 81100, Greece tel. +30 22510 36204

ABSTRACT

Vegetable oils could be used as alternative fuels in IC engines, turbines or boilers in mixtures with diesel fuel or simple either after specific treatments (transesterification, pyrolysis), or slight modifications slight modifications to the engines by adjusting additional components.

Sunflower cultivation for alternative fuel production constitutes an important energy carrier from the wider field of biomass with especial interest for Mediterranean countries, under the climatic conditions of which, shows very good adaptation.

1. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σκοπός της εργασίας ήταν να εξετασθούν 4 ποικιλίες ηλίανθου όσον αφορά την απόδοσή τους σε σπόρο και ενεργειακό κέρδος, υπολογιζόμενο με βάση τις ενεργειακές εισροές και εκροές, με τις πρώτες να διαφοροποιούνται στο εσωτερικό του πειραματικού τεμαχίου ώστε να γίνει δυνατή η παρατήρηση της επίδρασης αυτών στην απόδοση σε σπόρο και λάδι, κι επομένως και στο ενεργειακό ισοζύγιο. Επιπλέον, ακολούθησε προσδιορισμός βασικών ιδιοτήτων των παραγόμενων λαδιών ύστερα από εργαστηριακές αναλύσεις που διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με σκοπό την παρατήρηση τυχόν επίδρασης των διαφόρων παραγόντων (ποικιλίας και ενεργειακών εισροών) στις ιδιότητες των ελαίων. Αναφέρονται χαρακτηριστικά μερικές από τις ιδιότητες που καθορίστηκαν : Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη, σημείο ανάφλεξης, υπόλειμμα άνθρακα, τέφρα, θείο, αριθμός κετανίου, ιξώδες, σημείο ροής, πυκνότητα.

Οι ποικιλίες του ηλίανθου που εξετάστηκαν ήταν V_1 = Golden World (Ελληνικό υβρίδιο), V_2 = Panter (Ιταλικό υβρίδιο), V_3 = Peredovic (Ισπανική ποικιλία) και V_4 = Turbo (Ελληνικό υβρίδιο). Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόσθηκε ήταν ένα πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο τριών παραγόντων 4x3x2 σε υπαίθριο πειραματικό αγρό με τρεις επαναλήψεις. Έτσι ο αριθμός των επιμέρους τεμαχίων (plots) του πειραματικού αγρού που προέκυψαν ήταν 72 που αποτέλεσαν και τα δείγματα του πειράματος. Ο πειραματικός αγρός είχε συνολική έκταση 0.2808 ha. Οι τρεις παράγοντες του πειράματος ήταν πρώτον η εφαρμογή άρδευσης, σε τρεις επεμβάσεις: I_1 = 25%, I_2 = 50% και I_3 = 100% της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (Potential Evaportranspiration, PET), δηλαδή σε συνολικές ποσότητες εφαρμογής άρδευσης I_1 = 800 m^3/ha, I_2 = 1400 m^3/ha και I_3 = 2480 m^3/ha, δεύτερον οι 4 ποικιλίες και τρίτος παράγοντας η λίπανση αζώτου, στις επεμβάσεις N_1 = 150 kg N /ha (500 kg λιπάσματος (33-0-0)/ha), και N_0 = 0 kg N /ha. Η λίπανση φωσφόρου και καλίου εφαρμόστηκε σε όλα τα plots του πειραματικού τεμαχίου στις ποσότητες των 100 kg P_2O_5 (0-46-0) ha^{-1} και 200 kg K_2O (0-0-50) ha^{-1}. Η ποσότητα σπόρων που σπάρθηκαν ήταν 4 kg/ha και ο έλεγχος των ζιζανίων πραγματοποιήθηκε με 1.7 lt/ha ζιζανιοκτόνου Linagan 50%. Ο υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου έγινε με βάση τις αντίστοιχες ενεργειακές ισοτιμίες από τη βιβλιογραφία [1] – [6], που αφορούν τις πραγματικές ενεργειακές εισροές και εκροές, ενώ ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων καυσίμου των ελαίων στο εργαστήριο διεξήχθη σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα δοκιμών.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΙΑΝΘΟΥ

Η περιοχή όπου εγκαταστάθηκε η καλλιέργεια παρουσίασε κάποια ιδιομορφία σε σχέση με το καθεστώς υγρασίας, αφού ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας βρισκόταν αρκετά υψηλά δίνοντας, κατά πάσα πιθανότητα, τη δυνατότητα στην καλλιέργεια στο σύνολό της να εκμεταλλευτεί την εδαφική υγρασία και επομένως να μη δώσει κάποια διαφοροποίηση στις αποδόσεις σε σχέση με τις διαφορετικές επεμβάσεις άρδευσης, κάνοντας φανερή τη δυνατότητα του ηλίανθου να εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά την εδαφολογική υγρασία, λόγω του βαθιού ριζικού συστήματός του. Επιπλέον, η αζωτούχος λίπανση δεν είχε καμία επίδραση στην απόδοση σε σπόρο ενώ είχε μια μικρή επιρροή στην παραγωγή της υπόλοιπης βιομάζας. Το γεγονός αυτό, μαζί με την υψηλή παραγωγικότητα μερικών ποικιλιών – η V_1 ήταν η περισσότερο παραγωγική – που υπερέβη σε μερικές περιπτώσεις τους 4.9 t σπόρο ha^{-1}, οδήγησε σε έναν υψηλότερο, σε σχέση με εκείνα που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα στη βιβλιογραφία [1], ενεργειακό ισοζύγιο.

2.1 Επίδραση των διαφόρων επεμβάσεων στις αποδόσεις της καλλιέργειας (σπόρος, λάδι, φυτικά στελέχη)

Οι αποδόσεις της καλλιέργειας ηλίανθου σε σπόρο, φυτομάζα και λάδι για τις τέσσερις ποικιλίες, σε ελάχιστες και μέγιστες τιμές των διαστημάτων 95% εμπιστοσύνης για τα 72 δείγματα του πειράματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί.

Η εξαγωγή του λαδιού έγινε στο εργαστήριο, με εκχύλιση με συσκευή soxhlet και χρήση διαλύτη εξανίου μετά από άλεσμα του σπόρου.

Στα Διαγράμματα 1 εως 5 που ακολουθούν απεικονίζονται τα διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% για τις διάφορες επεμβάσεις: ποικιλίες, αζωτούχο λίπανση και άρδευση.

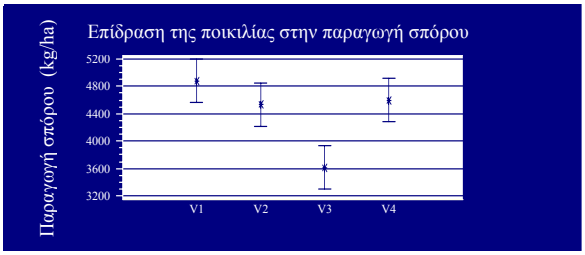
Πίνακας 1. Αποδόσεις των τεσσάρων ποικιλιών (t/ha)

Ποικιλία	Σπόρος		Λάδι		Φυτομάζα	
	min	max	min	max	min	max
V_1	4.49	5.27	1.81	2.06	7.28	9.62
V_2	3.77	5.29	1.19	1.68	5.43	8.56
V_3	3.02	4.21	0.98	1.62	5.30	8.83
V_4	4.23	4.96	1.33	1.76	4.48	12.19

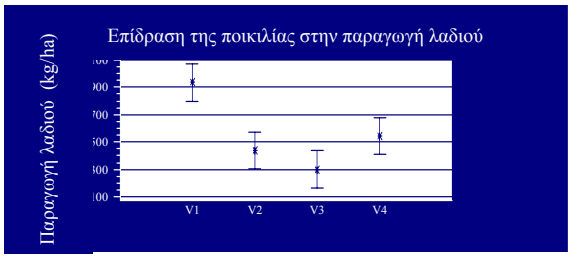
Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στην απόδοση της καλλιέργειας σε σπόρο και λάδι ανάμεσα στα δείγματα των 4 ποικιλιών ηλίανθου που δοκιμάσθηκαν. (Διαγράμματα 1, 2). Το υβρίδιο V_1 ξεχώρισε σε απόδοση σε λάδι με στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες ποικιλίες, ενώ δεύτερη σε απόδοση λαδιού ποικιλία ήταν το υβρίδιο V_4. Οι δύο παραπάνω ποικιλίες φάνηκε να έχουν μία τάση για επίσης υψηλότερη παραγωγή φυτομάζας

Η αζωτούχος λίπανση δεν φαίνεται να επηρέασε την παραγωγή, ωστόσο φάνηκε μία τάση για υψηλότερη παραγωγή λαδιού στην περίπτωση που δεν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση με αντίθετα αποτελέσματα όσον αφορά την παραγωγή φυτομάζας, η οποία ήταν ελαφρώς υψηλότερη στα πειραματικά τεμάχια που δέχθηκαν λίπασμα αζώτου (Διαγράμματα 3, 4).

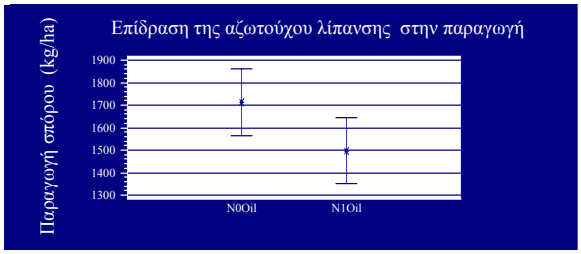
Η επέμβαση της άρδευσης φάνηκε να έχει κάποια επίδραση μόνο στην παραγωγή φυτομάζας, η οποία ευνοήθηκε στις μεγαλύτερες δόσεις άρδευσης (Διάγρ. 5).



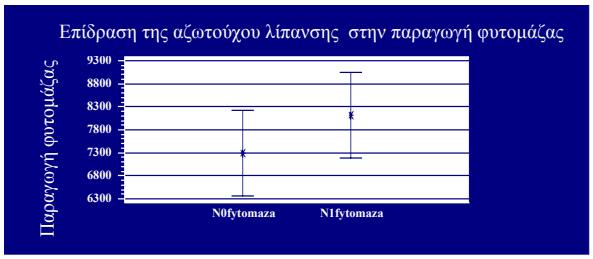
Διάγραμμα 1: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις 4 ποικιλίες όσον αφορά την παραγωγή σπόρου σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%



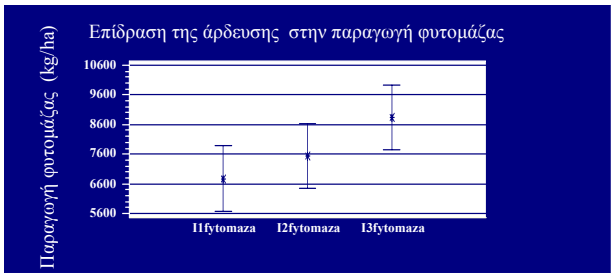
Διάγραμμα 2: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις 4 ποικιλίες όσον αφορά την παραγωγή λαδιού σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%



Διάγραμμα 3: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις επεμβάσεις της αζωτούχου λίπανσης όσον αφορά την παραγωγή λαδιού σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%



Διάγραμμα 4: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις επεμβάσεις της αζωτούχου λίπανσης όσον αφορά την παραγωγή φυτομάζας σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%



Διάγραμμα 5: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις επεμβάσεις άρδευσης όσον αφορά την παραγωγή φυτομάζας σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

2.2 Υπολογισμός ενεργειακού ισοζυγίου

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών εισροών χρησιμοποιήθηκαν σχετικοί ενεργειακοί συντελεστές από τη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα οι ενεργειακές εισροές για τα χρησιμοποιούμενα στην καλλιέργεια ηλίανθου μηχανήματα, ελκυστήρα, ανθρώπινη εργασία και καύσιμο (Machinery, Tractor, Labour and Fuel, MTLF) λήφθηκαν στην τιμή των 5.0 GJ/ha [1].

Οι ενεργειακές εισροές της άρδευσης αντιστοιχούν σε στάγδην άρδευση με πλαστικούς σωλήνες ø 20 και αντλία επιφανείας παροχής Q = 40 m^3/h και ολικού μανομετρικού ύψους H = 30 m, και ο υπολογισμός τους έγινε με βάση τους ενεργειακούς συντελεστές που αναφέρονται στην βιβλιογραφία [2]. Η ενέργεια που απαιτείται για άντληση 100 m^3 νερού συνίσταται από την ενέργεια κατασκευής της αντλίας, την άμεση ενέργεια του νερού που καταναλίσκεται, και την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ο ηλεκτροκινητήρας. Το άθροισμα των παραπάνω τριών πηγών κατανάλωσης ενέργειας κατά την άντληση έδωσε την τιμή της απαιτούμενης ενέργειας για άντληση 100 m^3 νερού των 235 MJ. Ο υπολογισμός των ενεργειακών εισροών για τους χρησιμοποιούμενους σωλήνες έγινε με βάση το χρησιμοποιούμενο μήκος τους στη μονάδα έκτασης και το αντίστοιχο βάρος (από σχετικό Πίνακα) και ενεργειακό συντελεστή 10 MJ/kg-έτος για την ενέργεια που καταναλώθηκε για την κατασκευή τους. Για τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (λιπάσματα, σπόροι, ζιζανιοκτόνο) λήφθηκαν οι παρακάτω ενεργειακοί συντελεστές: 61.53 MJ/kg N, 12.54 MJ/kg P_2O_5, 6.69 MJ/kg K_2O, 418.22 MJ/kg ενεργής ουσίας ζιζανιοκτόνου [2], 52.6 MJ/kg σπόρου [1] (διπλάσια του ενεργειακού περιεχομένου του σπόρου ώστε να συμπεριλαμβάνεται και η ενέργεια που καταναλίσκεται για την παραγωγή του).

Η διαφοροποίηση των τιμών των ενεργειακών εισροών μεταξύ των διάφορων συνδυασμών επεμβάσεων αζωτούχου λίπανσης και άρδευσης, In(puts)1=I_1N_0, In2=I_2N_0, In3=I_3N_0, In4 = I_1N_1, In5=I_2N_1, In6=I_3N_1,απεικονίζεται στον Πίνακα 2.

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών εκροών χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες ενεργειακές ισοτιμίες : Σπόρος : 26.3 MJ/kg [3], Φυτομάζα : 14.3 MJ/kg dry matter [4], Λάδι : 39.4 MJ/kg [5], Πίττα : 19.6 MJ/kg [6].

Διαιρώντας τις αντίστοιχες ενεργειακές εκροές των διαφορετικών πειραματικών τεμαχίων (plots) με τις αντίστοιχες ενεργειακές εισροές που εφαρμόσθηκαν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, προέκυψαν 72 διαφορετικές τιμές ενεργειακού ισοζυγίου, των οποίων τα διαστήματα 95% εμπιστοσύνης ανά ποικιλία παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Τα ενεργειακά ισοζύγια που προέκυψαν είναι υψηλότερα σε σχέση με αυτά που έχουν ως τώρα αναφερθεί στη βιβλιογραφία για την καλλιέργεια του ηλίανθου, φθάνοντας την τιμή 7.36 : 1 για την περίπτωση παραγωγής σπόρου από την ποικιλία V_1 με τις μικρότερες ενεργειακές εισροές. Τα ενεργειακά ισοζύγια για την παραγωγή φυτικών στελεχών ήταν αντίστοιχα υψηλά, φθάνοντας σε ένα μέσο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο παραγωγής βιομάζας 11.19 : 1 για την περίπτωση της περισσότερο παραγωγικής ποικιλίας V_1, *Golden World.*

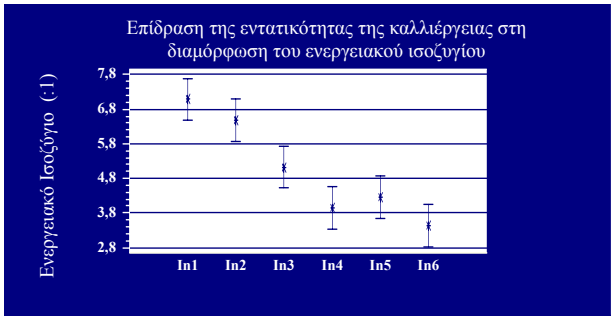
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η επίδραση των εισροών In1 ως In6, με αύξουσα εντατικότητα καλλιέργειας, στη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου (Διάγραμμα 6). Το ενεργειακό ισοζύγιο μεγιστοποιείται στην περίπτωση των ελάχιστων ενεργειακών εισροών In1, δηλαδή με μηδενική εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης και ελάχιστη δόση άρδευσης, γεγονός που έχει διαπιστωθεί και από άλλες αναφορές [7].

Πίνακας 2 Υπολογισμός ενεργειακών εισροών (GJ/ha)

ΕΙΣΡΟΕΣ (GJ/ha)			**I_1N_0**	**I_2N_0**	**I_3N_0**	**I_1N_1**	**I_2N_1**	**I_3N_1**
M.T.L.F.			5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Άρδευση	Σωλήνες		6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74
	Άντληση	I_1= 800m^3/ha	1.88			1.88		
		I_2=1400m^3/ha		3.29			3.29	
		I_3=2480m^3/ha			5.83			5.83
Υλικά								
Λιπάσματα	Επέμβαση N_0 (K και P)		2.59	2.59	2.59			
	Επέμβαση N_1 (K, P και N)					11.81	11.81	11.81
Σπόροι			0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Ζιζανιοκτόνο			0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Σύνολο			**17.09**	**18.50**	**21.04**	**26.31**	**27.72**	**30.26**

Πίνακας 3 Ενεργειακά ισοζύγια (εκροές : εισροές) της πειραματικής καλλιέργειας ηλίανθου για τις τέσσερις ποικιλίες

Ενεργειακό Ισοζύγιο (:1)	**V_1**			**V_2**			**V_3**			**V_4**		
	min	**mean**	**max**	**min**	**mean**	**max**	**min**	**mean**	**max**	**min**	**mean**	**max**
Σπόρος	4.13	5.75	7.36	3.69	5.08	6.46	2.94	4.26	5.57	4.33	5.32	6.30
Φυτομάζα	3.68	5.44	7.20	3.07	4.43	5.79	3.23	4.44	5.66	3.64	5.00	6.36
Λάδι	2.36	3.11	3.86	2.23	2.91	3.59	1.27	2.15	3.04	1.73	2.51	3.29



Διάγραμμα 6: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τους διάφορους συνδυασμούς ενεργειακών εισροών In1 έως In6 όσον αφορά τη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) In1=I_1N_0, In2=I_2N_0, In3=I_3N_0, In4 = I_1N_1, In5=I_2N_1, In6=I_3N_1

2.3 Προσδιορισμός Ιδιοτήτων καυσίμου του παραγόμενου λαδιού

Οι ιδιότητες καυσίμου του παραγόμενου ελαίου καθορίστηκαν σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα δοκιμών, και οι τιμές τους δεν ήταν μακριά από τις τιμές που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα (Πίνακας 4). Αυτό που, εντούτοις, είναι ενδιαφέρον είναι ότι παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση σε ορισμένες ιδιότητες καυσίμου (ιξώδες, αριθμό κετανίου, περιεκτικότητα σε

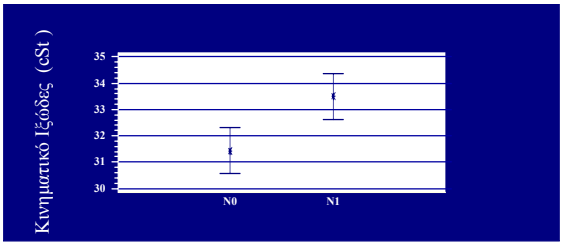
θείο, υπόλειμμα άνθρακα) των λαδιών σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά των ποικιλιών και των καλλιεργητικών τεχνικών που εφαρμόστηκαν (Διαγράμματα 7-9).

Συγκεκριμένα, το ιξώδες του παραγόμενου ελαίου παρουσίασε μια στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δείγματα στα οποία εφαρμόστηκε λίπανση αζώτου και τα δείγματα τα οποία δεν δέχτηκαν καμία αζωτούχο λίπανση, με τα τελευταία να επιδεικνύουν σαφώς χαμηλότερες τιμές ιξώδους όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7 που ακολουθεί.

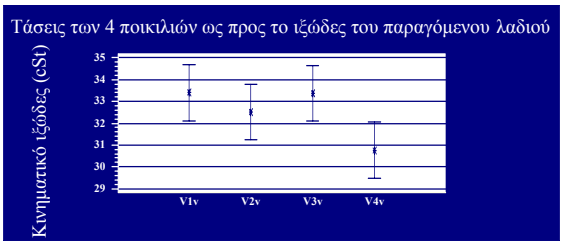
Ανάμεσα στις τέσσερις διαφορετικές ποικιλίες παρουσιάστηκαν συγκεκριμένες τάσεις σε ορισμένες ιδιότητες, με τις ποικιλίες V_1 και V_4 να επιδεικνύουν περισσότερο ευνοϊκά χαρακτηριστικά, μικρής ωστόσο σημασίας. Ειδικότερα, η V_4 ποικιλία έδειξε μια τάση για χαμηλότερο ιξώδες (Διάγραμμα 8) και περιεκτικότητα σε θείο, και η ποικιλία V_1 μια τάση για υψηλότερο αριθμό κετανίου (Διάγραμμα 9) και μικρότερο υπόλειμμα άνθρακα.

Πίνακας 4 Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων του παραγόμενου λαδιού πειραματικής καλλιέργειας ηλίανθου (μέσες τιμές)

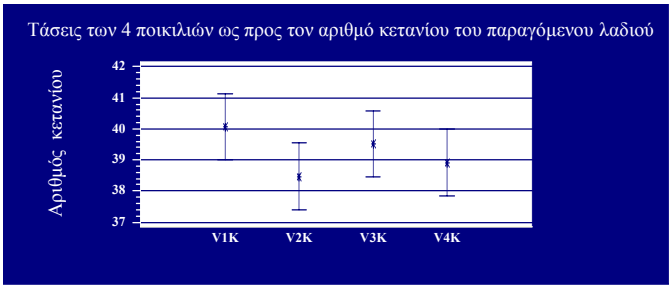
Ιδιότητα	**Μονάδες**	**Αποτελέσματα**
Δυναμικό ιξώδες στους 40°C	cP	30.387
Κινηματικό ιξώδες στους 40°C	mm^2/sec	32.51
Πυκνότητα στους 40°C	kg/m^3	905
Πυκνότητα στους 15°C	kg/m^3	921
Υγρασία	mg/kg	584
Τέφρα	% m/m	<0.01
Περιεκτικότητα σε θείο	mg/kg	1.4925 ~ 0 % m/m
Σημείο ανάφλεξης	° C	>230
Σημείο ροής	° C	-14
Αριθμός Κετανίου	-	39.24
Υπόλειμμα άνθρακα	% m/m	0.130356
Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη	MJ/kg	39.04



Διάγραμμα 7: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις δύο επεμβάσεις αζωτούχου λίπανσης όσον αφορά το κινηματικό ιξώδες του παραγόμενου λαδιού



Διάγραμμα 8: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις τέσσερις ποικιλίες όσον αφορά το κινηματικό ιξώδες του παραγόμενου λαδιού



Διάγραμμα 9: Διαστήματα ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για τις τέσσερις ποικιλίες όσον αφορά τον αριθμό κετανίου του παραγόμενου λαδιού

2.4 Οικονομική ανάλυση κόστους καλλιέργειας ηλίανθου

Για τον σκοπό αυτόν της μελέτης χρησιμοποιήθηκε το οικονομικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών με την ονομασία Bioenergy Economic Evaluation (EU Project: Bioenergy Chains, Contract no ENKG –CT 2001-00524, [8], το οποίο υπολογίζει το κόστος για κάθε καλλιεργητική εργασία με βάση τις ανάγκες σε μηχανήματα, ανθρώπινη εργασία και υλικά που αναλίσκονται.

Η οικονομική ανάλυση έγινε για καλλιέργεια ηλίανθου έκτασης 2.5 ha σε αρδευόμενη γη με κόστος αγοράς 3200.00 €/ha και κόστος ενοικίασης 600.00 €/ha. Το κόστος για την εργασία των μηχανημάτων υπολογίζεται ως κόστος κεφαλαίου και συντήρησης σε ωριαία βάση, σύμφωνα με το κόστος αγοράς τους, τον αναμενόμενο χρόνο ζωής τους, τις ετήσιες ώρες λειτουργίας και ποσοστά που ορίζονται για τόκο κεφαλαίου 9%, πληθωρισμό 4% και επιτόκιο προεξόφλησης 10%. Στο παραπάνω κόστος προστίθεται και η κατανάλωση καυσίμου, για τα μηχανήματα που καταναλίσκουν καύσιμο.

Για τον υπολογισμό των αναγκών σε ώρες εργασίες και λίτρα καυσίμου για κάθε καλλιεργητική επέμβαση χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία [9], [1].

Στα λειτουργικά έξοδα υπολογίστηκε το κόστος νερού ως πάγιο ανά μονάδα έκτασης, όπως χρεώνεται από τοπικούς οργανισμούς σε πολλές περιοχές της χώρας, στην τιμή των 94 €/ha και στην τιμή αυτή προστέθηκαν και άλλα 150 €/ha για διάφορα λειτουργικά έξοδα και υπηρεσίες. Η εργασία της μηχανικής συλλογής με θεριζοαλωνιστική μηχανή θεωρήθηκε ενοικιαζόμενη όπως συνηθίζεται από παραγωγούς των 2.5 ha, με τιμή ενοικίασης 75 €/ha.

Ο υπολογισμός του κόστους με τα δεδομένα της πειραματικής καλλιέργειας περιορίστηκε στις δύο ακραίες ενεργειακές εισροές, ελάχιστης και μέγιστης, μιας και οι υπόλοιπες τιμές δεν θα ήταν παρά ενδιάμεσες. Οι τιμές που προέκυψαν ανά καλλιεργητική εργασία και κατηγορία ανάγκης, δίνονται στον Πίνακα 5.

Με βάση το κόστος ανά εκτάριο καλλιεργούμενης έκτασης που προέκυψε παραπάνω και τις στρεμματικές αποδόσεις των διαφόρων ποικιλιών σε σπόρο, λάδι και φυτικά στελέχη όπως δόθηκαν στον Πίνακα 1, το ελάχιστο κόστος παραγωγής λαδιού προκύπτει από τη περισσότερο παραγωγική ποικιλία V_1 και τις ελάχιστες ενεργειακές εισροές I_1N_0, το οποίο είναι 0.669 €/*l* λαδιού για πυκνότητα 0.92 kg/*l* στους 15^0C.

Αν ληφθεί υπόψη το ενεργειακό περιεχόμενο του παραγόμενου λαδιού, το κόστος παραγωγής ανά μονάδα ενέργειας ανέρχεται στα 15.75 €/GJ. Η τιμή πώλησης του πετρελαίου (0.6 €/*l*) αντιστοιχεί σε 15.79 €/GJ. Αν συμπεριληφθεί σε αυτό, το ουσιαστικό περιβαλλοντικό κόστος λόγω εκπομπών και δημιουργίας πετρελαιοκηλίδων από τα ορυκτά καύσιμα, υπολογιζόμενο στα 0.67 €/*l* καυσίμου [10], ή 17.60 €/GJ ενέργειας, το φυτικό λάδι ηλίανθου τείνει να καταστεί ένα ανταγωνιστικό εναλλακτικό καύσιμο.

Το κόστος της συνολικής μέσης τιμής ενέργειας που παράγεται από την καλλιέργεια (λάδι, ηλιόπιττα, και φυτικά υπολείμματα) από την ποικιλία V_1ανέρχεται στα 2.57 €/GJ ή 0.009 €/kWh.

Πίνακας 5: Ανάλυση κόστους καλλιέργειας ηλίανθου

Κόστος	*ανά*	κατηγορία	*ανάγκης*	*(€/ha)*	*Total by*	*operation*	%	%
		Ανθρώπινη			*min*	*max*		
Επέμβαση	*Μηχανήματα*	*εργασία*	*Υλικά*	*Ενοικίαση*	*inputs*	*inputs*	min	max
Όργωμα	33.17	20.79	—		53.96	53.96	4.26	3.41
Δισκοσβάρνισμα	6.85	5.60	—		12.45	12.45	0.98	0.79
Σπορά	3.38	12.00	40.00		55.38	55.38	4.37	3.50
Σκάλισμα	8.00	18.88	—		26.88	26.88	2.12	1.70
Ζιζανιοκτονία	0.59	4.90	0.58		6.07	6.07	0.48	0.38
Λίπανση N_0	7.51	7.00	63.00		77.51		6.12	
Λίπανση N_1	11.25	10.50	168.00			189.75		11.99
Άρδευση I_1	71.58	6.40	—		77.98		6.16	
Άρδευση I_3	268.20	14.00	—			282.20		17.82
Συλλογή				75.00	75.00	75.00	5.92	4.74
Μεταφορά	2.64	5.60	—		8.24	8.24	0.65	0.52
Μετακίνηση προς και από τον αγρό	12.37	16.8	—		29.17	29.17	2.3	1.84
Σύνολο I_1N_0	146.09	97.97	103.58	75.00	**422.64**		33.37	
Σύνολο I_3N_1	346.45	109.07	208.58	75.00		**739.10**		46.69
Κόστος γης				600.00	600.00	600.00	47.37	37.90
Λειτουργικές δαπάνες					244.00	244.00	19.26	15.41
	ΓΕΝΙΚΟ	**ΣΥΝΟΛΟ**	**ΚΟΣΤΟΥΣ**	**€/ha**	**1266.64**	**1583.10**	100.0	100.0

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δοκιμή της καλλιέργειας ηλίανθου στην κεντρική Ελλάδα έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε σχέση με τις αποδόσεις σε σπόρο και λάδι, και το καθαρό ενεργειακό κέρδος με υψηλά ενεργειακά ισοζύγια που έφθασαν την τιμή 7.75:1 για την ποικιλία V_1 στην περίπτωση των χαμηλότερων ενεργειακών εισροών. Από τις ποικιλίες που δοκιμάστηκαν οι πιο παραγωγικές ήταν οι ποικιλίες *Golden World* ακολουθούμενη από την *Turbo*.

Η πειραματική καλλιέργεια απέδειξε ότι οι εντατικές ενεργειακές εισροές δεν ευνόησαν τις αποδόσεις της καλλιέργειας, ελαχιστοποιώντας έτσι το ενεργειακό ισοζύγιο. Από την άλλη, η

αποφυγή της περισσότερο δαπανηρής ενεργειακά αζωτούχου λίπανσης έδειξε μια αξιοσημείωτη τάση για χαμηλότερες τιμές ιξώδους στο παραγόμενο λάδι. Παρά το υψηλό ενεργειακό όφελος, το οικονομικό κόστος παραγωγής φυτικού λαδιού από ηλίανθο παραμένει υψηλό, σε σχέση πάντα με την παρούσα χαμηλή τιμή πώλησης του πετρελαίου, στη διαμόρφωση του οποίου αξιοσημείωτο είναι ότι, ποσοστό ίσο με 47 % συνιστά το κόστος της γης. Η αναγνώριση του περιβαλλοντικού κόστους των ορυκτών καυσίμων απαλύνει το υψηλό οικονομικό κόστος παραγωγής λαδιού ηλίανθου, η δυνατότητα διάθεσης στην αγορά και των υπολοίπων προϊόντων της καλλιέργειας, φυτομάζας και ηλιόπιττας, θα μείωνε το τελικό κόστος, και μια μικρή επιδότηση της καλλιέργειας θα καθιστούσε το λάδι ηλίανθου ένα ανταγωνιστικό εναλλακτικό καύσιμο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

- Η εργασία χρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ερευνητικό Πρόγραμμα ‘’Εναλλακτικά καύσιμα για αεριοστροβίλους’’, AFTUR, Contract n^{o} ENK5-CT-2002-00662
- Οι αναλύσεις για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του παραγόμενου λαδιού έγιναν στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.
- Οι σπόροι για την σπορά του πειραματικού αγρού ήταν ευγενική παραχώρηση των εταιριών Αγροτ. Οίκος Σπύρου Α.Ε. και Υψιλον Α.Ε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kallivroussis L., Natsis A., Papadakis G., 2002. The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. *J. Biosystems Engineering* vol. 81, pp. 347-354.
2. Pimentel D., 1980. Handbook of Energy utilization in Agriculture, New York State College of Agriculture and Life Science, Cornell University. CRC PRESS.
3. McIntosh C S; Smith S M; Withers R V, 1984. Energy balance of on-farm production and extraction of vegetable oil for fuel in the United States Inland Northwest. *Energy in Agriculture* 3, pp. 155–166
4. Apostolakis M., Kyritsis S., Souter X., 1987. The biomass energy potential of agricultural and forest wood wastes, Publication of the Greek Productivity Centre, Athens
5. Pryde E H., 1981. Vegetable oils vs. diesel fuel, chemistry and availability of vegetable oils, Regional Proceedings of Workshop on Alcohol and Vegetable Oil as Alternative Fuels, USDA, Washington DC.
6. Rossell J B; Pritchard J L R., 1991. Analysis of Oilseeds Seeds, Fats and Fatty Foods, Elsevier Applied Science, London and New York.
7. Bona S., Mosca G., Vamerali T., 1999. Oil crops for biodiesel production in Italy. *J. Renewable Energy* vol. 16, pp.1053-1056.
8. Soldatos P. G., Lychnaras V., Assimakis D., 2003. *Bee*, *Bioenergy Economic Evaluation* software. EU Project: Bioenergy Chains, Contract no ENKG –CT 2001-00524.

9. Natsis A., Kerkides P., Pitsilis J., 2001. Farm Machinery Selection to Minimize the Cost of Agricultural Operations. *Rural and Environmental Engineering* No. 41 (2001.8), pp. 47-56.

10. Chapman R.N., 1996. Hybrid Power Technology for Remote Military Facilities. Power Quality Solutions/ Alternative Energy Proceedings, IEEE Annual Meeting, September, pp. 415-427

ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

Γ. Λύχνος*, Γ. Λαμπρινός*, M. M. Vahdati**

*Γ.Π.Α, Τμήμα Α.Φ.Π. – ΓΜ, Εργαστήριο Γ. Μηχ/γίας, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα
**University of Reading, Department of Construction Management and Engineering, Whiteknights, Reading RG6 6AH, UK

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια ανασκόπησης της σύγχρονης τεχνικής διαχωρισμού γνωστής ως ‘‘απόσταξη με μεμβράνη’’ (membrane distillation). Η απόσταξη με μεμβράνη (ΑΜ) αποτελεί μια μέθοδο διαχωρισμού που μελετάται διεθνώς ως μια διεργασία απόσταξης/συμπύκνωσης χαμηλού κόστους, εναλλακτική άλλων παρεμφερών μεθόδων όπως η διήθηση, η απόσταξη, η ηλεκτροδιάλυση, η κρυοσυμπύκνωση και η αντίστροφη όσμωση. Η ΑΜ χρησιμοποιείται κυρίως πειραματικά. Η μεταφορά μάζας και θερμότητας, η θερμοκρασιακή πόλωση, καθώς και η κατασκευή αποδοτικών μεμβρανοστοιχείων έχουν αποτελέσει αντικέμενα μελέτης.

MEMBRANE DISTILLATION

G. Lichnos*, G. Lambrinos*, M. M. Vahdati**

* Agricultural University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering, 75 Iera Odos street – 11855 Greece
**University of Reading, Department of Construction Management and Engineering, Whiteknights, Reading RG6 6AH, UK

ABSTRACT

This study reviews the distillation process known as membrane distillation. Membrane distillation is investigated worldwide as a low operating cost distillation process with low mechanical requirements and high mass flux, alternative to other processes such as filtration, conventional distillation, electro dialysis, reverse osmosis and freezing process. Membrane distillation is used mainly at the laboratory scale. The effects of mass transfer, heat transfer and temperature polarization as well as the effectiveness of the membrane modules have been investigated.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

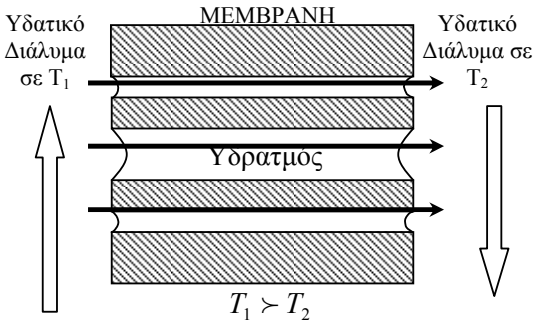
Στις μέρες μας η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, των υφάλμυρων υδάτων ή νερού υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα έχει γίνει αναγκαία κυρίως σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές. Η απόσταξη με μεμβράνες (ΑΜ) είναι μια μέθοδος που μπορεί να εφαρμοσθεί για παραγωγή πόσιμου νερού σε μικρή και μεσαία κλίμακα. Η ΑΜ έχει αποτιμηθεί ως διεργασία αφαλάτωσης νερού τεχνικά δυνατή αλλά οικονομικά βιώσιμη κάτω από προϋποθέσεις. Ο κύριος παράγοντας είναι το κόστος της ενέργειας που χρειάζεται για να δημιουργηθεί η απαραίτητη για τη λειτουργία της διεργασίας διαφορά θερμοκρασίας. Γενικά η ΑΜ έχει αποδειχθεί ανταγωνιστική άλλων μεθόδων σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται η απορριπτόμενη θερμότητα ενός εργοστασίου ή όταν το κόστος χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η απόσταξη με μεμβράνες (ΑΜ), όπως και η διεξάτμιση είναι διεργασία η οποία λειτουργεί με κινούσα δύναμη τη διαφορά θερμοκρασίας. Διαχωρίζει δύο υγρά τα οποία βρίσκονται υπό διαφορετική θερμοκρασία εκατέρωθεν των πλευρών μιας μεμβράνης. Η διαφορά της θερμοκρασίας μεταφέρει τα μόρια των σχηματιζόμενων ατμών του θερμότερου διαλύματος μέσα από τους πόρους μιας διαχωριστικής υδρόφοβης μεμβράνης ως αποτέλεσμα της διαφοράς πίεσης υδρατμών. Συνεπώς ο μηχανισμός μεταφοράς από τον τροφοδότη (feed) έως το απόσταγμα (permeate) μπορεί να αναλυθεί σε τρεις φάσεις:

1) Εξάτμιση στην πλευρά της υψηλής θερμοκρασίας
2) Μεταφορά των μορίων του ατμού διαμέσου των πόρων της υδρόφοβης μεμβράνης
3) Συμπύκνωση των ατμών στην πλευρά της χαμηλής θερμοκρασίας.

Στο σχήμα 1 απεικονίζεται η διεργασία που περιγράφηκε προηγουμένως για ένα μεμβρανο - στοιχείο άμεσης επαφής.



Σχήμα 1. Απόσταξη με μεμβράνη

Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή σε διαχωρισμούς όπου:

α) το διερχόμενο ρευστό ή απόσταγμα είναι το κύριο προϊόν όπως π.χ στην αφαλάτωση, στον καθαρισμό του νερού λυμάτων για επαναχρησιμοποίηση του ως πόσιμο, νερό χρήσης ή για γεωργικούς σκοπούς.

β) το συμπύκνωμα είναι το κύριο προϊόν π.χ συμπύκνωση χυμών φρούτων και λαχανικών, γ) το συμπύκνωμα και το απόσταγμα είναι τα προϊόντα (σε αζεοτροπικούς διαχωρισμούς). Στη συνέχεια θα αναλυθεί κυρίως η εφαρμογή της μεθόδου στην αφαλάτωση που έχει ερευνηθεί περισσότερο. Σε ένα υδατικό διάλυμα αλάτων (σαν τέτοιο μπορεί να θεωρηθεί το θαλασσινό νερό) μόνο το καθαρό νερό έχει πίεση ατμών (πίεση υδρατμών) που σημαίνει ότι μόνο το νερό περνά διαμέσου της μεμβράνης και συνεπώς επιτυγχάνονται υψηλές εκλεκτικότητες.

3. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΖΑΣ

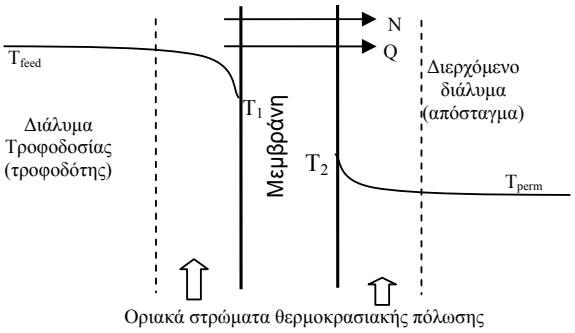
3.1 Μεταφορά θερμότητας

Η ΑΜ είναι σύνθετη φυσική διεργασία στην οποία λαμβάνουν χώρα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας ταυτόχρονα. Ειδικότερα όσον αφορά τη μεταφορά θερμότητας στην αρχή, θερμότητα μεταδίδεται από το θερμαινόμενο διάλυμα τροφοδοσίας διαμέσου του θερμικού οριακού στρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης με συναγωγή. Στη συνέχεια η θερμότητα περνά διαμέσου της μεμβράνης τόσο ως λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών όσο και ως αισθητή θερμότητα με αγωγή. Τελικά η θερμότητα απάγεται από την ψυχόμενη επιφάνεια της μεμβράνης διαμέσου του οριακού στρώματος του διερχόμενου ψυχρού διαλύματος (σχ.2).

Συνεπώς η μεταφορά θερμότητας με τη μορφή ροής μπορεί να εκφρασθεί με τις ακόλουθες σχέσεις:

1. μέσα στο οριακό στρώμα του θερμαινόμενου διαλύματος $q_{feed} = h_{feed}\left(T_{feed} - T_1\right)$ (1)
2. διαμέσου της μεμβράνης $q_m = N \cdot \Delta H + h_m\left(T_1 - T_2\right)$ (2)
3. μέσα στο οριακό στρώμα του ψυχό-μενου διαλύματος $q_{perm} = h_{perm}\left(T_2 - T_{perm}\right)$.

Σε σταθεροποιημένη κατάσταση θα ισχύει $q_{feed} = q_m = q_{perm}$



Σχήμα 2. Θερμοκρασιακή πόλωση στην ΑΜ

3.2 Μεταφορά μάζας

Η έρευνα που έχει γίνει στην μοντελοποίηση της μεταφοράς μάζας στην ΑΜ, αφορά δύο διακριτές περιοχές. Η πρώτη αφορά τη μοντελοποίηση της μεμβράνης δηλαδή το μηχανισμό μεταφοράς διαμέσου της μεμβράνης. Η δεύτερη αφορά τη συνολική μοντελοποίηση στην οποία προβλέπεται η ροή μάζας διαμέσου της μεμβράνης σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας.

Στην πρώτη περίπτωση έχουν προταθεί τα εξής μοντέλα:

α) Το μοντέλο της αέριας σκόνης (Dusty Gas Model), που είναι ένα γενικό μοντέλο ροής μάζας διαμέσου ενός πορώδους μέσου, και που δίνεται στην ΑΜ από δύο εξισώσεις $\frac{N_i^D}{D_{ie}^k} + \sum_{j=1\neq i}^{n} \frac{p_j N_i^D - p_i N_j^D}{D_{ije}^0} = \frac{-1}{RT}\nabla p_i$ και $N_i^V = \frac{-p_i B_o}{RT\mu}\nabla P$

Το πρόβλημα που παρουσιάζει το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ότι αφορά ισόθερμες διεργασίες ροής μάζας. Το DGM βρίσκει εφαρμογή στην ΑΜ με κενό αέρος, όπου κυριαρχούν οι συγκρούσεις των μορίων του υδρατμού με τα τοιχώματα των πόρων σε

μεμβράνες με μικρούς πόρους, λέγεται και μοντέλο Knudsen-περιορισμένης διάχυσης δίνεται δε από την εξίσωση: $N_i = \frac{K_0}{RT}\left(\frac{8RT}{\pi M_i}\right)^{1/2}\frac{\Delta p_i}{\delta}$.

β) Για μεμβράνες με ακόμα μικρότερους πόρους (<0.5μm) όπου οι συγκρούσεις των μορίων του υδρατμού με τα τοιχώματα των πόρων είναι το ίδιο συχνές με τις μεταξύ των μορίων συγκρούσεις προτάθηκε το μοντέλο του Knudsen-μοριακής διάχυσης:

$N_1 = \frac{-1}{RT}\left[\frac{1}{D_{1e}^k} + \frac{p_2}{D_{12e}^0}\right]^{-1}\nabla p_1$ [5]

Επειδή η παραπάνω εξίσωση δεν ολοκληρώνεται εύκολα έχουν βρεθεί ημιεμπειρικές εξισώσεις όπως αυτές που ακολουθούν :

έστω N η ροή μάζας και υποθέτοντας ότι αυτή είναι ανάλογη με τη διαφορά της τάσης των υδρατμών διαμέσου της μεμβράνης τότε, $N = C\left[P_1 - P_2\right]$ όπου C είναι ο συντελεστής της απόσταξης με μεμβράνη που υπολογίζεται πειραματικά, P_1 και P_2 οι τάσεις των υδρατμών στην επιφάνεια της μεμβράνης που βρίσκεται σε επαφή με το θερμαινόμενο διάλυμα τροφοδοσίας και στην επιφάνεια της μεμβράνης που βρίσκεται σε επαφή με το ψυχόμενο διερχόμενο διάλυμα αντίστοιχα.Η διεργασία της μεταφοράς μάζας χαρακτηρίζεται από τρεις ανεξάρτητους μηχανισμούς που είναι οι εξής: α) η διάχυση Knudsen (κυρίαρχο φαινόμενο οι συγκρούσεις των μορίων με τα τοιχώματα), β) η μοριακή διάχυση (κυριαρχούν οι μεταξύ των μορίων συγκρούσεις, γ) η ροή Poiseuille όπου το αέριο συμπεριφέρεται σαν ένα συνεχές ρευστό που κινείται λόγω της διαφοράς πίεσης (πάλι κυριαρχούν οι μεταξύ των μορίων συγκρούσεις)[9].

Σύμφωνα με τους Schofield et al [7] στο πρώτο μηχανισμό η τιμή της C υπολογίζεται από την εξίσωση $C_1 = 1.064\frac{r\varepsilon}{\tau\delta}\left(\frac{M}{RT_m}\right)^{0.5}$, στο δεύτερο από την εξίσωση $C_2 = \frac{1}{y_{\ln}}\frac{D\varepsilon}{\tau\delta}\left(\frac{M}{RT_m}\right)$ και στη τρίτη από την εξίσωση $C_3 = 0.125\frac{r^2\varepsilon}{\tau\delta}\left(\frac{Mp_m}{\eta RT_m}\right)$

Ακόμα όμως και οι εξισώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως δεν είναι πρακτικές για τη πρόβλεψη των συντελεστών των μεμβρανών εξαιτίας της σύνθετης γεωμετρίας και της αβεβαιότητας των χαρακτηριστικών τους [9].

Στο δεύτερο μοντέλο Knudsen (αυτό της μοριακής διάχυσης) συγκαταλέγεται και το υπομοντέλο που ακολουθεί

$N \cong C\left.\frac{dp}{dT}\right|_m (T_1 - T_2)$ όπου $\left.\frac{dp}{dT}\right|_m$ είναι η κλίση της τάσης των υδρατμών με τη θερμοκρασία υπολογιζόμενη σε $T_m = (T_1 - T_2)/2$

Η κλίση $\left.\frac{dp}{dT}\right|_m$ δίνεται από την σχέση Clausius-Clapeyron για καθαρό νερό τροφοδοσίας

$\frac{dp}{dT} = \frac{P_m \cdot \Delta H \cdot M}{RT_m^2}$.

Για υδατικά διαλύματα αλάτων ισχύει $N = \frac{CMP_m \Delta H^2 (T_1 - T_2)}{RT_m^2} - CP_m(1-\gamma x)$ όπου γ ο συντελεστής δραστικότητας του νερού και χ ο μοριακός τίτλος του διαλύματος. Η P_m δίνεται από την εξίσωση του Antoine $P_m = \exp\left[23{,}238 - 3841/(T_m - 45)\right]$ όπου $T_m = (T_1 + T_2)/2$

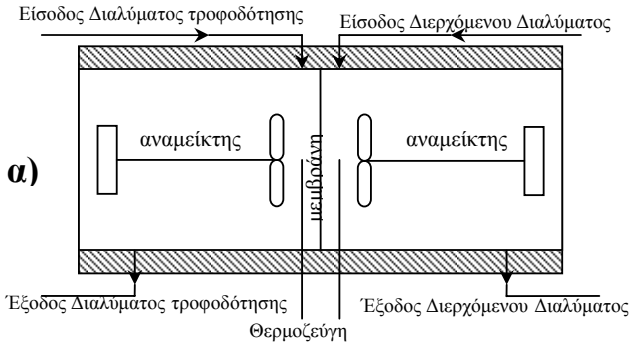
Η T_1 είναι $T_1 = \frac{T_{feed}\left(\frac{k}{\delta} + \frac{k_m}{\delta_m}\right) + \frac{k_m}{\delta_m} T_{perm} - \dot{m}\Delta H}{2\frac{k_m}{\delta_m} + \frac{k}{\delta}}$ και η T_2 είναι $T_2 = T_{feed} - T_1 + T_{perm}$

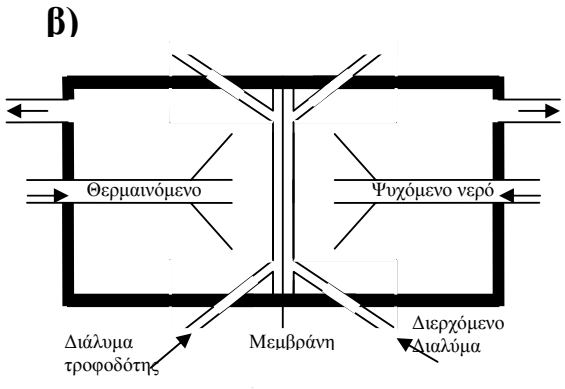
όπου k η θερμική αγωγιμότητα του νερού στο οριακό στρώμα και δ το πάχος των οριακών στρωμάτων [6]. Με επαναληπτικές μεθόδους είναι δυνατή η λύση των παραπάνω εξισώσεων και συνεπώς είναι δυνατή η πρόβλεψη της ροής μάζας σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας.

4. ΤΥΠΟΙ ΜΕΜΒΡΑΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

4.1 Τύποι Μεμβρανοστοιχείων

Η διαφορά πίεσης υδρατμών διαμέσου της μεμβράνης μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους και διατάξεις όπως: α) με άμεση επαφή όπου το απόσταγμα έρχεται σε άμεση επαφή με τη μεμβράνη, β) με διάκενο αέρος, γ) με ρεύμα αδρανούς αερίου και δ) με κενό αέρος όπου το διερχόμενο ρευστό ή απόσταγμα δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τη μεμβράνη αλλά συμπυκνώνεται μακράν αυτής σε μία ψυχόμενη επιφάνεια.



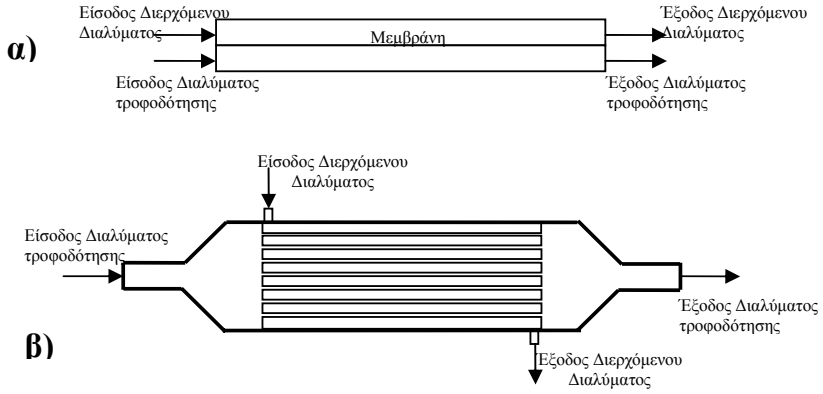


Σχήμα 3. α) Μεμβρανοστοιχείο Lewis, **β)** Μεμβρανοστοιχείο με κανάλια μικρής διατομής

Η πιο απλή μέθοδος όσον αφορά τη λειτουργία με ελάχιστο εξοπλισμό είναι η ΑΜ με άμεση επαφή και χρησιμοποιείται κυρίως σήμερα στην αφαλάτωση και στη συμπύκνωση χυμών φρούτων και λαχανικών.
Οι κυριότεροι τύποι μεμβρανοστοιχείων άμεσης επαφής που έχουν χρησιμοποιηθεί στην έρευνα είναι: α) το μεμβρανοστοιχείο Lewis που έχει τη δυνατότητα ανάμιξης (σχ.3α), β) το μεμβρανοστοιχείο με κανάλια μικρής διατομής που χρησιμοποίησαν οι Schofield et al (σχ.3β), γ) το βασικό δισκοειδές μεμβρανοστοιχείο (σχ.4α), δ) το μεμβρανοστοιχείο λεπτών ή κοίλων πορωδών ινών (σχ.4β) και ε) το μεμβρανοστοιχείο ελικοειδούς περιελίξεως της μεμβράνης (σχ.5).
Το μεμβρανοστοιχείο του Lewis είναι κατάλληλο μόνο για εργαστηριακή χρήση ενώ τα υπόλοιπα έχουν παρόμοιες ικανότητες αποδοτικής λειτουργίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μεμβρανοστοιχεία ελικοειδούς περιελίξεως της μεμβράνης είναι συμπαγείς κατασκευές στις οποίες επιτυγχάνεται ενιαία ανάκτηση της θερμότητας συμπύκνωσης επιτρέποντας την αποδοτική τους χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες [3].

4.2 Χαρακτηριστικά Μεμβρανών

Η ΑΜ βασίζεται στην αρχή ότι η απόσταξη λαμβάνει χώρα διαμέσου μιας πορώδους μεμβράνης που δεν πρέπει να διαβρέχεται. Αν διαβραχεί τότε το υγρό θα εισχωρήσει αυθόρμητα μέσα στους πόρους της μεμβράνης και θα έχει ως αποτέλεσμα την διαρροή του διαλύματος τροφοδοσίας διαμέσου στο απόσταγμα.
Η ικανότητα διαβροχής εξαρτάται από τρεις παράγοντες: α) το μέγεθος των πόρων (r), β) την επιφανειακή τάση του υγρού (γ_L), γ) την δια-επιφανειακή τάση του υλικού της μεμβράνης ή γωνία επαφής (θ ή συνθ). Η σχέση μεταξύ του μέγιστου επιτρεπόμενου



Σχήμα 4. α) Βασικό δισκοειδές μεμβρανοστοιχείο, **β)** Μεμβρανοστοιχείο λεπτών ή κοίλων πορωδών ινών.

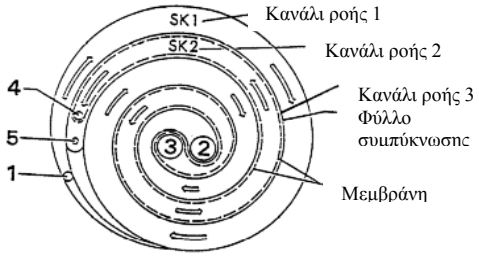
μεγέθους των πόρων και των συνθηκών λειτουργίας δίνεται από την εξίσωση του Laplace:

$$P_{\upsilon\gamma\rho\acute{\upsilon}} - P_{\upsilon\delta\rho\alpha\tau\mu\acute{\upsilon}} = \Delta P = \frac{-2\mathrm{B}\gamma_L \sigma\upsilon\nu\theta}{r_{\max}} \prec \Delta P_{\epsilon\iota\sigma\acute{\delta}\delta\upsilon}$$

όπου το Β είναι γεωμετρικός παράγοντας που καθορίζεται από την δομή των πόρων (π.χ για κυλινδρικής διατομής πόρους Β = 1).

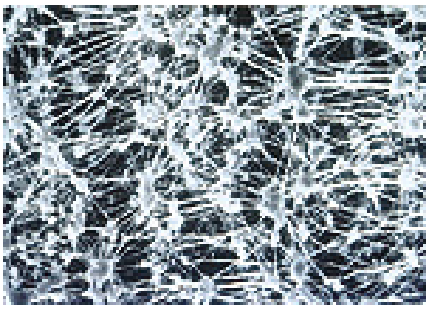
Το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στην ΑΜ κυμαίνεται από $100\,\mathring{\mathrm{A}}$ έως 1μm. Όταν επιλέγεται το μέγεθος των πόρων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν ο κίνδυνος διαβροχής εφόσον το μέγεθος των πόρων είναι μεγάλο αλλά και η επιθυμητή ροή μάζας. Η μοριακή ροή διαμέσου ενός πόρου εξαρτάται από τη μέση τιμή του μεγέθους των πόρων r^a της μεμβράνης, από το πορώδες ε, από το συντελεστή οφιοειδούς διαδρομής τ (tortuosity) και το πάχος της μεμβράνης δ. Αυξάνοντας το πορώδες και το μέγεθος των πόρων με παράλληλη μείωση του δρόμου μεταφοράς της μάζας διαμέσου της μεμβράνης (γινόμενο τ.δ) επιτυγχάνεται αύξηση της μοριακής ροής. Η σχέση που συνδέει τη μοριακή ροή μέσα από ένα πόρο είναι η ακόλουθη :

$$\mathrm{N} \propto \frac{\left(r^a\right)\cdot\varepsilon}{\tau\cdot\delta} \quad [5]$$



1 Είσοδος τροφοδοσίας, 2 Είσοδος θερμαντήρα, 3 Έξοδος θερμαντήρα, 4 Έξοδος Συμπυκνώματος, 5 Έξοδος Αποστάγματος

Σχήμα 5. Μεμβρανοστοιχείο ελικοειδούς περιελίξεως της μεμβράνης. [3]



Σχήμα 6. Φωτογραφία μεμβράνης PTFE πάχους 0.2μm σε μεγέθυνση 5000:1
(Πηγή http://devicelink.com/mpb/archive/97/03/002.html)

Τα υλικά κατασκευής των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στην ΑΜ είναι το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE ή Teflon) και το πολυβινυλ-οδιφθορίδιο (PVDF). Η θερμική αγωγιμότητα των μεμβρανών που υπάρχουν στο εμπόριο κυμαίνεται από 0.04 έως 0.06 $\frac{W}{m \cdot K}$ (είναι αντιστρόφως ανάλογη του πορώδους). Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεμβράνη κατά την διεργασία διαχωρισμού δεν έχει καμία επίδραση, απλά δρα ως φράγμα μεταξύ των δύο διαλυμάτων.

4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα – Σύγκριση με συμβατικές μεθόδους αφάλατωσης

Τα πλεονεκτήματα της ΑΜ έναντι των άλλων μεθόδων αφαλάτωσης είναι: 1) 100% (θεωρητική) απόρριψη ιόντων, μακρομορίων, κολλοειδών, κυττάρων και άλλων μη πτητικών ενώσεων, 2) χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους απόσταξης, 3) χαμηλότερες πιέσεις λειτουργίας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους διαχωρισμού με μεμβράνες υπό πίεση, 4) μειωμένη χημική αλληλεπίδραση μεταξύ της μεμβράνης και των διαλυμάτων, 5) λιγότερες μηχανικές απαιτήσεις στις προδιαγραφές του υλικού κατασκευής της μεμβράνης, 6) μικρότερη επιφάνεια σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους απόσταξης [5]. Οσον αφορά την αφαλάτωση, συστήματα ΑΜ επιτυγχάνουν πυκνότητα ροής μάζας έως και 75 $kg/m^2\,h$ που είναι συγκρίσιμη με αυτή συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι τα διαλύματα πρέπει να είναι υδατικά και επαρκώς διαλυτά για να μην διαβρέχεται η υδρόφοβη μεμβράνη.

Πίνακας 1**.** Συγκριτικό κόστος εγκατάστασης και παραγωγής διαφόρων τεχνικών αφαλάτωσης, **(**MSF η πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση, MED η πολυβάθμια εξάτμιση, VC η εξάτμιση με επανασυμπίεση, RO αντίστροφη ώσμωση, MD ή ΑΜ η απόσταξη με μεμβράνη).Πηγές : [7]; [1]

	MSF	MED	VC	RO	MD
Κόστος εγκατάστασης $/m^3/ημέρα	1200-1500	900-1000	950-1000	700-900	-
Κόστος παραγωγής $/m^3	1.10-1.25	0.75-0.85	0.87-0.95	0.68-0.92	2*

Στο πίνακα 1 γίνεται σύγκριση του κόστους εγκατάστασης και παραγωγής διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης συμπεριλαμβανομένης της ΑΜ. Το κόστος λειτουργίας της ΑΜ που αναφέρεται στον πίνακα 1 εκτιμάται για ένα σύστημα που περιλαμβάνει μόνο έναν ανακτητή θερμότητας σε μία εγκατάσταση που παράγει $5m^3/h$ αποσταγμένου νερού. Συνεπώς με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή τη χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας ενός εργοστασίου για θέρμανση του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας, μπορεί να επιτευχθεί περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής. Οι Foster et al (2001) πρότειναν την εφαρμογή αντλίας θερμότητας – ψύξης στην ΑΜ με την οποία γίνεται ανάκτηση και απόδοση της λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών στο σύστημα. Πρόσφατα, έρευνα που έγινε με πειραματική διάταξη προσομοίωσης του ρόλου της αντλίας θερμότητας [9], κατέδειξε ότι είναι δυνατή η αύξηση της πυκνότητας ροής μάζας και συνεπώς και της παραγωγής κατά 30% με την ανάλογη αύξηση της απόδοσης.

4.4 Προβλήματα στην ΑΜ

Η διολίσθηση της πυκνότητας ροής της ΑΜ αποτελεί ένα πρόβλημα που δεν έχει πλήρως κατανοηθεί. Πιθανά αίτια του φαινομένου είναι: α) η διαβροχή της μεμβράνης που έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή της ροής στα σημεία διαβροχής της μεμβράνης [2], β) η ρύπανση της μεμβράνης (fouling) που οφείλεται σε ανόργανα και οργανικά κολλοειδή συστατικά καθώς και σε μικροοργανισμούς ή μικρόβια [10], τα οποία φράσουν την επιφάνεια των πόρων της μεμβράνης.

Επίσης η θερμοκρασιακή πόλωση στην επιφάνεια της μεμβράνης μειώνει την κινούσα δύναμη που είναι η διαφορά θερμοκρασίας γιατί παρατηρείται μείωση της διαφοράς αυτής στις επιφάνειες της μεμβράνης όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Ο συντελεστής θερμοκρασιακής πόλωσης λαμβάνεται σοβαρά υπ'όψη στο σχεδιασμό συστημάτων ΑΜ και ορίζεται ως

$$TPC = \frac{1}{1 + \frac{U}{h_{feed}} + \frac{U}{h_{perm}}}$$

Ο ιδανικός TPC θα πρέπει να είναι ίσος με τη μονάδα.

Σύμβολα

h_{feed}= συντελεστής θερμοπερατότητας του οριακού στρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης και στη πλευρά του διαλύματος-τροφοδότη (W/m^2K)	T_{perm}= η θερμοκρασία του αποστάγματος (K)
h_{perm}= συντελεστής θερμοπερατότητας του οριακού στρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης από τη πλευρά του διερχόμενου διαλύματος ή αποστάγματος (W/m^2K)	N_i^D = πυκνότητα ροής διάχυσης
T_1= η θερμοκρασία στην επιφάνεια της μεμβράνης από τη πλευρά του τροφοδότη (K)	N_i^V = πυκνότητα viscous ροής
T_2= η θερμοκρασία στην επιφάνεια της μεμβράνης από τη πλευρά του αποστάγματος (K)	D_{ie}^k, D_{ije}^0 = πραγματική διαχυτότητα
μ = ιξώδες	K_o = συντελεστής διάχυσης Knudsen
T_{feed}= η θερμοκρασία του τροφοδότη (K)	ΔH = λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (J/kg)
	$\dot{m}$ = πυκνότητα ροής μάζας (kg/m^2s)
	δ_m = το πάχος της μεμβράνης (mm)
	δ = το πάχος του οριακού στρώματος (mm)
	U = ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας (W/m^2K)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]A.Burgoyne, M.M. Vahdati (2001) "Direct contact membrane distillation", Separation and Purification Technology, 35 (8), pp.1257-1284
[2]A.C.M Franken, J.A.M Nolten, M.H.V Mulder, D. Bargeman and C.A. Smolders (1987) "Ethanol-Water separation by membrane distillation: Effect of temperature polarization", Synthetic Polymeric Membranes, Walter de Gruyter and Co., Berlin, New York, 1987, pp 515-529.
[3] C. Bier and U. Plantikow (1995) "Solar-Powered Desalination by Membrane Distillation (MD)", IDA World Congress on Desalination and Water Sciences Abu Dhabi, November 18-24
[4] Kevin W.Lawson, Douglas R.Lloyd (1997) "Membrane distillation", Journal of Membrane Science 124, 1-25
[5] P.J. Foster, A.Burgoyne, M.M. Vahdati (2001) "Improved process topology for membrane distillation", Separation and Purification Technology 21, 205-217
[6] R. Semiat (2000) "Desalination: Present and Future", Water International, 25 (1) 54-65
[7] R.W. Schofield, A.G. Fane and C.J.D. Fell (1987) "Heat and mass transfer in membrane distillation", Journal of Membrane Science 33, 299-313
[8] Zhongwei Ding, Runyu Ma, A.G.Fane (2002) "A new model for mass transfer in direct contact membrane distillation", Desalination 151, 217-227
[9] G. Lichnos (2004) "Investigation of Implementing a Heat Pump in a Membrane Distillation System", MSc Dissertation, Department of Engineering, University of Reading
[10] Ε.Δεληγιάννη και Β. Μπελεσιώτης (1995) "Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης", Γραφικές Τέχνες: Χρυς. Παπαχρυσάνθου α.ε., Αθήνα

Ο ΝΟΜΟΣ 3175/2003 ΩΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Α. Στοϊμενίδης, Γ. Μαρτζόπουλος
Α. Π. Θ. Τμήμα Γεωπονίας. Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής. Εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων.
54006 Θεσσαλονίκη. Τηλ.- fax : 2310998714. E-mail: astoimen@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αποτύπωση των σημαντικότερων σημείων του νέου θεσμικού πλαισίου για την γεωθερμία. Οι βελτιώσεις που επέφερε ο 3175/2003 στον 1475/1984 και πως αυτές μπορούν να συντελέσουν στην αύξηση του σημερινού ποσοστού αξιοποίησης (10%) του γεωθερμικού πεδίου της χώρας μας. Ο 1475/1984 δεν ανταποκρινόταν πλέον στις σημερινές ανάγκες. Με τον 3175/2003 <<Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις>> και τις σχετικές Υ.Α εφαρμογής, γίνεται μια προσπάθεια για τη δημιουργία ενός ενιαίου και ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου που εναρμονίζεται με την κοινοτική νομοθεσία.

LAW 3175/2003 AS A DEVELOPING TOOL IN GEOTHERMICAL APPLICATIONS

A. Stoimenidis , G.Martzopoulos
Aristotle University of Thessaloniki, . Department of Agricultural. Sector of Landed Improvements, Pedology and Agricultural Mechanics. Laboratory of Soft Energy Applications. 54006 Thessaloniki . Tel.- fax : 2310998714.
E-mail: astoimen@agro.auth.gr

ABSTRACT

Aim of this project is to indicate the most valuable points of the new institutional frame for geothermy .The improvements of 3175/2003 over 1475/1985 and how they can increase the present percentage of exploitation (10%) , of the geothermical field in our country. 1475/1985 could not respond to our present needs any longer. With 3175/2003 “Exploitation of geothermical dynamic, tele-heat and other settings” and the relevant minister application settings, there is an effort to create a united and complete institutional frame that will be enharmonized with the community’s legislation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια ήπια, εναλλακτική, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η αξιοποίηση της οποίας μπορεί να συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών και των περιφερειών και στην μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων [1].

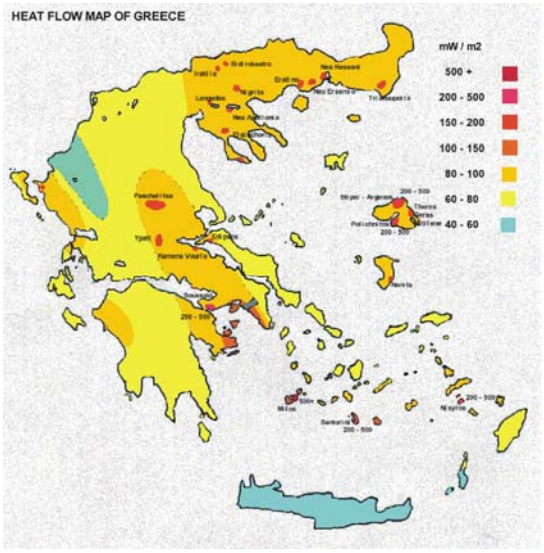
Η οικονομική ανάπτυξη και υψηλή βιομηχανοποίηση προκαλούν αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, η κάλυψη των οποίων από συμβατικές ενεργειακές πηγές έχει ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση, και σε ορισμένες περιπτώσεις, την καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος, με συχνά ανεπανόρθωτες επιπτώσεις στη ζωή των ανθρώπων.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμώντας ότι η χρήση και αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί την μοναδική ενεργειακή διέξοδο, υιοθέτησε σχετική Οδηγία για την προώθηση των ΑΠΕ, στις οποίες περιλαμβάνει και τη γεωθερμία, με την οποία καλεί τα κράτη-μέλη να δημιουργήσουν ένα ενιαίο περιβάλλον για την αύξηση των επενδύσεων στον τομέα αυτό. Με τη Λευκή Βίβλο έθεσε τρεις στρατηγικούς στόχους:

- την προώθηση της ανταγωνιστικότητας του ευρωπαϊκού ενεργειακού τομέα και της ευρωπαϊκής οικονομίας
- την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού
- την προστασία του περιβάλλοντος

Με βάση του στόχους που είχε θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, απαιτούνταν ο διπλασιασμός του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών (ηλιακής, αιολικής, βιομάζας, γεωθερμίας, υδροηλεκτρισμού) από το 6% στο 12% της ακαθάριστης ενεργειακής ζήτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το έτος 2010 [2].

Η Ελλάδα, εξαρτάται άμεσα από το εισαγόμενο ακριβό πετρέλαιο. Διαθέτει όμως τεράστιο δυναμικό ΑΠΕ. Λόγω των ειδικών γεωλογικών συνθηκών της, είναι πλούσια



Χάρτης Θερμικής Ροής της Ελλάδας

σε γεωθερμική ενέργεια κυρίως σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας και σε νησιά του Βορειοανατολικού και Κεντρικού Αιγαίου. Το ελληνικό γεωθερμικό δυναμικό είναι σημαντικό τόσο στην χαμηλή όσο και την υψηλή ενθαλπία. Παρέχει μεγάλη εγκαταστημένη ισχύ, που είναι συνεχώς διαθέσιμη και δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες.
Η αξιοποίηση αυτού του σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού σε άμεσες και έμμεσες χρήσεις, παρά το μικρό σχετικά βάθος του, δεν αναπτύχθηκε όσο αναμενόταν. Περιορίσθηκε σε εφαρμογές μικρής κλίμακας όπως της θέρμανσης θερμοκηπίων. Η άμεση και συστηματική αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας πρέπει να αποτελεί συνειδητό στόχο υψηλής προτεραιότητας της ελληνικής οικονομίας καθώς και της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής.
Το νομοθετικό πλαίσιο για τη γεωθερμία στην Ελλάδα μέχρι και πριν την ψήφιση του 3175/2003 όχι μόνο δε στήριξε αλλά και αποτέλεσε τροχοπέδη για την ανάπτυξη σοβαρών επιχειρηματικών σχεδίων για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας.

2. ΝΟΜΟΣ 1475/84: ΑΝΕΣΤΕΙΛΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Το θεσμικό πλαίσιο που ρύθμιζε τα θέματα της γεωθερμίας στη χώρα μας μέχρι την ψήφιση του 3175/2003 αποτελούσαν :

- Ο νόμος 210/73 για τον Μεταλλευτικό Κώδικα.
- Ο νόμος 1475/84 για την Αξιοποίηση του Γεωθερμικού Δυναμικού.
- Η από 31.12.93 Υπουργική Απόφαση για τον καθαρισμό μισθώματος.
- Ο νόμος 2244/94 για την Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ
- Ο νόμος 2467/98 για την Μεταφορά Αρμοδιοτήτων Υπ. Ανάπτυξης.
- Ο νόμος 2773/99 για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [3].

Το θεσμικό αυτό πλαίσιο δεν ανταποκρινόταν πλέον στις σημερινές ανάγκες, περιείχε αντιφατικές ρυθμίσεις, δεν συμβάδιζε με το ευρωπαϊκό κεκτημένο και είχε μία σειρά από προβλέψεις που δεν ευνοούσαν την ανάπτυξη της γεωθερμίας ούτε την προώθηση επενδύσεων στο τομέα αυτό.
Τα κύρια αρνητικά στοιχεία του 1475/84 μπορούν να καταγραφούν ως εξής [4] :

- Το γεωθερμικό δυναμικό θεωρούνταν μετάλλευμα και όχι ΑΠΕ, σε αντίθεση με το ευρωπαϊκό κεκτημένο, με συνέπεια να υπόκειται σε χρονοβόρες και πολυέξοδες διαδικασίες και να στερείται των ειδικών κινήτρων που προβλέπονται για τις ΑΠΕ ενώ παράλληλα άλλος νόμος, ο 2244/1994 και οι σχετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το χαρακτηρίζουν ως ΑΠΕ.
- Το γεωθερμικό πεδίο δεν αντιμετωπιζόταν ως ενιαίο «κοίτασμα-πηγή» και δεν προβλέπονταν η ενιαία διαχείριση του με συνέπειες την ανυπαρξία ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού ανάπτυξης του γεωθερμικού πεδίου, την έλλειψη συντονισμού των δραστηριοτήτων, την δυσκολία ανάπτυξης ενός μηχανισμού ελέγχου και παρακολούθησης της συμπεριφοράς τόσο του γεωθερμικού ταμιευτήρα όσο και των γεωθερμικών εγκαταστάσεων και τη μη διασφάλιση της ανανεωσιμότητας του γεωθερμικού πόρου.
- Δεν κάλυπτε το γεωλογικό ρίσκο της έρευνας γεωθερμικών πεδίων, γεγονός που απαιτεί υψηλό κεφάλαιο αρχικής επένδυσης υπό παρατεταμένη αβεβαιότητα απόδοσης του, χαρακτηριστικά τα οποία αποθάρρυναν την επενδυτική δραστηριότητα.
- Η ανυπαρξία ίσων επενδυτικών ευκαιριών. Η έλλειψη διαγωνιστικών διαδικασιών και ολοκληρωμένων επενδυτικών προτάσεων για όλο το φάσμα των προϊόντων,

παραπροϊόντων και υποπροϊόντων της γεωθερμίας. Η προτεραιότητα δικαιωμάτων σε Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης και Έλληνες του εξωτερικού που συνήθως είχαν αντικειμενική αδυναμία να αξιοποιήσουν τα γεωθερμικά πεδία.

- Όλα τα κατάλληλα για ηλεκτροπαραγωγή πεδία υψηλής ενθαλπίας είχαν παραχωρηθεί χωρίς αντάλλαγμα στη ΔΕΗ, η οποία δεν τα είχε αξιοποιήσει αλλά τα δέσμευε, μαζί με τα αντίστοιχα γεωθερμικά ρευστά που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν
- Δεν παρείχε δικαίωμα πώλησης της γεωθερμικής ενέργειας σε τρίτους με συνέπεια αφενός μεν να μην υπάρχει ορθολογική αξιοποίησή της, αφετέρου δε να μην είναι ελκυστική για μεγάλες ιδιωτικές επενδύσεις. Είναι πρωτοφανής και εντελώς παράλογη η απαγόρευση διάθεσης της ενέργειας όταν απαιτείται μία σοβαρή αρχική επένδυση με γεωλογικό ρίσκο

3. ΤΟ ΝΕΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΟΧΛΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Με τον νόμο 3175/2003 επιχειρήθηκε η δημιουργία ενός ανανεωμένου, ενιαίου και ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου εναρμονισμένου με την κοινοτική νομοθεσία. Στόχος είναι η προαγωγή της αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας με άρση των δυσκολιών που υπήρχαν λόγω του αναχρονιστικού παλαιού πλαισίου.
Οι κύριες κατευθύνσεις και μεταβολές που επέφερε ο νέος νόμος αναφέρονται παρακάτω:

- Δίνεται σαφής ορισμός του γεωθερμικού δυναμικού: ως γεωθερμικό δυναμικό θεωρούνται οι γηγενείς φυσικοί ατμοί, τα θερμά νερά και η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25^0 C [5].
- Το γεωθερμικό πεδίο στο πλαίσιο ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού ανάπτυξης αντιμετωπίζεται πλέον ως ενιαίο «κοίτασμα-πηγή» και προβλέπεται η ενιαία διαχείρισή του. Ο κατακερματισμός που υπήρχε με τις διαδικασίες επιμέρους μισθώσεων δυσκόλευε την ορθολογική εκμετάλλευση των γεωθερμικών κοιτασμάτων [6].
- Το γεωθερμικό πεδίο χαρακτηρίζεται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία συμβάλει στην αειφόρο ανάπτυξη και στη δημόσια ωφέλεια. Δίνεται έτσι η δυνατότητα ένταξης των σχετικών επενδυτικών σχεδίων στα ειδικά ευνοϊκά χρηματοδοτικά καθεστώτα που παρέχει η Ε.Ε για την αξιοποίηση των ΑΠΕ. Στην Ελλάδα είναι σε εξέλιξη το πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα που διαχειρίζεται τι Υπουργείο Ανάπτυξης.
- Καθιερώθηκε συγκεκριμένη διαγωνιστική διαδικασία για όλο το φάσμα προϊόντων, παραπροϊόντων και υποπροϊόντων δημιουργώντας ένα ασφαλές και ευνοϊκό επενδυτικό περιβάλλον. Ο φορέας που θα αναλαμβάνει την εκμετάλλευση θα επιλέγεται με βάση την τεχνική και οικονομική ικανότητα και την πληρότητα της πρότασής του.
- Καταργήθηκε η ανισότητα υπέρ των ΟΤΑ και των Ελλήνων του εξωτερικού με την άνευ διαγωνισμού προτεραιότητα που τους δίνονταν στην εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων.
- Δόθηκε η δυνατότητα για πώληση της παραγόμενης ενέργειας.
- Αποσαφηνίστηκε η διάκριση βεβαιωμένου δηλαδή προσδιορισμένου με φυσικά χαρακτηριστικά και άρα προς άμεση εκμίσθωση και αξιοποίηση γεωθερμικού

πεδίου από το πιθανό, εκείνο που δεν έχει επαρκώς προσδιορισμένα χαρακτηριστικά και χρήζει περαιτέρω έρευνας.

- Εντάχθηκε στο νομικό πλαίσιο η έκδοση Υπουργικών Αποφάσεων για το σαφή καθορισμό των χαρακτηριστικών κάθε γεωθερμικού πεδίου και των όρων εκμετάλλευσης και υπολογισμού του μισθώματος που διασφαλίζουν την ενιαία αντιμετώπιση και την εύρυθμη λειτουργία του πλαισίου. Αυτό κρίθηκε αναγκαίο λόγω της αποκέντρωσης των αρμοδιοτήτων για την εκμίσθωση γεωθερμικού δυναμικού στις Περιφέρειες της χώρας.
- Ανεξαρτητοποιείται για πρώτη φορά το πλαίσιο εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών θερμοκρασίας κάτω των 25^0 C και θεσπίζεται η χορήγηση αδειών από τις κατά τόπους Νομαρχίες στους ιδιοκτήτες των εκτάσεων.
- Για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας (25- 90 ^{0} C) η αρμοδιότητα υπάγεται στις Περιφέρειες που ανήκουν, ενώ για τα πεδία με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 90 ^{0} C αρμόδιο είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης με την έκδοση Υπουργικών Αποφάσεων.
- Προβλέπει τη δυνατότητα να συνδυάζεται η εκμίσθωση για την εκμετάλλευση γεωθερμικού δυναμικού με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή τη διανομή θερμού νερού και τη χορήγηση της αντίστοιχης άδειας. Για το σκοπό αυτό προβλέπεται η διαδικασία διαγωνισμού.
- Για τους χώρους και τα πεδία που δεν έχουν ερευνηθεί εκμισθώνεται το δικαίωμα έρευνας, πάλι με διαγωνισμό, για πέντε χρόνια, με δικαίωμα παράτασης για άλλα δύο. Εάν η έρευνα έχει θετικά αποτελέσματα, περέχεται στον μισθωτή και το δικαίωμα διαχείρισης χωρίς νέο διαγωνισμό.
- Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης ανήκει στο Δημόσιο. Στα βεβαιωμένα πεδία εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης σε τρίτους ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό για 25 χρόνια και δυνατότητα μονομερούς παράτασης από τον μισθωτή για άλλα πέντε χρόνια. Το 30% του μισθώματος προορίζεται για τους ΟΤΑ, στην περιοχή των οποίων βρίσκεται το πεδίο.

Από την ψήφιση του 3175 μεσολάβησαν δύο Υπουργικές Αποφάσεις εφαρμογής:

1. **Με την Υ.Α Δ9Β ΦΕΚ 208 05/02/2004 καθορίζεται επακριβώς ο χαρακτηρισμός των γεωθερμικών πεδίων** [7].

- Ως **βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο υψηλής θερμοκρασίας** μπορεί να

χαρακτηριστεί, ένα πεδίο που συγκεντρώνει απαραίτητα τουλάχιστον τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Α) Έχουν γίνει γνωστά και τεκμηριωμένα από ερευνητικές εργασίες τόσο η γεωμετρία του ταμιευτήρα όσο και η έκταση του πεδίου με απόκλιση μικρότερη του 10% και βαθμό εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 90%.

Β) Είναι γνωστά από παραγωγικές γεωτρήσεις και δοκιμές άντλησης με απόκλιση μέχρι 10% και βαθμό εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 90% η θερμοκρασιακή κατανομή στον ταμιευτήρα και η θερμοκρασία εξόδου των ρευστών στην επιφάνεια (έξοδο των γεωτρήσεων) και τα δεδομένα παροχής και πίεσης ρευστού.

Γ) Είναι γνωστά τα στοιχεία των χαρακτηριστικών της χημικής σύστασης του ρευστού

Δ) Υπάρχει εκτίμηση για τα πιθανά παραπροϊόντα και υποπροιόντα.

- Ως **βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο χαμηλής θερμοκρασίας** μπορεί να χαρακτηριστεί, ένα πεδίο που συγκεντρώνει απαραίτητα τουλάχιστον τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Α) Έχουν γίνει γνωστά και τεκμηριωμένα από ερευνητικές εργασίες η έκταση του πεδίου και η κατακόρυφη εξάπλωσή του (ελάχιστο / μέγιστο βάθος) με απόκλιση μικρότερη του 10% και βαθμό εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 90%.
Β) Είναι γνωστά με βαθμό εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 90% για κατάσταση ισορροπίας χωρίς να λαμβάνονται υπόψη μεταβολές από παρατεταμένη εκμετάλλευση η φαινόμενα υπεραντλήσεων, η θερμοκρασία εξόδου των ρευστών στην επιφάνεια (έξοδο των γεωτρήσεων) με απόκλιση μέχρι 10% και τα δεδομένα παροχής και πίεσης ρευστού με απόκλιση μέχρι 15%.
Γ) Είναι γνωστά τα στοιχεία των χαρακτηριστικών της χημικής σύστασης του ρευστού
Δ)Υπάρχει εκτίμηση για τα πιθανά παραπροϊόντα και υποπροιόντα.
Ως **πιθανό γεωθερμικό πεδίο** μπορεί να χαρακτηριστεί ένα πεδίο που συγκεντρώνει απαραίτητα τουλάχιστον τα παρακάτω χαρακτηριστικά:
Α) Υπάρχουν δεδομένα από γεωτρήσεις ώστε να είναι δυνατόν να καθοριστεί η θερμοκρασία εξόδου των ρευστών στην επιφάνεια (έξοδο των γεωτρήσεων) με απόκλιση μικρότερη του 20% και βαθμό αξιοπιστίας τουλάχιστον 70%.
Β) Μπορεί να προσδιοριστεί η έκταση και κατακόρυφη εξάπλωσή του πεδίου με απόκλιση μικρότερη του 30% και βαθμό αξιοπιστίας τουλάχιστον 70%.

2. Με την πρόσφατα εκδοθείσα Υ.Α Δ9Β ΦΕΚ 635 Β 12/05/2005 καθορίζεται με σαφήνεια η διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων στη χώρα μας.

Η συγκεκριμένη Υπουργική Απόφαση αφορά στους όρους και την διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος του δημοσίου για την έρευνα και την διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισής τους.
Σύμφωνα με την Απόφαση οι σχετικοί διαγωνισμοί θα προκηρύσσονται από τις Περιφέρειες στην περίπτωση που αφορούν την εκμετάλλευση βεβαιωμένων πεδίων που προορίζονται για θερμική χρήση. Αντίστοιχα στην περίπτωση μίσθωσης του δικαιώματος έρευνας μη βεβαιωμένων πεδίων ή εκμετάλλευσης πεδίων υψηλής θερμοκρασίας για ηλεκτροπαραγωγή, τον διαγωνισμό θα προκηρύσσει ο υπουργός Ανάπτυξης. Η Απόφαση σέβεται και δεν ανατρέπει τα υπάρχοντα δικαιώματα εκμετάλλευσης πεδίων τα οποία συνεχίζουν να ισχύουν. Επιπλέον, αναμένεται να δώσει σημαντική ώθηση σε ένα νέο σχετικά επιχειρηματικό κλάδο, τη Γεωθερμία και έτσι να συμβάλλει στην επίτευξη των περιβαλλοντικών δεσμεύσεων της χώρας.
Εντός του 2005 θα ακολουθήσει η Απόφαση για την κατάταξη των γεωθερμικών πεδίων σε πιθανά και μη βεβαιωμένα, σύμφωνα με γνωμοδότηση που ετοιμάζει το ΙΓΜΕ σε συνεργασία με τις υπηρεσίες του Υπουργείου.
Στο νέο θεσμικό πλαίσιο δεν έχει προβλεφθεί έως τώρα η σύσταση ενιαίου φορέα διαχείρισης της γεωθερμίας όπως της Δημόσιας Εταιρίας Παροχής Αερίου για το φυσικό αέριο. Η δημιουργία ενός τέτοιου θεσμού πιστεύουμε ότι μπορεί να συμβάλει θετικά στην αξιοποίηση της γεωθερμίας στην πατρίδα μας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στην Ελλάδα το θεσμικό πλαίσιο για τη γεωθερμία μέχρι την ψήφιση του νόμου 3175 τον Ιούλιο του 2003 ήταν διαμορφωμένο με τον νόμο 1475/1984 όπως αυτός ίσχυε μετά από τροποποιήσεις που υπέστη.

- Ο 1475/1984 δεν ανταποκρινόταν πλέον στις σημερινές ανάγκες. Περιείχε αντιφατικές ρυθμίσεις, δεν συμβάδιζε με το ευρωπαϊκό κεκτημένο καθώς

χαρακτήριζε το γεωθερμικό δυναμικό, αποκλειστικά, μετάλλευμα και όχι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και είχε μία σειρά από σύνθετες και ασαφείς προβλέψεις που δεν ευνοούσαν την ανάπτυξη της γεωθερμίας ούτε την προώθηση επενδύσεων στο τομέα αυτό.

- Με τον 3175/2003 <<Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις>> και τις Υπουργικές Αποφάσεις εφαρμογής, γίνεται μια προσπάθεια για τη δημιουργία ενός ενιαίου και ολοκληρωμένου θεσμικού πλαισίου που εναρμονίζεται με την κοινοτική νομοθεσία ,η οποία επιβάλει την αντιμετώπιση της γεωθερμίας ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που συμβάλει στην αειφόρο ανάπτυξη. Ορίζεται απλά και με σαφήνεια, η διαδικασία απόκτησης άδειας έρευνας και εκμετάλλευσης. Το γεωθερμικό πεδίο αντιμετωπίζεται πλέον ως ενιαίο κοίτασμα-πηγή και προβλέπεται η ενιαία διαχείρισή του, ενώ παρέχεται η δυνατότητα πώλησης της παραγόμενης ενέργειας. Αντιμετωπίζονται παράλληλα και τα ζητήματα τηλεθέρμανσης καλύπτοντας ένα σημαντικό νομικό κενό που υπήρχε σε αυτό το τομέα.

- Ο νέος νόμος αποτελεί μία αξιόπιστη θεσμική βάση για την αύξηση των γεωθερμικών εφαρμογών και την ουσιαστική συμβολή τους σε επίπεδο τοπικής και περιφερειακής ανάπτυξης

- Η δημιουργία ενός ενιαίου φορέα διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού πιστεύουμε ότι μπορεί να συμβάλει θετικά στην αξιοποίηση της γεωθερμίας στην πατρίδα μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μαρτζόπουλος Γ. 2001. ΑΠΕ- Τεχνολογικές Εφαρμογές στη Γεωργία . Πανεπιστημιακό Σύγγραμμα. Θεσσαλονίκη.75.
2. COM 26.11.1997. Λευκή Βίβλος για Κοινοτική Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης- Ενέργεια για το Μέλλον- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Βρυξέλλες. 75-122
3. http://www.cres.gr/kape/datainfo/plaisio/national_ape_geotherm.htm
4. Μαντέλης Αν. 2002. Πρόταση Νόμου για τη Γεωθερμία. Συμπόσιο για τη Γεωθερμία. Εισήγηση. Αθήνα
5. Φυτίκας Μ. και Ανδρίτσος Ν. 2004. Γεωθερμία. Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη. 367-368
6. Περιοδικό Υδρόθεμα. 2003. Ο νέος νόμος για τη γεωθερμία. Τεύχος Σεπτεμβρίου. Αθήνα. 9-13.
7. Υπουργείο Ανάπτυξης. Γ. Δ/νση Φυσικού Πλούτου. Δ/νση Ενεργειακών Πόρων. Τμήμα Β. Υ.Α Δ9Β ΦΕΚ 208 05/02/2004. Αθήνα
8. http://www.ypan.gr/c_announce/index_1944_cms.htm

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ-ΝΕΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Α. Παπαγιαννοπούλου, Χ. Σακκάς, Γ. Κλάδης, Γ. Παρισόπουλος

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας/Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών
Δημοκρατίας 61, 135 61 Άγιοι Ανάργυροι Αττικής
Τηλ.: 2102611011-2, Fax: 2102619202, e-mail: iamc@ath.forthnet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά στην παρουσίαση του έργου «Πρώτα η Ασφάλεια – Νέες ικανότητες για μια ανταγωνιστική ευρωπαϊκή βιομηχανία γεωργικών μηχανημάτων» στα πλαίσια του προγράμματος **LEONARDO da VINCI,** που αποσκοπεί στην αναβάθμιση της γνώσης και των εν γένει ικανοτήτων των ανθρώπινων πόρων που εμπλέκονται στον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων, ο οποίος επηρεάζεται από τεχνικές, κανονιστικές, πολιτικές και κοινωνικές αλλαγές. Παρουσιάζονται οι στόχοι του έργου για την προώθηση της τυποποίησης και των κανονισμών που σχετίζονται με την ασφάλεια, την καταγραφή και διάδοση της καινοτομίας και την αναπροσαρμογή των προγραμμάτων σπουδών και των σεμιναρίων επαγγελματικής επιμόρφωσης με σκοπό την κάλυψη των απαιτήσεων της σύγχρονης αγοράς.

SAFETY FIRST – NEW COMPETENCIES FOR A COMPETITIVE EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY INDUSTRY

A. Papayiannopoulou, Ch. Sakkas, G. Kladis, G. Parissopoulos

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

The present study deals with the project "Safety First–New Competencies for a Competitive European Agricultural Machinery Industry" as part of the program **LEONARDO da VINCI**, that aims to upgrade the knowledge, skills and competence of the human resources involved in agricultural machinery section, which has been affected by technical, normative, political and social changes. The project concerns the promotion of knowledge of regulation, standardization and innovation in agricultural machinery and the update of Further and Higher Training offer, in order to respond to the actual needs and real demand of the Market.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τομέας των γεωργικών μηχανημάτων κατά την τελευταία εικοσαετία επηρεάζεται από τεχνικές, κανονιστικές, πολιτικές και κοινωνικές αλλαγές. Η μεταρρύθμιση της κοινής αγροτικής πολιτικής, η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας, η εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας των Κρατών Μελών προς τις οδηγίες νέας προσέγγισης της Ε.Ε. που προβλέπουν την επίθεση σήματος CE, η πρόοδος της τυποποίησης, η πρόβλεψη, διαχείριση και αξιοποίηση των κρίσεων και η προώθηση της ποιότητας ως βασικού παράγοντα βελτίωσης της ανταγωνιστικότητας απαιτούν μεταξύ άλλων την ύπαρξη συσσωρευμένης και εξειδικευμένης γνώσης και την ανάπτυξη ιδιαιτέρων ικανοτήτων του εμπλεκόμενου ανθρώπινου δυναμικού.
Παρά την ολική εφαρμογή της οδηγίας 98/37 ΕΚ που αφορά στην ασφάλεια και την υγιεινή των προσώπων έναντι των κινδύνων που προέρχονται από την συνήθη χρήση μηχανών, με την οποία οφείλουν να συμμορφώνονται όλα τα γεωργικά μηχανήματα, ο αριθμός των ατυχημάτων που καταγράφονται ετησίως κατά τη χρήση τους παραμένει υψηλός καταδεικνύοντας την έλλειψη γνώσης των κανονισμών, της τυποποίησης και των τεχνολογικών καινοτομιών που σχετίζονται με την ασφάλεια.
Με τα ανωτέρω δεδομένα και προκειμένου να σφυρηλατήσει τις μελλοντικές πολιτικές της η Ε.Ε. στα πλαίσια του προγράμματος Leonardo da Vinci χρηματοδοτεί το έργο «ΠΡΩΤΑ Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ – Νέες ικανότητες για μια ανταγωνιστική ευρωπαϊκή βιομηχανία γεωργικών μηχανημάτων», που αποσκοπεί στην αναβάθμιση της γνώσης, την προώθηση της τυποποίησης και των κανονισμών που αφορούν στην ασφάλεια, την καταγραφή και διάχυση της καινοτομίας, την αναπροσαρμογή των προγραμμάτων σπουδών των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και τον εκσυγχρονισμό των προγραμμάτων επαγγελματικής κατάρτισης κατά τρόπο ώστε να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής αγοράς.
Στο εν λόγω έργο συμμετέχουν 14 πανεπιστημιακά και ερευνητικά ιδρύματα από 8 ευρωπαϊκές χώρες με ίδιες ερευνητικές ομάδες καθώς και εξωτερικοί συνεργάτες με πολυετή εμπειρία στο χώρο των γεωργικών μηχανημάτων.

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Διάρκεια: 24 μήνες (1-10-2004 / 30-9-2006)

Προϋπολογισμός: 460.477,00 € (Χρηματοδότηση LdV 317.683,00 €/68,99%)
Προϋπολογισμός ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./Ι.ΓΕ.Μ.Κ.: 46.841 € (Χρηματοδότηση LdV 32.316 €/ 68,99%)

Γλώσσα: Αγγλική

Συμμετέχοντες:
1) **ENAMA** (**E**nte **Na**zionale per la **M**eccanizatione **A**gricola)-Ιταλία. Συντονιστής.
Via Lazzaro Spallanzani, 22/A – 00161 Roma – Italy
Τηλ.: +39 06 90675 225
Επιστημονικά υπεύθυνος: Raffaele Talarico (raffaele.talarico@enama.it)
2) **Ce.Ri.S** (**Ce**ntro **Ri**cerche **S**ociali)-Ιταλία, Συντονιστής.
Via della Luce 32/b - 00153 Roma – Italy
Τηλ.: +39 06 5899629

Επιστημονικά υπεύθυνη: Federica D' Armini (f.darmini@cerisonline.it)

3) **DISTATEQ** (Universit· degli Studi della Tuscia-**Di**partimento di **St**udi **A**zientali, **Te**cnologici e **Q**uantitativi) – Ιταλία.
Via del Paradiso 47 – Viterbo - Italy
Τηλ.: +39 0761 357721
Επιστημονικά υπεύθυνος: Alessandro Sorrentino (sorrenti@unitus.it)

4) **FAO** (**F**ood and **A**griculture **O**rganization of the United Nations)–Ιταλία.
Agricultural and Food Engineering Technologies Service
Agricultural Support Systems Division
Viale delle Terme di Caracalla – 00100 Roma – Italy
Τηλ.: +39 06 57052272
Επιστημονικά υπεύθυνος: Theodor Friedrich (theodor.friedrich@fao.org)

5) **CRA** (Minist■re de l' Agriculture, **C**entre de **R**echerches **A**gronomiques) – Βέλγιο.
Departement du Genie Rural
Chausseée de Namur 146 – B-5030 Gembloux – Belgium
Τηλ.: +32 81 627147
Επιστημονικά υπεύθυνος: Stephane Loyen (loyen@cra.wallonie.be)

6) **CMA** (**C**entre de **M**ecanitzaci✱ **A**gr·ria) – Ισπανία.
Rovira Roure 191 – 25198 Lleida – Spain
Τηλ.: +34 973 249846
Επιστημονικά υπεύθυνος: Felip Gracia (felip.gracia@gencat.net)

7) **JLU** (**J**ustus-**L**iebig-**U**niversit·t, Institut f✧r Landtechnik)-Γερμανία.
Ludwigstraße 23, D-35390 Giessen – Germany
Τηλ.: +49 641 9937200
Επιστημονικά υπεύθυνος: Mr Rainer Keicher (rainer.keicher@agrar.uni-giessen.de)

8) **BBA** (**B**iologische **B**undes**a**nstalt f✧r Land und Forstwirtschaft) – Γερμανία.
Messeweg 11/12 – D-38104 Braunschweig – Germany
Τηλ.: +49 531 299 3655
Επιστημονικά υπεύθυνος: Detlef Stief (d.stieg@bba.de)

9) **DLG** (**D**eutsche **L**andwirtschafts **G**esellschafts) – Γερμανία.
Max-Eyth-Weg 1 – D-64823 Groß-Umstadt – Germany
Τηλ.: +49 6078 963510
Επιστημονικά υπεύθυνος: Dirk Quest (d.quest@dlg-frankfurt.de)

10) **IBMER** (**I**nstytut **B**udownictwa, **M**echanizacji i **E**lektryfikacji **R**olnictwa) – Πολωνία.
32 Rakowiecka Str. – Warsaw, 02-532 – Poland
Τηλ.: +48 22 848 2061
Επιστημονικά υπεύθυνος: Jan Brzozowski (brzozj@ibmer.waw.pl)

11) **PIMR** (**P**rzemyslowy **I**nstytut **M**aszyn **R**olniczych) – Πολωνία.
ul. Starolecka 31, 60-963 Poznan – Poland
Τηλ.: +48 61 8712246
Επιστημονικά υπεύθυνος: Jan Radniecki (radjan@pimr.poznan.pl)

12) **BLT** (**B**undesanstalt f✧r **L**and**t**echnik) – Αυστρία.
Rottenhauserstrasse 1 – A-3250 Wieselburg – Austria
Τηλ.: +43 7416 52175
Επιστημονικά υπεύθυνος: Franz Handler (franz.handler@blt.bmlfuw.gv.at)

13) **HIAE – MGI** (**H**ungarian **I**nstitute of **A**gricultural **E**ngineering - **M**ezogazdas·gi **G**■pes×t■si **I**ntez■t) – Ουγγαρία.
Tessedik S. u. 4., Gödöllo – H-2100 Hungary

Τηλ.: +36 28 511609
Επιστημονικά υπεύθυνος: Dr G. Tatrai (tatrai@fvmmi.hu)

14) **ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./Ι.ΓΕ.Μ.Κ.** (**Εθ**νικό **Ί**δρυμα **Α**γροτικής **Έ**ρευνας/**Ι**νστιτούτο **Γ**εωργικών **Μ**ηχανών και **Κ**ατασκευών) - Ελλάδα.
Δημοκρατίας 61, 135 61 Άγιοι Ανάργυροι Αττικής
Τηλ.: +30 2102611011
Επιστημονικά υπεύθυνη: Αρετή Παπαγιαννοπούλου (iamc@ath.forthnet.gr)

Σκοπός:

Προώθηση και ενίσχυση της συμβολής της επαγγελματικής κατάρτισης στην εξέλιξη της καινοτομίας με προοπτική τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και της επιχειρηματικότητας και τη διεύρυνση της δυνατότητας επαγγελματικής αποκατάστασης. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στην ενθάρρυνση της συνεργασίας οργανισμών επαγγελματικής εκπαίδευσης περιλαμβανομένων των πανεπιστημίων και των μικρομεσαίων επιχειρήσεων που διενεργούν/αναλαμβάνουν προγράμματα εκπαίδευσης-κατάρτισης προσωπικού.

Προτεραιότητα:

Προσδιορισμός, αξιολόγηση και αναγνώριση της άτυπης εκπαίδευσης καθώς και αμοιβαία αναγνώριση πιστοποιητικών και διπλωμάτων.

Στόχοι:

Το έργο στοχεύει στην αναβάθμιση της γνώσης και των εν γένει ικανοτήτων των ανθρώπινων πόρων που εμπλέκονται στον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων, ο οποίος επηρεάζεται από τεχνικές, κανονιστικές, πολιτικές και κοινωνικές αλλαγές.

Ειδικότερα, ασχολείται με:

- τη βελτίωση των ικανοτήτων όλων των ατόμων που ενεργοποιούνται στον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων, τα οποία έχουν να αντιμετωπίσουν τη συνεχή εξέλιξη της υποχρεωτικής εναρμόνισης, της τυποποίησης και της τεχνολογικής καινοτομίας, που σχετίζεται με την ασφάλεια,

- με τη δημιουργία ενός θεωρητικού υποδείγματος για την απαιτούμενη αναμόρφωση της επαγγελματικής κατάρτισης, ώστε να ανταποκρίνεται στις πραγματικές ανάγκες και τις υφιστάμενες απαιτήσεις της Αγοράς.

Ομάδες στόχευσης:

- Εργαζόμενοι: Δημιουργία προγραμμάτων επαγγελματικής κατάρτισης για την ενημέρωση σχετικά με τα απαιτούμενα προσόντα όλων των επιτηδευμάτων με γνώμονα τις ανάγκες της αγοράς και τις ευκαιρίες για διεύρυνση της επαγγελματικής σταδιοδρομίας.
- Φοιτητές: Προσφορά ολοκληρωμένου προγράμματος σπουδών κατάλληλου να ενδυναμώσει με ένα θεωρητικό πλαίσιο αναφοράς τις επιτηδειότητες που

απαιτούνται από την τρέχουσα αγορά εργασίας και να ενημερώσει τους ενδιαφερομένους για τους ισχύοντες κανονισμούς, τα πρότυπα και τις τεχνολογικές καινοτομίες ώστε να διευρυνθούν οι ευκαιρίες για αναζήτηση εργασίας σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο.

ΦΑΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ-ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το έργο διαιρείται σε πέντε φάσεις εργασίας που καλύπτουν συγκεκριμένες δραστηριότητες στις οποίες λαμβάνουν μέρος ένας ή περισσότεροι συμμετέχοντες. Ανά φάση καθορίζονται στόχοι και παράγονται αποτελέσματα που αποσκοπούν:
α) Στην προσαρμογή των επιτηδειοτήτων όλων των ενεργών στον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων ειδικοτήτων ώστε να ανταποκριθούν στις αλλαγές που προκαλούνται από την κανονιστική εναρμόνιση, την τυποποίηση και την τεχνολογική καινοτομία και σχετίζονται με την ασφάλεια,
β) Στη αναβάθμιση της επαγγελματικής κατάρτισης προκειμένου να ανταποκριθεί στις πραγματικές ανάγκες και στη πραγματική ζήτηση της αγοράς.
Ειδικότερα αναφέρονται ανά φάση οι αντίστοιχες δραστηριότητες/στόχοι/ αποτελέσματα:

1η Φάση – Έναρξη (1/10/04 – 30/11/04)
Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής αναλύονται λεπτομερώς το αντικείμενο, οι δραστηριότητες, ο σκοπός και η πορεία ολοκλήρωσης του προγράμματος.

Βασικοί στόχοι:
- Καθορισμός διοικητικών σχέσεων μεταξύ των συμμετεχόντων,
- Καταμερισμός δραστηριοτήτων και τελικών στόχων,
- Καθήκοντα και υπευθυνότητες συμμετεχόντων,
- Προώθηση του έργου μέσω των συμμετεχόντων.

Αποτελέσματα (πακέτο εργασίας WP1 παραδοτέο από κάθε συμμετέχοντα):
- Οργάνωση ερευνητικών ομάδων εργασίας και καθορισμός αντικειμένου και υποχρεώσεων αυτών,
- Παραγωγή εσωτερικού συστήματος παρακολούθησης,
- Παρουσίαση συμμετεχόντων ερευνητικών και πανεπιστημιακών ιδρυμάτων στην Αγγλική και Ιταλική,
- Αναμόρφωση ιστοσελίδας συμμετεχόντων με αναφορά στο έργο και σύνδεση αυτών μεταξύ τους,
- Ιστοσελίδα έργου,
- Δραστηριότητες διάχυσης αποτελεσμάτων και μέσα:
    - κατάλογος διευθύνσεων των ενδιαφερομένων για τα αποτελέσματα σε τοπικό και εθνικό επίπεδο,
    - κατάλογος εξειδικευμένων περιοδικών για τη δημοσίευση σχετικών θεμάτων,
    - κατάλογος με εθνικές και διεθνείς εκθέσεις και γεγονότα.

2η Φάση – Προώθηση της γνώσης των κανονισμών και καταγραφή της καινοτομίας (1/12/04 – 31/3/05)

Ο κύριος στόχος αυτής της φάσης είναι η προώθηση της γνώσης των κανονισμών που σχετίζονται με την ασφάλεια των γεωργικών μηχανημάτων και ισχύουν σε κάθε ευρωπαϊκό κράτος που συμμετέχει, η ορθολογική οργάνωσή τους και η καταγραφή της καινοτομίας. Εκτιμάται περαιτέρω η έκταση της τυποποίησης του τρέχοντος κανονιστικού συστήματος και η διάδοση της καινοτομίας.

Αποτελέσματα (πακέτο εργασίας WP2 παραδοτέο από κάθε συμμετέχοντα):
Δημιουργούνται εργαλεία για την ορθολογική διαχείριση του συνόλου των κανονισμών και την καταγραφή της καινοτομίας προσβάσιμα σε όλους τους ενδιαφερομένους στα πλαίσια της προώθησης της γνώσης των υφισταμένων απαιτήσεων/καινοτομιών σε κάθε συμμετέχουσα χώρα με τη μορφή των παρακάτω βάσεων δεδομένων:

- **Βάση Δεδομένων Κανονισμών** ήτοι: βάση δεδομένων με τους υπάρχοντες κανονισμούς σε εθνικό, ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο, οι οποίοι σχετίζονται με τις θεμελιώδεις απαιτήσεις υγιεινής και ασφάλειας, τις οποίες ο κατασκευαστής πρέπει να καλύπτει τόσο για τη συνήθη λειτουργία των γεωργικών μηχανημάτων, όσο και για τις πέραν αυτής λογικά αναμενόμενες χρήσεις. Περιλαμβάνει στοιχεία όπως:
  - Κατηγορία προτύπου (εθνικό, ευρωπαϊκό, διεθνές, οδηγία προδιαγραφή κ.λ.π.)
  - Κωδικό και ημερομηνία έκδοσης,
  - Κατηγορία μηχανήματος,
  - Περιγραφή (στην εθνική και την Αγγλική γλώσσα)
  - Σχόλια αναφερόμενα μεταξύ άλλων στο υποχρεωτικό ή όχι του προτύπου,
  - Αποδοχή από την αγορά, κόστος εφαρμογής, ομάδες στόχευσης,
  - Σύντομη περίληψη (όπου αυτό είναι δυνατόν).
- **Βάση Δεδομένων Καινοτομιών** ήτοι: βάση δεδομένων με τα καινοτόμα προϊόντα, που αναπτύχθηκαν σύμφωνα με τους ανωτέρω κανονισμούς. Στην περίπτωση που δεν καταγραφούν τέτοιου είδους προϊόντα αναφέρονται απλώς καινοτόμα προϊόντα στον τομέα των γεωργικών μηχανημάτων και του αρδευτικού και λοιπού γεωργικού εξοπλισμού (10 καινοτόμα προϊόντα ανά χώρα). Περιλαμβάνει δεδομένα όπως:
  - Είδος και σύντομη περιγραφή του προϊόντος,
  - Αριθμός και τύπος ευρεσιτεχνίας (EP, GR ΔΕ, GR ΠΥΧ, WO)
  - Στοιχεία κατασκευαστή (όνομα, διεύθυνση, τηλέφωνο, fax, e-mail, URL)
  - Συνεντεύξεις κατασκευαστών από την επεξεργασία των οποίων προκύπτουν στοιχεία σχετικά με τη δημιουργία, την εφαρμογή και την αποδοχή του καινοτόμου προϊόντος

Δραστηριότητες διάχυσης αποτελεσμάτων
- Ενημέρωση ιστοσελίδας έργου
- Σύνταξη 1ης ενημερωτικής επιστολής και δημοσίευση αυτής
- Δημοσιεύσεις συμμετεχόντων σχετικές με το έργο

3η Φάση – Δημιουργία *Χάρτας Επιτηδειοτήτων* των επαγγελμάτων που σχετίζονται με την καινοτομία (1/4/05 – 31/3/06)

Στη συγκεκριμένη φάση συμμετέχουν 4 χώρες (Ελλάδα, Ουγγαρία, Ιταλία, Γερμανία) οι οποίες θεωρήθηκαν ως αντιπροσωπευτικό δείγμα της Ε.Ε.

Βασικοί στόχοι:
- Ταυτοποίηση των επαγγελμάτων και των επαγγελματικών προσόντων των ατόμων που αναλαμβάνουν συγκεκριμένους ρόλους και αναπτύσσουν ειδικές επιδεξιότητες στα διαφορετικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και επηρεάζονται από την εξέλιξη της κανονιστικής νομοθεσίας.
- Λεπτομερής ανάλυση των επιτηδειοτήτων και της πορείας επαγγελματικής κατάρτισης αυτών των ατόμων προκειμένου να προσδιοριστούν:
  - Τα κύρια σημεία που έχουν επηρεαστεί από την κανονιστική αλλαγή,
  - Οι τελικές λύσεις, που έχουν υιοθετηθεί για να εξασφαλίσουν την συμμόρφωση με τα παραπάνω.
- Δημιουργία *Χάρτας Επιτηδειοτήτων* των επαγγελματικών προσόντων που ισχύουν σε ευρωπαϊκό επίπεδο από τη μελέτη των εθνικών διαφορετικών εκθέσεων.
- Αναγνώριση των συμπληρωματικών αναγκών επαγγελματικής κατάρτισης.

Αποτελέσματα (πακέτο εργασίας WP3):
- Ομάδα επαγγελμάτων/επαγγελματικών προσόντων (Δημιουργία από 1/4/05 έως 31/7/05)
- Κατάλογος επαγγελμάτων/επαγγελματικών προσόντων (Δημιουργία από 1/7/05 έως 31/12/05)
- Χάρτα επιτηδειοτήτων (Δημιουργία από 1/1/06 έως 31/3/06)

Μεθοδολογία:
- Λεπτομερής ανάλυση στις επιλεγμένες χώρες στοιχείων που θα συλλεχθούν από μελέτες πεδίου και τη συνεισφορά ειδικών,
- Συνεντεύξεις σε 40 επιχειρήσεις (10 ανά χώρα),
- Δημιουργία σε εθνικό επίπεδο ομάδας επαγγελμάτων που θα συμπεριλάβει εκείνα τα επαγγέλματα που εμπλέκονται στα διαφορετικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και της διαχείρισης των γεωργικών μηχανημάτων και επηρεάζονται έντονα από τη σταθερή εξέλιξη των κανονισμών για την ασφάλεια
- Εθνικές αναφορές βάσει των οποίων θα καταρτιστεί η ομάδα επαγγελμάτων σε Ευρωπαϊκό επίπεδο,
- Συνεντεύξεις ικανού αριθμού εργαζομένων σε επιλεγμένες επιχειρήσεις, οι οποίοι επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη συνεχή αναθεώρηση των κανονισμών, σχετικά με τις σπουδές τους, την απασχόληση στην ειδικότητά τους ή όχι, τα τυπικά και τα απαιτούμενα επαγγελματικά προσόντα, τις αρμοδιότητές τους, την πρόσθετη επιμόρφωση κ.ά.
- Εθνικές αναφορές βάσει των οποίων θα καταρτιστούν σε Ευρωπαϊκό επίπεδο:
  - Ο κατάλογος επαγγελμάτων,
  - Η Χάρτα Επιτηδειοτήτων η οποία θα παρέχει πληροφορίες για κάθε επάγγελμα σχετικά με:
    - τις απαιτούμενες από τη βιομηχανία διακριτές δεξιότητες,
    - το ειδικό βάρος κάθε συγκεκριμένης δεξιότητας.

    Βάσει αυτής θα προσδιοριστούν για κάθε επάγγελμα συγκεκριμένες συμπληρωματικές ανάγκες εκμάθησης στις επιχειρήσεις και στα διάφορα ιδρύματα εκπαίδευσης.

Δραστηριότητες διάχυσης αποτελεσμάτων
- Ενημέρωση ιστοσελίδας έργου
- Σύνταξη 2ης ενημερωτικής επιστολής και δημοσίευση αυτής

- 1^{ο} Σεμινάριο Διάχυσης Αποτελεσμάτων

4^{η} Φάση –Προώθηση της προσαρμογής της περαιτέρω και υψηλότερης προσφοράς επαγγελματικής κατάρτισης(1/4/06 – 31/8/06)

Στη συγκεκριμένη φάση συμμετέχουν όπως προηγουμένως η Ελλάδα, Ουγγαρία, Ιταλία, Γερμανία.

Βασικοί στόχοι:
- Αναγνώριση των τρεχόντων προγραμμάτων πανεπιστημιακών σπουδών και επιλεγμένων κύκλων μαθημάτων για την επαγγελματική κατάρτιση των εμπλεκομένων στον τομέα,
- Αναμόρφωση της οργάνωσης των προγραμμάτων σπουδών και του τρόπου με τον οποίο εφαρμόζονται,
- Σύγκριση των διαφόρων προγραμμάτων σπουδών και της υπάρχουσας πορείας επαγγελματικής κατάρτισης στις διάφορες χώρες βάσει της *Χάρτας Επιτηδειοτήτων* προκειμένου να καταφανεί η διαφορά μεταξύ της προσφερόμενης επαγγελματικής κατάρτισης και αυτής που απαιτείται από την αγορά,
- Καθορισμός του συνόλου των διορθωτικών ενεργειών για την προσαρμογή της προσφοράς επαγγελματικής κατάρτισης στις πραγματικά απαιτούμενες επιτηδειότητες.

Αποτελέσματα (πακέτο εργασίας WP4):
- 4 Εθνικές αναφορές όπου θα καταγράφονται τα υπάρχοντα προγράμματα σπουδών, το σχετικό περιεχόμενο και η συνεισφορά στην κατάρτιση για απόκτηση ειδικών επαγγελματικών προσόντων,
- Καταγραφή των ιδιαιτεροτήτων στην προσφορά επαγγελματικής κατάρτισης με ιδιαίτερη έμφαση στην διαφορετικότητα και στις ομοιότητες που προκύπτουν από τις ανωτέρω εθνικές αναφορές,
- Σύνταξη συγκριτικής αναφοράς σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Δραστηριότητες διάχυσης αποτελεσμάτων
- Ενημέρωση ιστοσελίδας έργου
- Δημοσιεύσεις άρθρων συμμετεχόντων σε περιοδικά και συνέδρια
- Συμμετοχή σε διεθνείς και εθνικές εκθέσεις, συνέδρια, ημερίδες, κ.ά.

5^{η} Φάση –Εκτίμηση αποτελεσμάτων (1/9/06 – 30/9/06)

Βασικοί στόχοι:
- Ανάλυση των αποτελεσμάτων των προηγουμένων φάσεων,
- Προσδιορισμός ισχυρών και αδύνατων σημείων,
- Ταυτοποίηση περιθωρίων και συνθηκών για τη διάχυση και τη μεταφορά αποτελεσμάτων,
- Εκπόνηση σχεδίων για τη μεταφορά αποτελεσμάτων με χρήση οποιουδήποτε μέσου,

- Εκπλήρωση ή όχι των απαιτήσεων που αναγράφονται στη συμφωνία με το Εθνικό Πρακτορείο.

Αποτελέσματα (πακέτο εργασίας WP5):
- CD με παρουσίαση του έργου,
- Σύνταξη 3ης ενημερωτικής επιστολής και δημοσίευση αυτής
- Σύνταξη αρχείων τελικής διάσκεψης
- Τελική διοικητική και οικονομική έκθεση αναφοράς

Μεθοδολογία:
- Εκτίμηση από ειδικό εξωτερικό συνεργάτη της όλης διαχείρισης του προγράμματος και των σχετικών αποτελεσμάτων αρχής γενομένης από τις εξόδους του εσωτερικού συστήματος παρακολούθησης.
  Θα ζητηθεί από τον εξωτερικό συνεργάτη η εκ των υστέρων αναμόρφωση του διαγράμματος ροής του έργου και μια ανάλυση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των αποτελεσμάτων και των προϊόντων,
  Εκτίμηση από όλους τους συμμετέχοντες των δυνατών επιλογών που μπορούν να διασφαλίσουν την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου.

Δραστηριότητες διάχυσης αποτελεσμάτων
- Ενημέρωση ιστοσελίδας έργου,
- Ενημέρωση ιστοσελίδων συμμετεχόντων για τα αποτελέσματα του έργου,
- Σύνταξη 3ης ενημερωτικής επιστολής και δημοσίευση αυτής,
- Τελική συνδιάσκεψη,
- Δημοσίευση πρακτικών τελικής συνδιάσκεψης.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ 6 ΤΟΥ OECD ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΑΣΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ

Α. Ζουμπανιώτης[1], Α. Νάτσης[1], Γ.Παπαδάκης[1], Χ. Σερσελούδης[2]
[1]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
Ιερά οδός 75, 11855, Αθήνα.
[2] Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών και Κατασκευών (Ι.ΓΕ.Μ.Κ.), Δημοκρατίας 61, 135 61, Άγιοι Ανάργυροι Αττικής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Οι κώδικες του OECD έχουν σκοπό τη θεσμοθέτηση συγκεκριμένων προδιαγραφών για κάθε προϊόν, προκειμένου να επιτραπεί η διαθεσή του στην αγορά, διασφαλίζοντας έτσι την ποιότητα των προϊόντων και την ασφάλεια των πολιτών. Η παρούσα μελέτη διερευνά και πραγματοποιεί όλες τις δυναμικές δοκιμές του κώδικα 6 του OECD, ο οποίος αναφέρεται στους γεωργικούς και δασικούς ελκυστήρες με δομές προστασίας που προσαρμόζονται στο πρόσθιο μέρος. Με χρήση του εξοπλισμού του Ινστιτούτου Γεωργικών Μηχανών και Κατασκευών, προσδιορίστηκαν η ροπή αδρανείας του ελκυστήρα, με την βοήθεια της οποίας αποδεικνύεται ότι ο συγκεκριμένος ελκυστήρας εκτελεί ασυνεχή ανατροπή. Επίσης μετρήθηκαν η πλευρική σταθερότητα και έγινε χρήση δυο προγραμμάτων Η/Υ εξομοίωσης. Ο ελκυστήρας που χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές είναι ο Lamborghini Runner 350, με μετάδοση κίνησης σε όλους τους τροχούς και εξοπλισμένος με ανακλινόμενο πλαίσιο τύπου ΄Π' του Ιταλού κατασκευαστή S+L+H S.p.a.
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: OECD, ροπή αδρανείας, εξομοίωση, ασφάλεια.

THEORETICAL STUDY AND EXPERIMENTATION OF THE OECD CODE 6 FOR THE FORESTRY AND AGRICULTURAL TRACTORS- SAFETY OF USE

A. Zoumpaniotis [1], A. Natsis [1], G.Papadakis [1], X. Serseloydis [2]
[1] Agricultural University of Athens
Department of Natural Resources Management and Agricultural Enginering
Iera Odos 75, 11855, Athens.
[2] Institute of Agricultural Machines and Manufactures (I.GE.M.K.), Dimokratias 61, 13561, Agioi Anargiroi, Attica

SUMMARY:The OECD codes aim to the enactment of concrete specifications for each product, so that is allowed his disposal in the market, ensuring the quality of products and the safety of citizens. The present study investigates and conducts all the dynamic trials of code 6 of OECD, which are reported in agricultural and forestry tractors with structures of protection that are adapted in the forward part. By using equipment of Institute of Agricultural Machines and Constructions, the moment of inertia of tractors was determined and it was proved that the tractor on test executes discontinuous inversion. Also the lateral stability was measured and two PC simulation programs were used. The tractor used for the tests is a Lamborghini Runner 350, which is an all wheel drive tractor and is equipped with a 'Π' type safety frame of the Italian manufacturer S+L+H S.p.a.
KEYWORDS: OECD, moment of inertia, simulation, safety.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα της ασφάλειας στη γεωργική μηχανολογία είναι πλέον μείζονος σημασίας τόσο για τους κατασκευαστές προϊόντων όσο και για τα κράτη – μέλη της Ε.Ε. τα οποία έχουν θεσμοθετήσει συγκεκριμένες προδιαγραφές για κάθε προϊόν, προκειμένου να επιτραπεί η διαθεσή του στην αγορά, διασφαλίζοντας έτσι την ποιότητα των προϊόντων και την ασφάλεια των πολιτών.

Στην χώρα μας το θέμα της ασφάλειας γενικότερα δεν έχει αντιμετωπιστεί με τη δέουσα σοβαρότητα όπως στις υπόλοιπες χώρες της ευρωπαϊκής κοινότητας. Ειδικότερα στο τομέα των γεωργικών μηχανημάτων οι νόμοι και οι κανόνες υπάρχουν αλλά δεν εφαρμόζονται.

Θα πρέπει να επιβληθεί η χρήση διατάξεων προστασίας των χρηστών των μηχανημάτων σε συνδυασμό με μια εκστρατεία ενημέρωσης των άμεσα εμπλεκομένων αγροτών από το υπουργείο αγροτικής ανάπτυξης.

Επίσης οι Έλληνες κατασκευαστές γεωργικών μηχανημάτων θα πρέπει να δραστηριοποιηθούν περαιτέρω στο θέμα της ασφάλειας και να επεκτείνουν (με την βοήθεια και της πολιτείας) την παραγωγή τους και σε κατασκευή δομών προστασίας. Η τεχνογνωσία υπάρχει και η πιστοποίηση των κατασκευών μπορεί να γίνει από το πλήρως εξοπλισμένο Ι.Γ.Μ.Ε.

Η παρούσα μελέτη διερευνά και πραγματοποιεί τα τεστ του κώδικα 6 του OECD (εκτός από τα τεστ κρούσεων), ο οποίος αναφέρεται στους γεωργικούς και δασικούς ελκυστήρες με δομές προστασίας που προσαρμόζονται στο πρόσθιο τμήμα.

Ο κώδικας 6 του OECD εφαρμόζεται σε ελκυστήρες που έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:[1]

1. απόσταση από το έδαφος μετρημένη από το κατώτερο σημείο που βρίσκεται κάτω από τον εμπρόσθιο, τον οπίσθιο άξονα καθώς και το διαφορικό, το πολύ 600 mm.
2. ελάχιστο σταθερό ή μεταβλητό μετατρόχιο του άξονα που φέρει τα ελαστικά των μεγαλύτερων διαστάσεων μικρότερο από 1150 mm εφόσον υποτίθεται ότι ο άξονας που φέρει τα φαρδύτερα ελαστικά έχει ρυθμιστεί με μετατρόχιο 1150 mm το πολύ, το μετατρόχιο του άλλου άξονα πρέπει να μπορεί να ρυθμίζεται έτσι ώστε τα εξωτερικά άκρα των στενότερων ελαστικών να μην υπερβαίνουν τα εξωτερικά άκρα των ελαστικών του άλλου άξονα. Σε περίπτωση που και οι δύο άξονες φέρουν σώτρα (ζάντες) και ελαστικά ίδιων διαστάσεων, το σταθερό ή μεταβλητό μετατρόχιο των δύο αξόνων πρέπει να είναι μικρότερο από 1150 mm
3. μάζα μεγαλύτερη από 600 kg αλλά μικρότερη από 3000 kg, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος προστασίας και των ελαστικών της μέγιστης διαμέτρου που καθορίζει ο κατασκευαστής.

Αναγνωρίζεται το ότι μπορεί να υπάρχουν τύποι ελκυστήρων, για παράδειγμα, ειδικοί δασικοί ελκυστήρες, για τους οποίους αυτός ο κώδικας είναι ακατάλληλος.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή της δοκιμής στις εγκαταστάσεις του Ι.Γ.Ε.Μ.Κ.[2]

Ο ελκυστήρας που χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές είναι ο LAMBORGHINI RUNNER 350 ο οποίος έχει μετάδοση κίνησης σε όλους τους τροχούς και είναι εξοπλισμένος με ανακλινόμενο πλαίσιο τύπου Π' του Ιταλού κατασκευαστή S+L+H

S.p.a. Το πλαίσιο προστασίας έχει ονομασία S+L+H T61 και ο ελκυστήρας, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που έχει, υπάγεται στον κώδικα 6 του OECD.

Έγιναν μετρήσεις ροπής αδρανείας, κέντρου βάρους και πλευρικής σταθερότητας από τις οποίες βάση του προγράμματος Η/Υ που αναφέρεται στον κώδικα OECD 6, βγάζουμε το αποτέλεσμα της συνεχούς η όχι ανατροπής του ελκυστήρα.

2.2. Μέτρηση της ροπής αδρανείας

Η μέτρηση της ροπής αδρανείας του ελκυστήρα ήταν από τα πιο δύσκολα στάδια της δοκιμής και η τιμή της χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα του OECD για τον υπολογισμό της συνεχούς η όχι ανατροπής. Ο ελκυστήρας τοποθετείται με τον διαμήκη άξονα του επάνω από τον αντίστοιχο άξονα της εξέδρας. Έπειτα καλιμπράρουμε τον αισθητήρα γωνίας του λίκνου ώστε όταν το σύστημα είναι ακίνητο να δείχνει 0°. Απομακρύνουμε το λίκνο από την θέση ισορροπίας (συνήθως με τη βοήθεια του πνευματικού κυλίνδρου που υπάρχει στα πλάγια του λίκνου). Με το λογισμικό που έχει ο Η/Υ του συστήματος δόκιμης, αρχίζει να μετράει όταν η μέγιστη απόκλιση της εξέδρας μειωθεί σε 2° 30΄ και για ένα λεπτό. Με τη βοήθεια χρονομέτρου βαθμονομημένου ανά 20 ms μετράται ο αναγκαίος χρόνος για είκοσι επιτυχείς ταλαντώσεις με ολοκληρωμένο πλάτος ταλάντωσης μεταξύ 4° και 6°, με δέκα επαναλήψεις για κάθε μέτρηση. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με δυο διαφορετικές ακτίνες του εκκρεμούς, τόσο με τον ελκυστήρα πάνω στο λίκνο, όσο και με το λίκνο κενό[3]. Από τις παραπάνω μετρήσεις βρίσκεται ο μέσος όρος των μετρήσεων για κάθε περίπτωση και εισάγοντας σε πρόγραμμα Η/Υ, τις τιμές που βρέθηκαν, τις δύο ακτίνες, τα βάρη του λίκνου και του ελκυστήρα και τρέχοντας το πρόγραμμα λαμβάνουμε την τιμή της ροπής αδρανείας του ελκυστήρα στο επίπεδο του άξονα που διέρχεται από το κέντρο βάρους και το ύψος του κέντρου βάρους από το έδαφος.

Από την εκτέλεση του προγράμματος το αποτέλεσμα ήταν:

Τύπος ελκυστηρα:	Lamborgini runner 350
Μάζα ελκυστήρα:(kg)	1300

Ύψος κέντρου βάρους:(m) 1,07888

Ροπή αδρανείας: (kg*m*2) 121,4731

Τιμές μετρήσεων

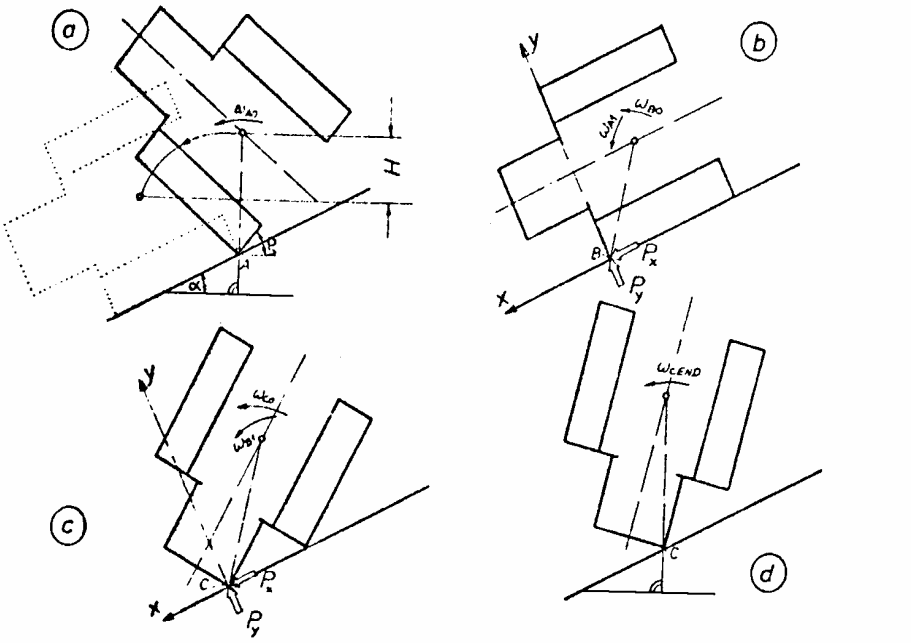
cv	lv	cp	lp
2,5302	2,5543	2,4134	2,4222
2,5344	2,5561	2,4124	2,4261
2,5361	2,5552	2,4095	2,4442
2,5331	2,5541	2,4096	2,4251

Παράμετροι υπολογισμού

Μεγάλη ακτίνα λίκνου: 1,255m	Μικρή ακτίνα λίκνου: 1,255m	Μάζα λίκνου:500kg

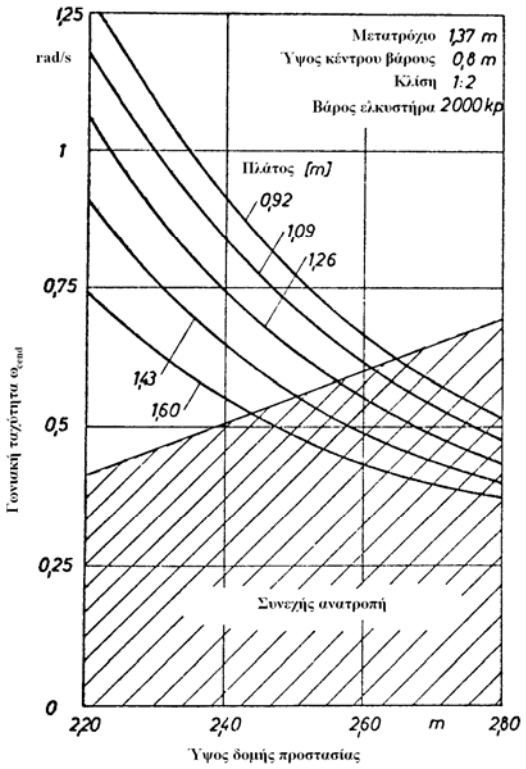
2.3. Τρόπος λειτουργίας του προγράμματος εξομοίωσης ανατροπής

Στον υπολογισμό των ενεργειών και των γωνιακών ταχυτήτων υποθέτουμε ότι ο ελκυστήρας που ανατρέπεται πλευρικά βρίσκεται σε μια κατάσταση ασταθούς ισορροπίας. Το πρόβλημα λύνεται αρχικά ως δισδιάστατο χωρίς να λάβουμε υπόψη έναν τρίκυκλο τύπο μπροστινού άξονα. Το ύψος Η (Σχ.1) πάνω από το οποίο ο ελκυστήρας ανατρέπεται τελικά είναι γνωστό καθώς είναι το σημείο όπου το κάθετο διάνυσμα του κέντρου βάρους βγαίνει έξω από το περίγραμμα των τροχών. Από εκείνο το σημείο και μετά υπολογίζουμε την οριακή γωνιακή ταχύτητα ω_{A1}. Η κρούση έπειτα στο έδαφος θα επιφέρει μια μείωση της γωνιακής ταχύτητας σε μια μικρότερη τιμή ω_{BO}, μετά από αυτή την κατάσταση έχουμε πάλι μια αύξηση της γωνιακής ταχύτητας έως ότου χτυπήσει με την καμπίνα στο έδαφος σε μια τιμή ω_{B1}. Η δύναμη Ρ εφαρμόζεται στην καμπίνα, ο ελκυστήρας ανασηκώνεται και το ύψους του κέντρου βάρους μεγαλώνει με το κάθετο διανυσμά του να περνάει το σημείο επαφής καμπίνας εδάφους όπου αποτελεί το κέντρο περιστροφής φτάνοντας έτσι σε μια κατάσταση δεύτερης ασταθούς ισορροπίας. Από την τιμή της γωνιακής ταχύτητας ω_{cend} σε αυτό ακριβώς το σημείο εξαρτάται το αν ο ελκυστήρας θα συνεχίσει να περιστρέφεται γρήγορα αργά ή καθόλου[4].



Σχ. 1 . Διάγραμμα απεικόνισης της πλευρικής ανατροπής[4]

Η ταχύτητα ω_{cent} που θα καθορίσει την συνέχιση του rolling όπως λέγεται του ελκυστήρα αφότου χτυπήσει στο έδαφος περιγράφεται στο σχήμα 2 συναρτήσει του ύψους καμπίνας και του πλάτους του ελκυστήρα. Στην περίπτωση του πίνακα έχουμε κλίση 1:2 και παραμόρφωση καμπίνας 30 cm. Η πιθανότητα συνεχούς ανατροπής μειώνεται όταν αυξάνεται το ύψος της καμπίνας από 2,20 σε 2,80 m. Στη συγκεκριμένη περίπτωση για να επιτύχουμε την ασυνεχή ανατροπή θα πρέπει το ύψος της δομής προστασίας να είναι πάνω από 2,64 m με πλάτος 0,92 m ενώ με πλάτος 1,60 m χρειάζεται μόνο 2,44 m ύψους. Αυτό ισχύει μόνο για το συγκεκριμένο παράδειγμα. Σε κάθε ελκυστήρα είναι διαφορετικές οι τιμές και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες τους οποίους εισάγουμε σαν δεδομένα στο πρόγραμμα όπως το ύψους του κέντρου βάρους, το βάρος, τους τροχούς, το μετατρόχιο κτλ.



Σχ. 2. Η ταχύτητα ω_{cent} που θα καθορίσει την συνέχιση της ανατροπής του ελκυστήρα αφότου χτυπήσει στο έδαφος, συνάρτηση του ύψους καμπίνας και του πλάτους του ελκυστήρα.[4]

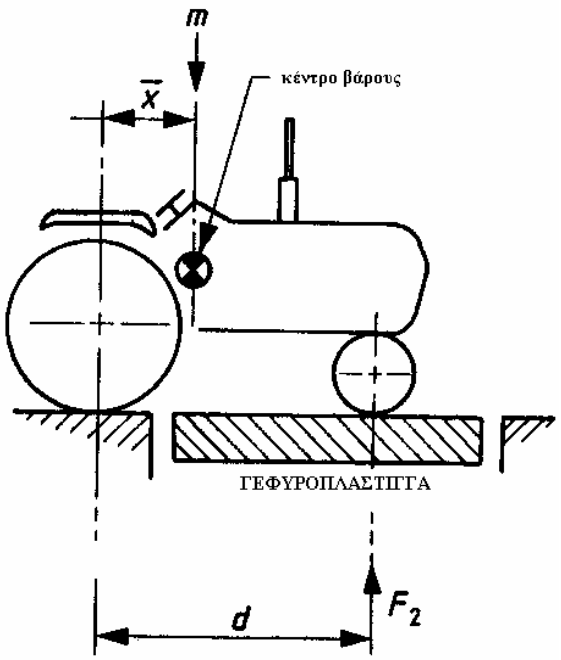
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Μέτρηση των συντεταγμένων του κέντρου βάρους του ελκυστήρα με τη μέθοδο ISO

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το κέντρο βάρους προσδιορίζεται με την βοήθεια γεφυροπλάστιγγας μετρώντας τις αντιδράσεις του εδάφους με τον ελκυστήρα σε τέσσερις θέσεις:[5]

- σε οριζόντια θέση
- ανυψωμένο με τον μπροστινό άξονα να πατάει στην γεφυροπλάστιγγα
- ανυψωμένο με τον οπίσθιο άξονα να πατάει στην γεφυροπλάστιγγα
- δυο τροχοί της αριστερής ή δεξιάς πλευράς να πατάνε στην γεφυροπλάστιγγα και οι άλλοι δυο στο έδαφος

3.1.1. Υπολογισμός της θέσης του κέντρου βάρους κατά το διαμήκη άξονα του ελκυστήρα.($\bar{x}$):



Αρχικά υπολογίζουμε την ολική μάζα του ελκυστήρα (m) τοποθετώντας τον ολόκληρο πάνω στην γεφυροπλάστιγγα. Έπειτα τοποθετούμε τον ελκυστήρα σε τέτοια θέση ώστε να πατάνε μόνο οι πρόσθιοι τροχοί στην γεφυροπλάστιγγα και υπολογίζουμε την δύναμη F_2 αντίδραση της γεφυροπλάστιγγας. Το $\bar{x}$ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\bar{x} = \frac{dF_2}{m}$$

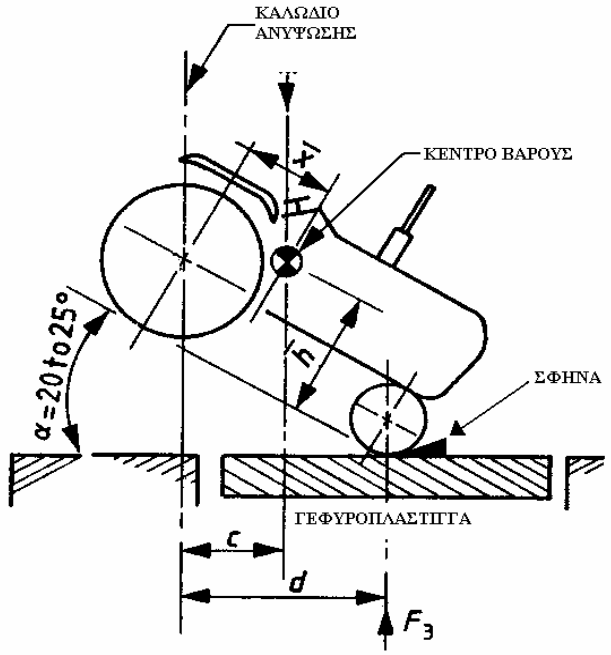
3.1.2. Υπολογισμός του ύψους του κέντρου βάρους από το έδαφος (h):

Με την χρήση παλάγκου ή οποιοδήποτε άλλου τρόπου, ανυψώνουμε το πίσω μέρος του ελκυστήρα έτσι ώστε να σχηματίσει με το έδαφος γωνία 20° με 25°. Οι πρόσθιοι τροχοί πρέπει να πατάνε στη γεφυροπλάστιγγα σύμφωνα με το σχήμα. Επίσης θα πρέπει να τοποθετήσουμε σφήνες στους πρόσθιους τροχούς για να μη μετακινηθεί ο ελκυστήρας προς τα εμπρός. Έπειτα μετράμε την αντίδραση F_3 από την επαφή των

πρόσθιων τροχών καθώς και την οριζόντια απόσταση d των κέντρων των τροχών. Από τον τύπο:

$$c = \frac{F_3.d}{m}$$

υπολογίζουμε το c, όπου c είναι η οριζόντια απόσταση του κέντρου βάρους από το καλώδιο ανύψωσης του παλάγκου.

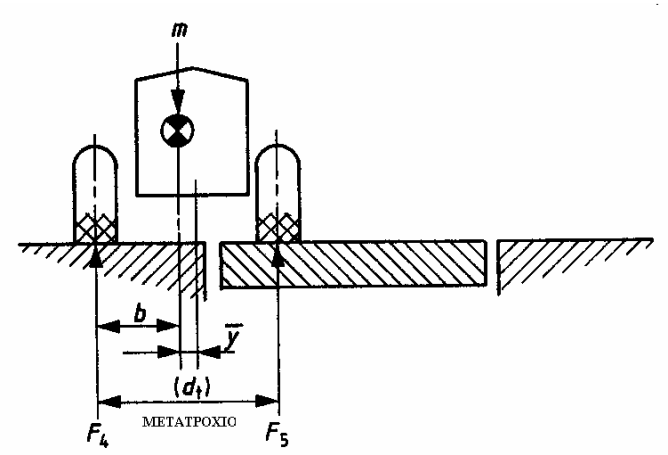


Στην συνέχεια σχεδιάζουμε μια κάθετη γραμμή πάνω σε ένα πίνακα σε απόσταση c από την γραμμή ανάρτησης (καλώδιο).

Κάνουμε ακριβώς την ίδια διαδικασία που περιγράψαμε , αλλά αυτή την φορά ο ελκυστήρας είναι ανυψωμένος από τον μπροστινό άξονα και οι οπίσθιοι τροχοί πατάνε στην γεφυροπλάστιγγα. Το ύψος του κέντρου βάρους προκύπτει από την τομή των καθέτων γραμμών που έχουμε σχεδιάσει στον πίνακα που προαναφέραμε.

3.1.3. Υπολογισμός της θέσης του κέντρου βάρους κατά τον κάθετο άξονα του ελκυστήρα ($\bar{y}$):

Τοποθετούμε τον ελκυστήρα σύμφωνα με το σχήμα και μετράμε τις κάθετες αντιδράσεις των αριστερών (F_4) και των δεξιών (F_5) τροχών**.** Το b υπολογίζεται από τον



τύπο b=$\frac{F_5 d_t}{m}$ ή b=$\frac{F_4 d_t}{m}$ αναλόγως με το ποιοι τροχοί πατάνε στην γεφυροπλάστιγγα.
Το ζητούμενο $\bar{y}$ δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

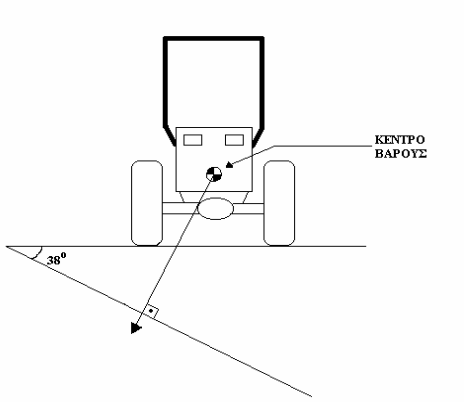
$$\bar{y} = \frac{d_t}{2} - b$$

3.2. Μέτρηση της πλευρικής σταθερότητας του ελκυστήρα

Εικ.2.Ανύψωση του λίκνου μέχρι τις 38°

Με την βοήθεια υδραυλικών κυλίνδρων ανυψώνουμε το λίκνο μέχρι να αποκτήσει γωνία κλίσης 38° με τον ελκυστήρα τοποθετημένο και δεμένο με αλυσίδες

έτσι ώστε να κρατηθεί σε περίπτωση ανατροπής. Στην περίπτωση του ελκυστήρα της δοκιμής μας, στις 38° η διεύθυνση του διανύσματος του κέντρου βάρους δεν βγαίνει έξω από το περίγραμμα στήριξης των τροχών. Έτσι ο ελκυστήρας δεν εμφανίζει ασταθή ισορροπία.



3.3.Μέτρηση της συνεχούς ή όχι ανατροπής

Οι μετρήσεις που κάναμε προηγουμένως καθώς και αυτές που καταγράψαμε παρακάτω είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό της συνεχούς ή όχι ανατροπής σύμφωνα με το πρόγραμμα υπολογισμού του OECD. Έτσι οι τιμές που μετρήθηκαν είναι:

ΤΥΠΟΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ : Lamborghini runner 350
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ :24/01/2002

H 1(m) Ύψος του κέντρου βάρους

0.685

L 3(m) Οριζόντια απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους και του οπισθίου άξονα

0.764

L 2(m) Οριζόντια απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους και του εμπρόσθιου άξονα

0.867

D 3(m) Ύψος των οπισθίων ελαστικών

1.083

D 2(m) Ύψος των εμπρόσθιων ελαστικών

0.728

H 6(m) Συνολικό ύψος (σημείο πρόσκρουσης)

1.840

L 6(m) Οριζόντια απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους και του εμπρόσθιου σημείου τομής του συστήματος προστασίας (σημειώνεται αρνητικό πρόσημο στην περίπτωση που το εν λόγω εμπρόσθιο σημείο βρίσκεται εμπρός από το κέντρο βάρους)

-0.308

B 6(m) Πλάτος του συστήματος προστασίας

0.707

H 7(m) Ύψος του καλύμματος της μηχανής (καπό)

1.062

B 7(m) Πλάτος του καλύμματος της μηχανής (καπό)

0.435

L 7(m) Οριζόντια απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους και της εμπρόσθιας γωνίας του καλύμματος της μηχανής (καπό)

1.282

H 0(m) Ύψος του στροφείου του εμπρόσθιου άξονα

0.460

S(m) Μετατρόχιο του οπισθίου άξονα

0.815

B 0(m) Πλάτος των ελαστικών των οπισθίων τροχών

0.265

D 0(rad) Γωνία ταλάντωσης του εμπρόσθιου άξονα (από τη θέση μηδέν έως το τέρμα)

0.1744

M(kg) Μάζα του ελκυστήρα

1300

Q(kgm^2) Ροπή αδρανείας της μάζας στο επίπεδο του διαμήκη άξονα που διέρχεται από το κέντρο βάρους.

121.47

Από την επεξεργασία των παραπάνω τιμών προκύπτει ότι ο ελκυστήρας της δοκιμής μας εκτελεί ασυνεχή ανατροπή. Το αποτέλεσμα στην οθόνη του Η/Υ είναι:

UNITS: LINEAR (m), MASS (kg), MOMENT OF INERTIA (kgm2), ANGLE (radian)			
HEIGHT OF THE COG	H1= 0.6850	H. DIST. COG—REAR AXLE	L3= 0.7640
H.DIST. COG—FRONT AXLE	L2= 0.8670	HEIGHT OF THE REAR TYRES	D3= 1.0830
HEIGHT OF THE FRONT TYRES	D2= 0.7280	OVERALL HEIGHT(PT IMPACT)	H6= 1.8400
H.DIST.COG—LEAD PT INTER.	L6= — 0.3080	PROTECTIVE STRUCT. WIDTH	B6= 0.7070
HEIGHT OF THE ENG.B	H7= 1.0620	WIDTH OF THE ENG. B	B7= 0.4350
H.DIST.COG—FRT. COR.ENG.B.	L7= 1.2820	HEIGHT FRT. AXLE PIVOT PT	H0= 0.4600
REAR TRACK WIDTH	S = 0.8150	REAR TYRE WIDTH	B0= 0.2650
FRT AXLE SWING ANGLE	D0= 0.1744	TRACTOR MASS	M = 1300.000
MOMENT OF INERTIA	Q = 121.4700		
VELOCITY 00= 4.241040 rad/s VELOCITY 02= 1.621114 rad/s VELOCITY 04= 0.645032 rad/s VELOCITY 06= 0.000000 rad/s VELOCITY O8= 0.000000 rad/s		VELOCITY 01= 1.659974 rad/s VELOCITY 03= 2.485932 rad/s VELOCITY 05= 0.398950 rad/s VELOCITY 07= 0.000000 rad/s VELOCITY 09= 0.000000 rad/s	
THE ROLLING STOPS			

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εκτέλεση της δοκιμής αποδεικνύεται ότι ο ελκυστήρας σε περίπτωση ανατροπής είτε εν κινήσει είτε ακίνητος, θα εκτελέσει ασυνεχή ανατροπή, έτσι ανταποκρίνεται πλήρως στις προδιαγραφές του OECD 6.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] – OECD Standard codes for the official testing of agricultural and forestry tractors, codes 1 to 8, organization for economic cooperation and development, Paris 1995, code 6.
[2] – Ζουμπανιώτης Αναστάσιος, Θεωρητική μελέτη και πειραματική εφαρμογή του κώδικα 6 του OECD για τους δασικούς και γεωργικούς ελκυστήρες-Ασφάλεια χρήσης. Πτυχιακή εργασία- Αθήνα 2002.
[3] – Casini-Ropa G., Ricerche e studi, 1975, 17-25, 83-85
[4] – H. Schwanghart. Tractor overturning and testing of safety devices against overturning. Landtechniche Forchung, 1971, 1-5.
[5] – International Standard, Test procedures for agricultural tractors, ISO 789/6-1982(E), 58-63

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Θ.Α. Γιαλαμάς[1], Ι.Λ.Χαλούλης[1], Ζ.Ι.Κουτσοφίτης[1], Αγ.Θ. Φιλίντας[1], Κ.Α. Τσατσαρέλης[2], Α.Η. Τσάκαλος[1], Κ.Η. Μανώλης[1]

[1]Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών. Τομέας Γεωργικής Μηχανικής Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας. Τ.Κ.41110 Λάρισα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση πειραματικής τράπεζας δοκιμών για τον προσδιορισμό των γωνιών ευστάθειας των γεωργικών ελκυστήρων. Η γνώση των καταστάσεων ευσταθούς ισορροπίας επιτρέπει την ασφαλή κίνηση των γ.ε. σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη και την αποφυγή ανατροπών ή πλάγιων πτώσεων. Οι καταστάσεις αυτές είναι γνωστό ότι προκαλούν αφενός ζημίες στα μηχανήματα και αφετέρου πολλά ατυχήματα, συχνά μάλιστα και θανατηφόρα. Ο προσδιορισμός των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης πραγματοποιείται με διαδοχικές δοκιμές στην τράπεζα δοκιμών

Λέξεις κλειδιά: Ασφάλεια-ευστάθεια-ανατροπές γεωργικός ελκυστήρας, πρόληψη ατυχημάτων, γωνίες κλίσης.

ANGLE STABILITY DETERMINATION OF AGRICULTURAL TRACTORS

Th. A. Gialamas[1], I.L. Xaloulis[1], Z. I. Koutsofitis[1], Ag. Th.Filintas[1], K.A. Tsatsarelis[2], A.H. Tsakalos[1], K.H. Manolis[1]

[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.

[21]Laboratory for Agricultural Mechanics, Department of Agriculture, Aristotel University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki.

ABSTRACT

In the present study an adjustable testing - bench structure for angle stability determination of agricultural tractors is presented. Knowledge of stability situations allows the safety movement of agricultural tractors on sloping and rough grounds and avoidance of overthrows or sloping downfalls. It's well known that these situations cause mechanical damages and a lot of accidents which are frequently fatally. Determination of allowed grade angles is actualized with sequential tests on the adjustable testing - bench structure.

Keywords: Safety-stability-overthrows of tractors, forestalling accidents, grade angles.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα, όπως και στο εξωτερικό κάθε χρόνο συμβαίνει ένας πολύ μεγάλος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων τα οποία προέρχονται από τις ανατροπές των Γεωργικών Μηχανημάτων που οφείλονται τις περισσότερες φορές σε απώλεια της σταθερότητας και του ελέγχου. 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 τα μεταφερόμενα φορτία [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 τους [7, 8]. Οι απώλειες ελέγχου μπορεί να οφείλονται σε ανεπαρκή πρόσφυση, φθαρμένα ελαστικά, των τροχών και φυτικά υπολείμματα του εδάφους [7]. 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 παραπάνω διαπίστωσαν ότι υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων τους. Οι ίδιοι ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για εξέταση της συμπεριφοράς διαξονικών ελκυστήρων κατά τη διάρκεια ατυχημάτων από πλάγιες πτώσεις σε πλαγιές [9]. 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]. Διαπιστώνεται ότι ο προσανατολισμός των ερευνών είναι να δημιουργηθούν ασφαλή πρότυπα ώστε να είναι δυνατό να προβλέπεται η κατάσταση ευσταθούς ή ασταθούς ισορροπίας στην κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός των γωνιών ευστάθειας των γεωργικών ελκυστήρων με τη βοήθεια της πειραματικής τράπεζας δοκιμών, ώστε να προβλέπεται η κατάσταση ευσταθούς ή ασταθούς ισορροπίας, που επιτρέπει την ασφαλή κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη για την αποφυγή ανατροπών ή πλάγιων πτώσεων που προκαλούν ατυχήματα με τραυματισμούς ή θανάτους καθώς και ζημίες στους ελκυστήρες και στα γεωργικά μηχανήματα.

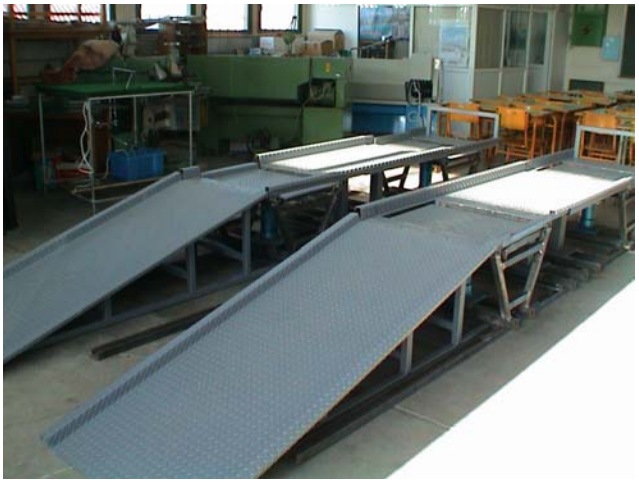
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο προσδιορισμός των γωνιών ευστάθειας για την ασφαλή κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων πραγματοποιείται στην τράπεζα δοκιμών που κατασκευάστηκε στα εργαστήρια του τμήματος Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας.
Η τράπεζα δοκιμών μας παρέχει αυτή τη δυνατότητα, διότι δύναται 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 τον 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. Σε κάθε θέση γίνεται νέα καταγραφή του φορτίου του κάθε τροχού, αλλά και του κάθε άξονα και με ειδικό πρόγραμμα υπολογισμού καθορίζονται οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους, δηλαδή τα τρία επίπεδα **B, C, H.** Στο σημείο τομής των τριών επιπέδων βρίσκεται το κέντρο βάρος του γεωργικού ελκυστήρα, η θέση του οποίου καθορίζει τις μέγιστες επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης. Έτσι για κίνηση του ελκυστήρα σε έδαφος με ποικίλη κλίση προς όλες τις κατευθύνσεις είναι δυνατό να προβλέπεται η κατάσταση ευσταθούς ή ασταθούς ισορροπίας.

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία προσδιορισμού των γωνιών ευστάθειας πραγματοποιείται εφόσον οι τροχοί του γεωργικού ελκυστήρα έρθουν σε επαφή με τις αντίστοιχες αυτόματες ηλεκτρονικές ζυγιστικές μονάδες, της πειραματικής τράπεζας δοκιμών (εικόνα 1), όπου καταγράφεται το βάρος του κάθε τροχού.

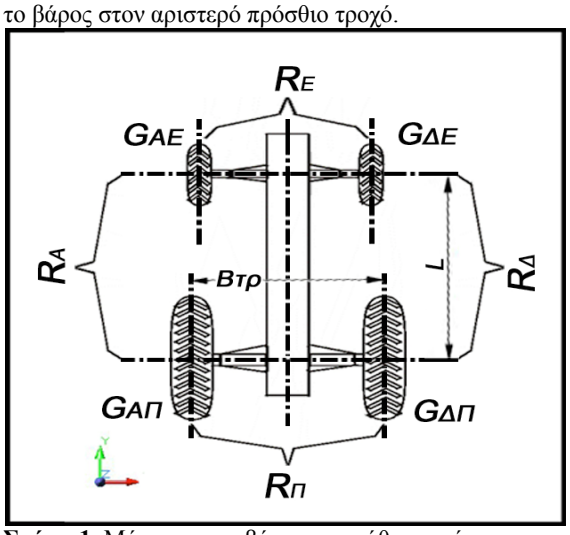


Εικόνα 1. Η πειραματική τράπεζα δοκιμών.

Με τον τρόπο αυτό καθορίζεται επίσης το συνολικό βάρος του γεωργικού ελκυστήρα **G,** το βάρος στον πρόσθιο $\mathbf{G_E}$, και οπίσθιο άξονα $\mathbf{G_Π}$, καθώς και το βάρος στην δεξιά $\mathbf{G_Δ}$, και αριστερή $\mathbf{G_A}$ πλευρά του. Επίσης σε κάθε γεωργικό ελκυστήρα είναι γνωστά από τον κατασκευαστή, ή μπορούν να μετρηθούν τα κατασκευαστικά του στοιχεία όπως το μήκος μεταξύ των αξόνων **L**, το εύρος των τροχών $\mathbf{B_{TP}}$, για τον πρόσθιο και οπίσθιο άξονα, οι διάμετροι των πρόσθιων και οπίσθιων τροχών $\mathbf{D_E}$ και $\mathbf{D_Π}$, αντίστοιχα το ελεύθερο ύψος από το έδαφος **F** καθώς και άλλα στοιχεία. Στο σχήμα 1 φαίνεται η

κάτοψη ενός γεωργικού ελκυστήρα καθώς και το βάρος που αντιστοιχεί σε κάθε τροχό και τις αντιδράσεις $\mathbf{R_E}$, $\mathbf{R_П}$, $\mathbf{R_A}$ και $\mathbf{R_Δ}$.

Όπου : $\mathbf{G_{ΔΠ}}$ = το βάρος στο δεξιό οπίσθιο τροχό του γεωργικού ελκυστήρα, $\mathbf{G_{ΑΠ}}$ = το βάρος στον αριστερό οπίσθιο τροχό, $\mathbf{G_{ΔΕ}}$ = το βάρος στο δεξιό πρόσθιο τροχό, $\mathbf{G_{ΑΕ}}$ = το βάρος στον αριστερό πρόσθιο τροχό.



Σχήμα 1. Μέτρηση του βάρους σε κάθε τροχό.

Με τα στοιχεία που καθορίστηκαν μπορεί να υπολογιστούν:

α). Η θέση του εγκάρσιου επιπέδου **B,** από τον οπίσθιο άξονα σε μία απόσταση **b**.

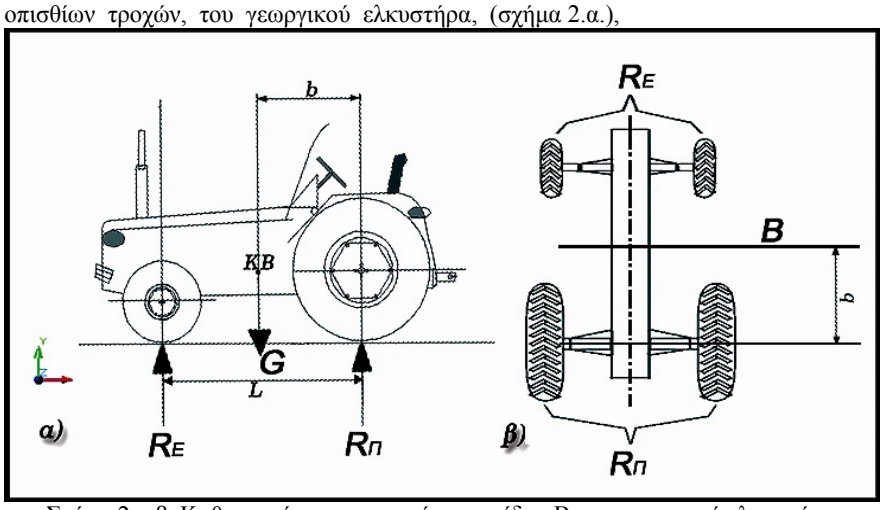
β).Η θέση του οριζοντίου επιπέδου **H**, σε απόσταση από το έδαφος **h.**

Η θέση του επιπέδου **C,** σε μία απόσταση **c,** μεταξύ της δεξιάς και αριστερής πλευράς, από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας. Εάν το βάρος των τροχών του οπίσθιου άξονα είναι το ίδιο, $\mathbf{G_{ΔΠ}} = \mathbf{G_{ΑΠ}}$ και το βάρος των τροχών του πρόσθιου άξονα είναι επίσης το ίδιο, $\mathbf{G_{ΔΕ}} = \mathbf{G_{ΑΕ}}$ τότε η κατανομή του βάρους στη δεξιά $\mathbf{G_Δ}$ και αριστερή πλευρά $\mathbf{G_A}$, είναι ίδια. Το κέντρο βάρος θα βρίσκεται στο νοητό διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα, άρα $\mathbf{c = 0}$. Εάν το βάρος είναι διαφορετικό στους δύο πρόσθιους τροχούς δεξιά και αριστερά $\mathbf{G_{ΔΕ}} \neq \mathbf{G_{ΑΕ}}$ και διαφορετικό στους δύο οπίσθιους τροχούς, δεξιά και αριστερά $\mathbf{G_{ΔΠ}} \neq \mathbf{G_{ΑΠ}}$, τότε θα υπάρχει απόκλιση **C,** σε μία απόσταση **c** του νοητού επιπέδου που δημιουργείται από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, ανάλογα με τη διαφορά του βάρους στους τροχούς του οπισθίου άξονα $\mathbf{G_{ΔΠ}}$,$\mathbf{G_{ΑΠ}}$ και του πρόσθιου άξονα $\mathbf{G_{ΔΕ}}$, $\mathbf{G_{ΑΕ}}$.

3.1. Υπολογισμός της απόστασης b, του εγκάρσιου επιπέδου B, της θέσης του κέντρου βάρους.

Ο υπολογισμός των αντιδράσεων στους δύο άξονες του γεωργικού ελκυστήρα, όπως έχει αναφερθεί, πραγματοποιείται με τον καθορισμό του βάρους σε κάθε τροχό. Η θέση του κέντρου βάρους θα βρίσκεται επάνω στο εγκάρσιο επίπεδο **B,** που δημιουργείται, σε μία απόσταση **b,** (σχήμα 2) από τον οπίσθιο άξονα του γεωργικού ελκυστήρα, θεωρώντας συγκεντρωμένο το βάρος του **G,** στη θέση του κέντρου βάρους του. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος των αντιδράσεων στους δύο άξονες και με τη μαθηματική σχέση (1.1.) των ροπών, ως προς τα σημεία επαφής των τροχών με το έδαφος, υπολογίζονται οι αντιδράσεις του πρόσθιου και οπίσθιου άξονα. Η αντίδραση στον οπίσθιο άξονα είναι: $\mathbf{R_П}=\mathbf{G_{ΔΠ}}+\mathbf{G_{ΑΠ}}$ και η αντίδραση στον πρόσθιο $\mathbf{R_E}=\mathbf{G_{ΔΕ}}+\mathbf{G_{ΑΕ}}$. Η αντίδραση, $\mathbf{R_П}$ του οπισθίου άξονα είναι η συνισταμένη των αντιδράσεων των οπίσθιων τροχών και προέρχεται από το βάρος που ασκείται από τους τροχούς στο έδαφος. Η αντίδραση, $\mathbf{R_E}$ του πρόσθιου είναι η συνισταμένη των αντιδράσεων των πρόσθιων τροχών και προέρχεται από το βάρος που ασκείται από τους τροχούς στο

έδαφος. Εάν $G_{ΔΠ} = G_{ΑΠ}$ και $G_{ΔΕ} = G_{ΑΕ}$, τότε οι αντιδράσεις στους τροχούς $R_Π$ και $R_Ε$ στο σχήμα 2.α , θα βρίσκονται στο μέσον του εύρους των τροχών, του οπίσθιου και πρόσθιου άξονα αντίστοιχα. Το εγκάρσιο επίπεδο **B**, (σχήμα 2.β) καθορίζεται με βάση την απόσταση **b** του σημείου του κέντρου βάρους από τον κατακόρυφο άξονα των οπισθίων τροχών, του γεωργικού ελκυστήρα, (σχήμα 2.α.),



Σχήμα 2.α,β. Καθορισμός του εγκαρσίου επιπέδου Β του γεωργικού ελκυστήρα.

όπου: $R_Ε$, η αντίδραση, λόγω του βάρους στον πρόσθιο άξονα, και $R_Π$, η αντίδραση λόγω του βάρους στον οπίσθιο. Στην περίπτωση αυτή τα αντίστοιχα σημεία δημιουργούν ένα νοητό διάμηκες επίπεδο, αυτό θα συμπίπτει με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα, διότι η κατανομή του βάρους στη δεξιά πλευρά, θα ισούται με την κατανομή του βάρους στην αριστερή, οπότε η απόκλιση είναι μηδέν **(c = 0).** Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι για εγκάρσια πορεία του γεωργικού ελκυστήρα σε εδάφη με κλίση, είτε δεξιά είτε αριστερά, οι επιτρεπόμενες γωνίες κίνησης θα είναι ίσες. Από τη συνθήκη ισορροπίας του γεωργικού ελκυστήρα, θα πρέπει το άθροισμα των δυνάμεων και το άθροισμα των ροπών ως προς ένα σημείο, επαφής του τροχού με το έδαφος να είναι μηδέν δηλαδή, ο γεωργικός ελκυστήρας να βρίσκεται σε ισορροπία.

Το άθροισμα των ροπών του σχήματος 2.α δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma MR_Π = 0 \Rightarrow R_Ε . L - G . b = 0 \quad και \quad b = R_Ε . L/G \qquad (1.1)$$

Το άθροισμα των κατακόρυφων δυνάμεων :

$$\Sigma Fy = 0 \Rightarrow G - R_Ε - R_Π = 0 \quad και \quad G = R_Ε + R_Π \qquad (1.2)$$

Στην περίπτωση αυτή ένα απλό ζύγισμα του πρόσθιου άξονα είναι αρκετό για τον καθορισμό της θέσης του εγκάρσιου επιπέδου **B,** του γεωργικού ελκυστήρα.

3.2.Υπολογισμός της απόκλισης c, και του διάμηκους επιπέδου C, της θέσης του κέντρου βάρους.

Εάν σε ένα γεωργικό ελκυστήρα η κατανομή του βάρους στους τροχούς του δεν είναι ίδια αλλά διαφέρει, τότε η θέση του κέντρου βάρους δεν θα βρίσκεται επάνω στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του αλλά θα αποκλίνει δεξιά η αριστερά ανάλογα με τη

διαφορά του βάρους που υπάρχει στους οπίσθιους και πρόσθιους τροχούς. Εάν ισχύει $\mathbf{G_{\Delta\Pi} > G_{A\Pi}}$ και $\mathbf{G_{\Delta E} > G_{AE}}$ τότε η θέση του κέντρου βάρος του δε θα βρίσκεται στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα, αλλά σε κάποια θέση η οποία θα αποκλίνει δεξιά, ανάλογα με τη διαφορά του βάρους των τροχών, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.α.β. Για τον καθορισμό της απόκλισης **c** γίνεται σύνθεση των δυνάμεων, από την κατανομή του βάρους των τροχών, για τον υπολογισμό της συνισταμένης αντίδρασης του πρόσθιου και οπίσθιου άξονα.

Από το σχήμα 3.α. προκύπτει για τους οπίσθιους τροχούς:

$$\mathbf{R_{\Pi} = G_{\Delta\Pi} + G_{A\Pi}} \qquad (1.3)$$

Παίρνοντας ροπές ως προς το σημείο επαφής του οπίσθιου δεξιού τροχού $G_{\Delta\Pi}$, με το έδαφος προκύπτει:

$$\mathbf{\Sigma M_{\Delta\Pi} = 0 \Rightarrow R_{\Pi} \cdot \delta - G_{A\Pi} \cdot B_{TP} \Rightarrow \delta = G_{A\Pi} \cdot B_{TP} / R_{\Pi}} \qquad (1.4)$$

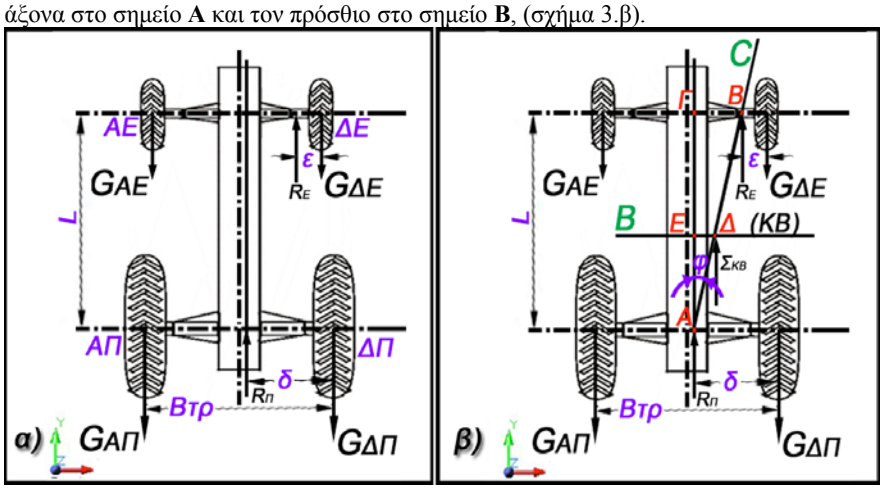
Η απόσταση δ καθορίζεται επάνω στον οπίσθιο άξονα των τροχών, από το σημείο επαφής του οπίσθιου δεξιού τροχού προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα. Για τους πρόσθιους τροχούς από το σχήμα 3.α. προκύπτει:

$$\mathbf{R_E = G_{\Delta E} + G_{AE}} \qquad (1.5)$$

Παίρνοντας ροπές ως προς το σημείο επαφής του εμπρόσθιου δεξιού τροχού με το έδαφος προκύπτει:

$$\mathbf{\Sigma M_{\Delta E} = 0 \Rightarrow R_E \cdot \varepsilon - G_{AE} \cdot B_{TP} \Rightarrow \varepsilon = G_{AE} \cdot B_{TP} / R_E} \qquad (1.6)$$

Η απόσταση **ε** καθορίζεται επάνω στον πρόσθιο άξονα των τροχών, από το σημείο επαφής του πρόσθιου δεξιού τροχού προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα. Από τα σημεία αυτά **δ** και **ε** του οπίσθιου και πρόσθιου άξονα, φέρεται μία ευθεία, η οποία καθορίζει το διάμηκες επίπεδο, το οποίο τέμνει τον οπίσθιο άξονα στο σημείο **A** και τον πρόσθιο στο σημείο **B**, (σχήμα 3.β).



Σχήμα 3.α,β. Καθορισμός της συνισταμένης δύναμης στον πρόσθιο και οπίσθιο άξονα και χάραξη του εγκάρσιου επιπέδου B και του διάμηκες επιπέδου **C**.

Το σημείο εφαρμογής της θέσης του κέντρου βάρους, καθορίζεται από τις συνισταμένες του βάρους του εμπρόσθιου και οπίσθιου άξονα. Η συνισταμένη του κέντρου βάρους του γεωργικού ελκυστήρα $\mathbf{\Sigma_{KB}}$, θα είναι:

$$\mathbf{\Sigma_{KB} = R_{\Pi} + R_E} \qquad (1.7)$$

Ο υπολογισμός της απόστασης ΑΔ της θέσης του κέντρου βάρους από τον οπίσθιο άξονα του γεωργικού ελκυστήρα επάνω στο διάμηκες επίπεδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.β. δίνεται από τη σχέση 1.8:

$$\Sigma M_A=0 \Rightarrow A\Delta \cdot \Sigma_{\kappa\beta} - R_E \cdot AB \Rightarrow A\Delta \cdot \Sigma_{\kappa\beta} = R_E \cdot AB \Rightarrow A\Delta = \frac{R_E \cdot AB}{\Sigma_{\kappa\beta}} \qquad (1.8)$$

Από το τρίγωνο ΑΒΓ στο σχήμα 3.β, υπολογίζεται το διάμηκες επίπεδο ΑΒ.

Όπου: $$AB = \sqrt{(A\Gamma)^2 + (B\Gamma)^2} \qquad (1.9)$$

Εάν θέσουμε **ΒΓ = δ - ε και ΑΓ = L** (1.10)

Όπου: **L** το μήκος μεταξύ των αξόνων του γεωργικού ελκυστήρα.

Το διάμηκες επίπεδο είναι: $$AB = \sqrt{L^2 + (\delta - \varepsilon)^2} \qquad (1.11)$$

Επομένως η θέση του κέντρου βάρους βρίσκεται από τις σχέσεις (1.8) και (1.11) οπότε:

Κέντρο βάρος (Κ.Β.): $$A\Delta = \frac{R_E \sqrt{L^2 + (\delta - \varepsilon)^2}}{\Sigma_{\kappa\beta}} \qquad (1.12)$$

όπου : **ΑΔ = b / συν φ** είναι η απόσταση του εγκάρσιου επίπεδου **Β** το οποίο τέμνει το τρίγωνο ΑΒΓ με γωνία φ στα σημεία Δ και Ε, τα σημεία αυτά καθορίζουν την μία κάθετη πλευρά του τριγώνου ΑΔΕ με την ίδια γωνία φ.

Στο τρίγωνο ΑΔΕ είναι: **ΑΕ = ΑΔ · συν φ** (1.13)

και ΔΕ, στο τρίγωνο ΑΔΕ είναι **ΔΕ =ΑΔ · ημφ** (1.14)

για ΑΓ = L και ΒΓ = δ - ε, η εφαπτομένη της γωνίας φ θα είναι :

$$\varepsilon\varphi = \frac{B\Gamma}{A\Gamma} \Rightarrow \varepsilon\varphi = \frac{\delta - \varepsilon}{L} \qquad (1.15)$$

Επομένως η απόσταση του εγκάρσιου επιπέδου από τον οπίσθιο άξονα του γεωργικού ελκυστήρα δίνεται τις σχέσεις (1.12), (1.13) οπότε :

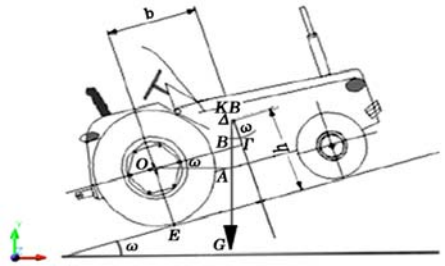
$$AE = \frac{R_E \sqrt{L^2 + (\delta - \varepsilon)^2}}{\Sigma_{\kappa\beta}} \cdot \sigma\upsilon\nu\varphi \qquad (1.16)$$

Επομένως η απόκλιση **c** από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

Απόκλιση: $$c = \left(\frac{B_{TP}}{2} - \delta\right) + \Delta E = \left(\frac{B_{TP}}{2} - \delta\right) + \frac{R_E \sqrt{L^2 + (\delta - \varepsilon)^2}}{\Sigma_{\kappa\beta}} \cdot \eta\mu\varphi \qquad (1.17)$$

3.3.Υπολογισμός του ύψους h, και του οριζοντίου επιπέδου Η, της θέσης του κέντρου βάρους και της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας κίνησης.

Το οριζόντιο επίπεδο **Η** καθορίζεται με βάση την απόσταση **h** από το έδαφος με μαθηματικές σχέσεις, γνωρίζοντας επίσης, τις διαστάσεις των ελαστικών επισώτρων, τις αντιδράσεις των προσθίων και των οπισθίων τροχών, καθώς και την γωνία κλίσης για ανοδική πορεία (εικόνα 2). Για να υπολογιστεί το ύψος **h** του κέντρου βάρους πρέπει να υπολογιστεί η πλευρά ΓΔ του τριγώνου ΒΓΔ (σχήμα 4).



Σχήμα 4. Καθορισμός του οριζοντίου. επιπέδου **H** με βάση την απόσταση **h.**

Εικόνα 2. Ο γεωργικός ελκυστήρας επάνω στην πειραματική τράπεζα δοκιμών, για τον καθορισμό των αντιδράσεων στους δύο άξονες.

Από το τρίγωνο ΒΓΔ προκύπτουν οι σχέσεις:

$\Gamma\Delta = B\Gamma / \varepsilon\varphi\omega$ (1.18)

$B\Gamma = O\Gamma - OB$ (1.19)

Από το τρίγωνο ΟΑΒ προκύπτει η σχέση:

$$OB = \frac{OA}{\sigma\upsilon\nu\omega} \quad (1.20)$$

Από τις σχέσεις 1.18, 1.19, 1.20 προκύπτει: $$B\Gamma = O\Gamma - \frac{OA}{\sigma\upsilon\nu\omega} \quad (1.21)$$

$$\Gamma\Delta = \frac{O\Gamma - \frac{OA}{\sigma\upsilon\nu\omega}}{\varepsilon\varphi\omega} \quad (1.22)$$

και το ύψος είναι (ΚΒ), h=ΟΕ+ΔΓ (1.23)

όπου: ΟΑ είναι η απόσταση του κέντρου βάρους από τον οπίσθιο άξονα του ελκυστήρα στη θέση με κλίση, ΟΓ είναι η απόσταση του Κ.Β. από τον οπίσθιο άξονα του στη οριζόντια θέση, ΟΕ είναι η ακτίνα του οπισθίου τροχού και η γωνία ΑΟΒ = ΒΔΓ = ω.

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η κατασκευή της ρυθμιζόμενης τράπεζας δοκιμών, μαζί με το αυτόματο σύστημα ζύγισης και καταγραφής του βάρους των τροχών όπως αναφέρθηκε που χρησιμοποιείται από το Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας, επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης του κέντρου βάρους των γεωργικών ελκυστήρων, και των γωνιών κλίσης, με επιδιωκόμενο σκοπό την ασφαλή κίνησή τους, σε επικλινή εδάφη, καθώς και στην κίνησή τους με αλλαγή κατεύθυνσης πορείας των.

Ο υπολογισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας κίνησης πραγματοποιείται με την χρήση της σχέσης της φυγόκεντρης δύναμης :

$$\mathbf{F\varphi = m.u^2 / R \ [N] \quad και \quad m = Gm / g \ [N.s^2/m]} \quad (1.24)$$

Όπου **Fφ** είναι η φυγόκεντρη δύναμη σε [N], **m** είναι η μάζα του οχήματος σε [N.s^2 /m], **u** είναι η ταχύτητα κίνησης του ελκυστήρα σε [m/s], **R** είναι η ακτίνα στροφής του σε [m],**Gm** το βάρος του σε [N] και **g** η επιτάχυνση της βαρύτητας σε [m/s^2]. Με

μετασχηματισμό της εξίσωσης που καθορίζει την φυγόκεντρο δύναμη προκύπτει η ταχύτητα κίνησης του ελκυστήρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή της τράπεζας δοκιμών και μετρήσεων έχει απλουστεύσει την διαδικασία των μετρήσεων για τον υπολογισμό των παρακάτω :

1. Της ευσταθούς πορείας για την κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων, σε εδάφη με κλίση κατά την : 1. Ανοδική πορεία , 2. Καθοδική πορεία , 3. Πορεία με κλίση προς τα δεξιά , 4. Πορεία με κλίση προς τα αριστερά.
2. Της ευσταθούς πορείας για την κίνηση των Γ.Ε. με φερόμενα Γεωργικά Μηχανήματα, στο πρόσθιο και στο οπίσθιο σύστημα ανάρτησης.
3. Του υπολογισμού της μεγίστης επιτρεπομένης ταχύτητας κίνησης και αλλαγής πορείας σε αγροτικούς δρόμους.
4. Τέλος, η παραπάνω κατασκευή θα είναι η βασική διάταξη, μαζί με τις άλλες υπάρχουσες (όπως η εδαφολεκάνη με το ερπυστριοφόρο πειραματικό ελκυστήρα που έχει την δυνατότητα της αλλαγής των μέσων πρόωσής του, από ερπυστριοφόρο σε τροχοφόρο και το αντίστροφο), για τον καθορισμό του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους. Οι παραπάνω συσκευές θα χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ανάπτυξη των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. Γιαλαμάς. Α.Θ.. Κουτσοφίτης. Ι.Ζ.. Φιλίντας. Θ.Α.. 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.

ΨΕΚΑΣΤΙΚΑ: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ

Νικολαΐδης Χ.Π.[1], Θ.Α. Γέμτος[1], Ι.Α. Τσιτσιπής[2]

1 Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου 38446, Νέα Ιωνία Μαγνησίας, e-mail: chnikola@agr.uth.gr

2 Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Νέα Ιωνία Μαγνησίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η φυτοπροστασία αποτελεί έναν από τους κυριότερους συντελεστές της γεωργίας. Τα ψεκαστικά είναι τα κυριότερα μέσα εφαρμογής φυτοπροστατευτικών ουσιών. Κακή εφαρμογή της φυτοπροστασίας οδηγεί σε προβλήματα. Γίνεται ανασκόπηση των κανονισμών που διέπουν τη λειτουργία και τις δοκιμές των ψεκαστικών. Τα υδατοευαίσθητα χαρτιά χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση σταγονιδίων ψεκαστικού νέφους. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δοκιμών νεφελοψεκαστήρα με τη χρήση τέτοιων υδατοευαίσθητων χαρτιών στον αγρό.

Λέξεις κλειδιά: Ψεκαστικά, Κανονισμοί δοκιμών, drifting, Υδατοευαίσθητα χαρτιά

SPRAYERS: PROBLEMS OF OPERATION AND CERTIFICATION AND FIELD TESTS

Nikolaidis C.P. [1], T.A. Gemtos[1], I.A. Tsitsipis[2]

1. Laboratory of Farm Mechanization, University of Thessaly, Fytokou Str. 38446, Nea Ionia Magnisia. e-mail: chnikola@agr.uth.gr

2. Laboratory of Entomology and Agricultural Zoology, University of Thessaly, Fytokou Str. 38446, Nea Ionia Magnisia.

ABSTRACT

Crop protection is one of the main components of agriculture. Sprayers are the main means of application of plant protection products. Wrong application results to problems. A review is made on the regulations which apply on the operation and testing of the sprayers. Water sensitive papers are used for tracing spray droplets. Results from testing of air-assisted sprayer with water sensitive papers are presented.

Key words: Sprayers, Testing regulations, Drifting, Water sensitive paper

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση της παραγωγής των αγροτικών προϊόντων που παρατηρήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες οφείλεται σε διάφορους παράγοντες. Μεταξύ αυτών, κυρίαρχο ρόλο διαδραμάτισε η φυτοπροστασία. Με τη βελτίωση των αρχών και μεθόδων που χρησιμοποιούνται στη φυτοπροστασία επιτεύχθηκε αποτελεσματικότερος έλεγχος των εχθρών των καλλιεργούμενων φυτών και συνεπώς μικρότερες απώλειες στην παραγωγή. Είναι χαρακτηριστικό ότι ορισμένοι εχθροί μπορούν να προκαλέσουν μέχρι και πλήρη καταστροφή, ποσοτική και ποιοτική, της παραγωγής με σημαντικές συνέπειες για τον πληθυσμό. Γι' αυτό η φυτοπροστασία εφαρμοζόταν από τα αρχαία χρόνια. Είναι γνωστή η χρησιμοποίηση του θείου στα αμπέλια για την καταπολέμηση του ωιδίου καθώς και άλλων περιπτώσεων καταπολέμησης.

Από την περίοδο εμφάνισης των πρώτων συγχρόνων συνθετικών φυτοπροστατευτικών προϊόντων έως το 1990 περίπου, ταυτίστηκε με τη χημική καταπολέμηση. Η χημική καταπολέμηση χαρακτηρίζεται από υψηλή αποτελεσματικότητα και ταχεία δράση, δυνατότητα εφαρμογής με την εμφάνιση του προβλήματος καλή τιμή του λόγου ωφέλειας / κόστους και επαναληψιμότητα [1, 2]. Η εφαρμογή των φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων γίνεται με τη χρήση διάφορων μορφών σκευασμάτων και μεθόδων όπως σε μορφή σκόνης με επιπαστήρα, σε μορφή διαλύματος σε νερό με ψεκασμό και με εμποτισμό σε κόκκους ορυκτών με διανομείς κοκκωδών. Η χρήση των κοκκωδών σκευασμάτων βελτίωσε σημαντικά την παραγωγή των γεωργικών προϊόντων κατά τον πρώτο καιρό εφαρμογής τους. Αργότερα όμως έγινε αντιληπτό ότι τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα είναι ουσίες δυνητικά επικίνδυνες για την άγρια ζωή και για τον ίδιο τον άνθρωπο. Αυτό οδήγησε σε μια επαναξιολόγηση της χρήσης τους με παραγωγή περισσότερο εκλεκτικών σκευασμάτων, που είναι λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον και τους οργανισμούς μη-στόχους. Στη χώρα μας το μεγαλύτερο ποσοστό των φυτοπροστατευτικών προϊόντων εφαρμόζεται με ψεκασμό. Τα υδραυλικά ψεκαστικά έχουν τη δραστική ουσία διαλυμένη σε νερό, το λεγόμενο ψεκαστικό υγρό. Το ψεκαστικό υγρό αναγκάζεται να διέλθει από μικρή οπή, τα ακροφύσια, υπό πίεση και διασπάται σε σταγόνες καθώς η στήλη του νερού διασχίζει με υψηλή ταχύτητα τον ακίνητο αέρα. Η διάσπαση του ψεκαστικού υγρού σε σταγονίδια είναι η βάση της λειτουργίας του ψεκαστικού και της επιτυχίας της φυτοπροστασίας. Τα σταγονίδια πρέπει να επικαθίσουν στο στόχο που είναι το παράσιτο, το έδαφος ή οι φυτικές επιφάνειες και εκεί να εκδηλώσουν τη δράση τους. Η κακή εφαρμογή της χημικής καταπολέμησης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα προβλήματα επιβάρυνσης του περιβάλλοντος και των αγροτικών προϊόντων με φυτοπροστατευτικά προϊόντα, επιδράσεις στην υγεία του χρήστη φυτοπροστατευτικών προϊόντων και του καταναλωτή αγροτικών προϊόντων, αυξημένο κόστος παραγωγής, προβλήματα ανθεκτικότητας εχθρών.

Τα ψεκαστικά πρέπει να λειτουργούν καλά για να επιτύχει η φυτοπροστασία. Η χρήση των πλέον ενδεδειγμένων φυτοπροστατευτικών προϊόντων, αποτυγχάνει αν τα μέσα εφαρμογής δε λειτουργούν σωστά και μπορεί να καταστεί επικίνδυνη. Προϋπόθεση για τη σωστή εφαρμογή είναι ο σωστός σχεδιασμός, η σωστή συντήρηση, η σωστή λειτουργία και ρύθμιση του ψεκαστικού [3].

Είναι προφανές ότι αποτελεί καθήκον του κάθε κατασκευαστή ψεκαστικών να σχεδιάσει ορθά το ψεκαστικό και του κάθε χρήστη να το χρησιμοποιήσει και να το συντηρεί σύμφωνα με τις οδηγίες ώστε να λειτουργεί ικανοποιητικά. Η μεγάλη σημασία της ορθής εφαρμογής των φυτοπροστατευτικών προϊόντων οδήγησε στην ανάγκη επιβολής κανόνων σχεδίασης, κατασκευής, χρήσης, και συντήρησης ενός ψεκαστικού.

Οι κανόνες αυτοί παίρνουν τη μορφή προτύπων που έχουν υιοθετηθεί από τα κράτη μέλη της Ε.Ε. και έχουν με τη σειρά τους καθιερώσει ελέγχους και πρωτόκολλα δοκιμών που βασίζονται σε αυτά τα πρότυπα.

Τα τελευταία χρόνια προέκυψε πρόβλημα συμμόρφωσης των ψεκαστικών μηχανημάτων με κανόνες που εξασφαλίζουν την καλή ποιότητα εφαρμογής των φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Ειδικότερα τα συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης απαιτούν τη χρήση ψεκαστικών που πληρούν ορισμένες προδιαγραφές και εξασφαλίζουν την ορθή εφαρμογή των φυτοπροστατευτικών προϊόντων με παράλληλη προστασία του χειριστή και των καταναλωτών. Διάφοροι οργανισμοί έχουν θεσπίσει κανονισμούς πιστοποίησης της κατασκευής και της λειτουργίας των ψεκαστικών [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Οι ισχύοντες κανονισμοί στην Ε.Ε. έχουν γίνει αποδεκτοί στη χώρα μας αλλά δεν έχουν υλοποιηθεί από εργαστήρια με κατάλληλη υποδομή για την εκτέλεση των δοκιμών.

Ένας ψεκασμός θεωρείται επιτυχημένος όταν το ψεκαστικό υγρό εναποτίθεται στο στόχο. Σε κάθε ψεκασμό ένα μέρος του ψεκαστικού νέφους διαφεύγει και μεταφέρεται μακριά από το στόχο. Η ποσότητα του ψεκαστικού νέφους που διαφεύγει είναι γνωστή διεθνώς ως drifting. Το drifting είναι ανεπιθύμητο γιατί έχει ως αποτέλεσμα ανεπιθύμητες επιπτώσεις στον παραγωγό, στις καλλιέργειες, στο περιβάλλον και τα οικοσυστήματα γενικότερα. Όταν το ποσοστό του ψεκαστικού νέφους που διαφεύγει είναι μεγάλο, αυτό συνεπάγεται σπατάλη φυτοπροστατευτικών προϊόντων και μειωμένη αποτελεσματικότητα της φυτοπροστασίας. Εξάλλου ψεκαστικό νέφος ή ατμοί που διαφεύγουν κατά τη διενέργεια ψεκασμού σε μία καλλιέργεια προς τις γειτονικές, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ανεπίτρεπτα υπολείμματα φυτοπροστατευτικών προϊόντων στα αγροτικά προϊόντα ή και φυτοτοξικότητα όταν πρόκειται για ζιζανιοκτόνα. Ορισμένα φυτοπροστατευτικά προϊόντα είναι πολύ επιβαρυντικά για τα υδάτινα οικοσυστήματα και τους υδρόβιους οργανισμούς. Η ποσότητα που θα διαφύγει κατά τον ψεκασμό μίας καλλιέργειας που γειτνιάζει με υδάτινο όγκο θα έχει ως αποτέλεσμα ανεπιθύμητες συνέπειες.. Οι μηχανισμοί δημιουργίας του drifting είναι σύνθετοι. Μία περιγραφή του μηχανισμού δημιουργίας δίνεται παρακάτω [12]. Σε ένα συνηθισμένο ψεκαστικό με ακροφύσια τύπου σκούπας (flat-fan), το ψεκαστικό νέφος κατευθύνεται προς τα κάτω, στην επιφάνεια-στόχο. Το ψεκαστικό νέφος φεύγει από το ακροφύσιο σαν ένα συνεχόμενο στρώμα υγρού με σχετικά υψηλή ταχύτητα και στη συνέχεια διασπάται σε σταγονίδια. Η αλληλεπίδραση του κινούμενου υγρού με τον περιβάλλοντα αέρα παρασύρει ένα συντρέχον (ταυτόχρονο) ρεύμα αέρα στο ψεκαστικό νέφος ως αποτέλεσμα της προστριβόμενης επαφής μεταξύ του αέρα και του στρώματος νερού και της ανταλλαγής ορμής (momentum exchange) μεταξύ των σταγονιδίων και του περιβάλλοντος αέρα. Κοντά στη θέση σχηματισμού του ψεκαστικού νέφους, όλα τα σταγονίδια έχουν υψηλή ταχύτητα προς τα κάτω αλλά οι επιδράσεις του αέρα είναι τέτοιες που τα σταγονίδια μικρότερων μεγεθών επιβραδύνονται και διατηρούνται αιωρούμενα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Γίνεται εμφανές ότι το drifting αυξάνεται όσο αυξάνονται το ποσοστό των σταγονιδίων μικρής διαμέτρου. Για τον περιορισμό του φαινομένου αυτού έχουν προταθεί διάφορα μέτρα και στρατηγικές. Έτσι προτείνονται μεταξύ άλλων η χρήση ακροφυσίων που παράγουν μεγαλύτερης διαμέτρου σταγονίδια, η χρήση χαμηλότερων πιέσεων ψεκασμού, η μείωση της απόστασης του ιστού από το έδαφος, η αύξηση του μεγέθους των ακροφυσίων, η αποφυγή ψεκασμού σε μεγάλες ταχύτητες αέρα και η χρήση τέλος προσθέτων στο ψεκαστικό υγρό που μειώνουν το drifting, παράγοντας σταγόνες μεγαλύτερης διαμέτρου, όταν αυτό απαιτείται [13].

Η εκτίμηση του drifting γίνεται με συλλογή των σταγονιδίων σε διάφορες αποστάσεις από το σημείο εκτόξευσης Η συλλογή των σταγονιδίων γίνεται σε διάφορες επιφάνειες.

Ο Πίνακας 1 δίνει μια περίληψη των μεθόδων που χρησιμοποίησαν διάφοροι ερευνητές [12].

Πίνακας 1. Παραδείγματα επιφανειών που χρησιμοποιούνται για μέτρηση του drifting

Επιφάνεια συλλογής	Χαρακτηριστικά
Κυλινδρικοί συλλέκτες από σχοινί πολυαιθυλενίου 2, 2,5 και 3 mm	Προσδιορισμένη επιφάνεια συλλογής Καλά χαρακτηριστικά ανάκτησης Συνεχής δειγματοληψία-δυνατότητα χωρισμού σε τομείς Λογική ικανότητα συλλογής Εύκολος χειρισμός σε συνθήκες αγρού
Συλλέκτες μάλλινου νήματος	Υψηλή ικανότητα συλλογής Δυσκολία ακριβούς προσδιορισμού επιφάνειας συλλογής
Βαμβακερά τεμάχια υφάσματος	Χρήσιμα σε συγκριτικές μελέτες Συνεχές δείγμα Καλή απορρόφηση
Ρολά μαλλιών	Υψηλή ικανότητα συλλογής Διακριτά δείγματα Εύκολα στο χειρισμό Άγνωστα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά
Σφουγγαράκια καθαρισμού	Σφουγγαράκια κατασκευασμένα με καθορισμένο βάρος χρησιμοποιήθηκαν στο Γερμανικό πρότυπο αλλά η επιφάνεια συλλογής ποικίλει
Επιφάνεια συλλογής	Χαρακτηριστικά
Πλαστικές ράβδοι διαμέτρου 3 mm	Γνωστή επιφάνεια συλλογής Εύκολος χειρισμός σε συνθήκες αγρού Λογική ικανότητα συλλογής Διακριτά δείγματα
Λωρίδες χαρτιού	Διακριτά δείγματα Τα υδατοευαίσθητα χαρτιά μπορούν να δώσουν αποτέλεσμα ορατό κοντά στο ψεκαστικό
Αντικειμενοφόροι πλάκες μικροσκοπίου	Πενιχρές ικανότητες συλλογής σε κατακόρυφα επίπεδα

Τα υδατοευαίσθητα χαρτιά χρησιμοποιούνται συχνά ως δείκτης για την ύπαρξη εναπόθεσης ψεκαστικού υγρού [14]. Τα υδατοευαίσθητα χαρτιά αποτελούνται από ειδικό φωτογραφικό χαρτί εμποτισμένο με κυανό της βρωμοφαινόλης. Στη μη ιονισμένη μορφή της ουσίας αυτής το χρώμα είναι κίτρινο, όταν όμως εναποτίθεται νερό η χρώση αλλάζει και γίνεται μπλε στα σημεία εναπόθεσης ύδατος [15]. Το νερό αφήνει ίχνη στο υδατοευαίσθητο χαρτί που μπορούν να μετρηθούν Το μέγεθος των σταγόνων μπορεί να υπολογισθεί όταν χρησιμοποιείται εξίσωση βαθμονόμησης για συγκεκριμένη επεξεργασία εικόνας ή είναι γνωστός ο συντελεστής εξάπλωσης [16, 17].
Ο Wolf [18] με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού και επίπεδου σαρωτή ανέλυσε σταγονίδια του ψεκαστικού νέφους που συλλέχθηκαν σε υδατοευαίσθητα χαρτιά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορούν να εκτιμηθούν διαφορές στα χαρακτηριστικά μεγέθη σταγόνων σε εφαρμογές στον αγρό, με τη χρήση μεθόδων ανάλυσης εικόνας, εφόσον τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις.
Ένα από τα προβλήματα που μπορούν να παρουσιασθούν κατά την ανάλυση είναι ότι το χρώμα των μη στιγματισμένων περιοχών αλλάζει όσο η απόσταση μεταξύ των στιγμάτων μικραίνει. Αυτό το πρόβλημα λύνεται με κατάλληλο πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας και κατάλληλες ρυθμίσεις [19].
Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να δώσει μία εικόνα των υπαρχουσών προτάσεων τυποποίησης, κανονισμών, ελέγχων τόσο των καινούργιων όσο και των χρησιμοποιημένων ψεκαστικών καθώς και να δώσει στοιχεία για τη χρήση των υδατοευαίσθητων χαρτιών στη μέτρηση του drifting.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τη μέτρηση του drifting χρησιμοποιήθηκαν υδατοευαίσθητα χαρτιά (WSP) που τοποθετήθηκαν στον οπωρώνα του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Τα υδατοευαίσθητα χαρτιά ήταν της εταιρείας HARDI, και είχαν αναπτυχθεί από την εταιρεία Syngenta. Οι διαστάσεις των χαρτιών ήταν 7,62 X 2,54 cm. Τα δένδρα ήταν ροδακινιές, κατά την περίοδο της άνοιξης όταν η φυλλοστιβάδα είχε μόλις αρχίσει να αναπτύσσεται. Τα διαθέσιμα υδατοευαίσθητα χαρτιά ήταν 108 και τοποθετήθηκαν ανά 6 στην $1^{η}$, $2^{η}$ και $3^{η}$ σειρά αριστερά και δεξιά του νεφελοψεκαστήρα, (αποστάσεις 1, 2 και 3 αντίστοιχα), σε τρεις επαναλήψεις. Η θέση που τοποθετήθηκαν ήταν εσωτερικά, στο κέντρο της κόμης, σε ύψος περίπου 1,70 m, που αντιστοιχούσε στο ενδιάμεσο του ύψους της κόμης. Τα υδατοευαίσθητα χαρτιά ήταν στερεωμένα επάνω σε ένα τεμάχιο χαρτονιού, περίπου διπλάσιου μεγέθους . Η στερέωση των υδατοευαίσθητων χαρτιών επάνω στο χαρτόνι έγινε με 2 μεταλλικούς συνδετήρες στις μικρές πλευρές του χαρτιού. Το χαρτόνι, εξασφάλιζε ακαμψία των υδατοευαίσθητων χαρτιών κατά τον ψεκασμό, την ομοιόμορφη, κατακόρυφη και κάθετη έκθεση της επιφάνειας τους στο ψεκαστικό νέφος και τη σταθερότερη συγκράτηση στα δένδρα. Τα χαρτόνια με τα υδατοευαίσθητα χαρτιά συγκρατήθηκαν με τη βοήθεια πλαστικών τσιμπιδιών πάνω σε κλαδιά των δένδρων.
Οι δοκιμές διεξήχθησαν κατά τις πρωινές ώρες, όταν επικρατούσε νηνεμία. Οι συνθήκες εκτέλεσης του ψεκασμού ήταν οι συνήθεις κατά τον ψεκασμό των δένδρων Για τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε το ψεκαστικό του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας., Ένας αναρτώμενος νεφελοψεκαστήρας με 10 ακροφύσια. Τα ακροφύσια είχαν διάμετρο οπής 1,0 mm και ήταν τύπου κώνου. Η παροχή τους ήταν 1,9 l/min/ακροφύσιο με πίεση λειτουργίας 15 bar. Η ταχύτητα κίνησης του ελκυστήρα ήταν 4 km/h. Οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών των δένδρων ήταν 4,5 m.

Τα υδατοευαίσθητα χαρτιά αφέθηκαν για 15 λεπτά περίπου μετά το πέρας του ψεκασμού ώστε να εξατμισθεί το ψεκαστικό υγρό των εναποθέσεων. Στη συνέχεια συλλέχθηκαν και φυλάχθηκαν σε ερμητικά κλειστά πλαστικά σακουλάκια έως ότου ακολουθήσει η ανάλυση εικόνας. Αυτό έγινε για να αποτραπεί η περαιτέρω απορρόφηση υγρασίας από το περιβάλλον και εξαγωγή εσφαλμένων συμπερασμάτων. Ο όλος χειρισμός των υδατοευαίσθητων χαρτιών έγινε με γάντια ώστε να αποφευχθούν τυχόν αποτυπώματα στην επιφάνεια τους που θα αλλοίωναν τις μετρήσεις. Τα χαρτιά κατόπιν σαρώθηκαν με επιτραπέζιο σαρωτή HP Scanjet 3770 και ανάλυση 600 dpi. Τα μέρη του χαρτιού που καλύπτονταν από το συνδετήρα συγκράτησης του χαρτιού, διαστάσεων 6 mm X 25,4 mm, αφαιρέθηκαν πριν τη σάρωση. Ο σαρωτής είχε ρυθμισθεί να σαρώνει με βάθος χρώματος 1bit (ασπρόμαυρες). Οι εικόνες αφού μετετράπησαν σε TIFF μορφή αρχείου αναλύθηκαν με το πρόγραμμα DT-SCAN της Delta-T Devices και υπολογίσθηκε η επί τοις εκατό κάλυψη της επιφανείας των χαρτιών από το ψεκαστικό υγρό. Η πιο αξιόπιστη παράμετρος που μπορεί να εξαχθεί από τα υδατοευαίσθητα χαρτιά είναι το μέγεθος της καλυπτόμενης επιφάνειας [9, 10]. Η παράμετρος που μετρήθηκε ήταν το ποσοστό της επί τοις εκατό κάλυψης των υδατοευαίσθητων χαρτιών από το ψεκαστικό υγρό. Ο βαθμός επικάλυψης των αποθέσεων στα χαρτιά δεν επέτρεψε την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων όσον αφορά τον αριθμό και το μέσο μέγεθος των σταγόνων των αποθέσεων. Η στατιστική ανάλυση έγινε με το πρόγραμμα MSTAT-C.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει το βαθμό κάλυψης των υδατοευαίσθητων χαρτιών στις τρεις διαφορετικές αποστάσεις που τοποθετήθηκαν.

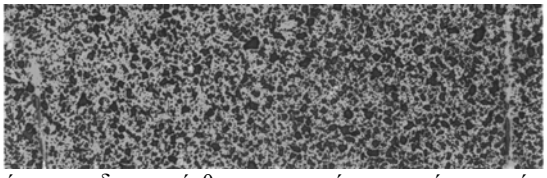
Πίνακας 2. Κάλυψη, επί τοις εκατό, της επιφανείας των υδατοευαίσθητων χαρτιών από το ψεκαστικό διάλυμα.

Απόσταση	Κάλυψη, %
$1^{η}$	51.85a
$2^{η}$	26.4b
$3^{η}$	2.57c
LSD_{05}	6,5
C.V. %	51,6

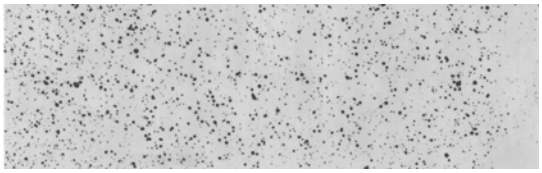
Το ποσοστό κάλυψης μέσα στην κόμη των δένδρων φτάνει περίπου το 52%. Παρατηρούμε ότι ένα ποσοστό του ψεκαστικού υγρού έχει φτάσει έως τη δεύτερη και την τρίτη σειρά δένδρων από αυτήν που ψεκάζεται. Το ποσοστό αυτό δηλώνει ότι έχουμε διασπορά του ψεκαστικού υγρού εκτός του στόχου που είναι η ψεκαζόμενη σειρά των δένδρων. Αυτό είναι ανεπιθύμητο γιατί μπορεί να οδηγήσει σε επιβάρυνση της γειτονικής καλλιέργειας με υπολείμματα φυτοπροστατευτικών προϊόντων ή στην ρύπανση κάποιου γειτνιάζοντος καναλιού ή υδάτινου όγκου γενικότερα. Ο νεφελοψεκασμός πιθανόν να είναι η αιτία διασποράς των φυτοπροστατευτικών ουσιών σε τέτοια απόσταση, σε συνδυασμό με τη μικρή ανάπτυξη της φυλλοστιβάδας. Ο υψηλός συντελεστής παραλλακτικότητας (CV) πιθανόν να οφείλεται σε ακροφύσια που χρειάζονταν αντικατάσταση ή είχαν ανομοιόμορφη κατανομή από οποιαδήποτε αιτία. Η χρήση για συλλογή και μέτρηση του drifting μεθόδων που χρησιμοποιούν συλλέκτες όπως φύλλα χαρτιού mylar, δίνει μεγάλες διαφορές από συλλέκτη σε συλλέκτη στην

ίδια θέση ψεκασμού με συνέπεια ανομοιομορφία στις μετρήσεις και μεγάλο CV. Έχει σημασία να τονιστεί ότι τα δένδρα ήταν μέτριας ανάπτυξης και ότι δεν υπήρξε απορροή προς το έδαφος. Η χρησιμοποίηση ακροφυσίων μεγαλύτερης διαμέτρου και μικρότερης πίεσης εφαρμογής μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του drifting. Η απόδοση του ανεμιστήρα είναι άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει την κατανομή του ψεκαστικού υγρού.

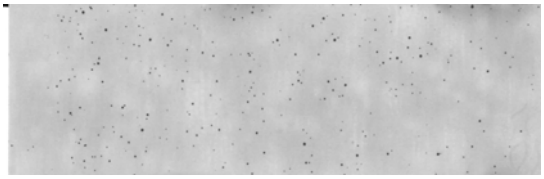
Στα Σχήματα 1, 2 και 3 παρουσιάζονται αντίστοιχα δείγματα των συλλεκτών στις αποστάσεις 1, 2, 3 με τις εναποθέσεις τους. Στα Σχήματα διακρίνονται τα ίχνη από τους συνδετήρες που αφαιρέθηκαν αργότερα κατά την επεξεργασία.



Σχήμα 1. Εικόνα του υδατοευαίσθητου χαρτιού στην πρώτη σειρά των δένδρων.

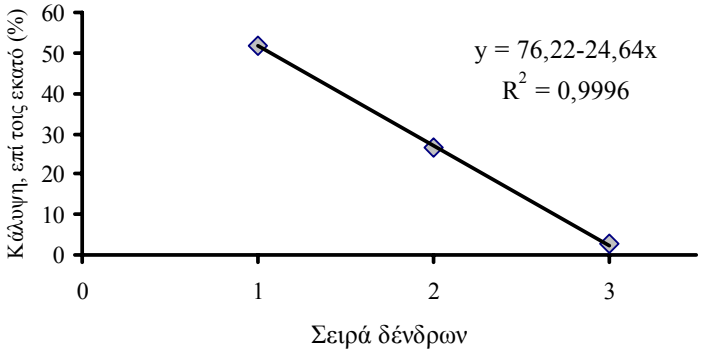


Σχήμα 2. Εικόνα του υδατοτοευαίσθητου χαρτιού στη δεύτερη σειρά των δένδρων.



Σχήμα 3. Εικόνα του υδατοευαίσθητου χαρτιού στην τρίτη σειρά των δένδρων.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται γραφικά η κάλυψη των χαρτιών συναρτήσει με τη θέση της σειράς των δένδρων, η γραμμή τάσης και η αντίστοιχη συσχέτιση. Οι μέσοι όροι της κάλυξης έχουν εξαχθεί από συνολικά 36 (3X12) υδατοευαίσθητα χαρτιά ο καθένας.



Σχήμα 4. Γραφική παράσταση κάλυψης υδατοευαίσθητων χαρτιών, επί τοις εκατό της επιφάνειας τους, σε σχέση με τη σειρά των δένδρων.

Έγινε προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων για τον υπολογισμό του μέσου μεγέθους των εναποθέσεων αλλά τα χαρτιά παρουσίαζαν μεγάλο αριθμό επικαλυπτόμενων ιχνών που δεν επέτρεπε την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Είναι όμως χαρακτηριστικό ότι το μέγεθος του drifting μπορεί να ελεγχθεί σχετικά εύκολα στο χωράφι.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα προηγούμενα μπορεί να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Υπάρχουν διαθέσιμα διάφορα πρότυπα για το έλεγχο των ψεκαστικών, καινούργιων και μεταχειρισμένων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη χώρα μας από εργαστήρια που θα ιδρυθούν γι' αυτό το σκοπό.
2. Ιδιαίτερα οι έλεγχοι των μεταχειρισμένων ψεκαστικών θα βοηθήσουν στην εφαρμογή συστημάτων ολοκληρωμένης διαχείρισης παραγωγής.
3. Η χρήση υδατοευαίσθητων χαρτιών μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση του drifting στο χωράφι και να συμβάλλει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων του ψεκασμού σε γειτονικές καλλιέργειες και στο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργόπουλος Σ.Γ., Ζιώγας Β.Ν.. 1992. Αρχές και μέθοδοι καταπολέμησης των ασθενειών των φυτών. Αθήνα, 236σελ.
2. Ελευθεροχωρινός Η.Γ.. 2001. Η φυτοπροστασία στην ολοκληρωμένη διαχείριση της παραγωγής. *Πρακτικά 3ης Πανελλήνιας Συνάντησης Φυτοπροστασίας.* Λάρισα. 9-22.
3. Γέμτος Θ.Α.. 2001. Η εκμηχάνιση γεωργικών εργασιών στην ολοκληρωμένη διαχείριση παραγωγής. *Πρακτικά 3ης Πανελλήνιας Συνάντησης Φυτοπροστασίας.* Λάρισα. 365-375.
4. Guidelines for the organisation of schemes for testing and certification of spray equipment in use. 2001. FAO. Rome.
5. Guidelines on good practice of ground application of pesticides. 2001. FAO. Rome.

6. Guidelines on minimum requirements for agricultural pesticide application equipment Vls I-III. 2001. FAO. Rome.
7. Guidelines on standards for agricultural pesticide application equipment and related test procedures Vls I-II. 2001. FAO. Rome.
8. Technical instructions for ENTAM-Tests of air assisted sprayers
9. Technical instructions for ENTAM-Tests of field crop sprayers
10. Πρότυπο EN 13790.01 Γεωργικά μηχανήματα – Ψεκαστήρες – Έλεγχος ψεκαστήρων κατά την χρήση – Μέρος 1: Ψεκαστήρες για καλλιέργειες μικρού ύψους. 2003. ΕΛΟΤ. Αθήνα.
11. Πρότυπο EN 13790.02 Γεωργικά μηχανήματα – Ψεκαστήρες – Έλεγχος ψεκαστήρων κατά την χρήση – Μέρος 2: Υποβοηθούμενοι με αέρα ψεκαστήρες για θαμνώδεις και δενδρώδεις καλλιέργειες. 2003. ΕΛΟΤ. Αθήνα.
12. Miller, P.C.H.. 1993. Spray drift and its measurement. In: G.A. Matthews and E.C. Hislop (Eds) Application Technology for Crop Protection. CAB International. Wallingford. 359 σελ.
13. Wolf, R.E.. 2000. Strategies to reduce spray drift. Kansas State University.
14. Matthews, G.A.. 1979. Pesticide Application Methods. Longman Inc., New York. 336 σελ.
15. Cooke B.K., Hislop, E.C.. 1993. Spray tracing techniques. In: G.A. Matthews and E.C. Hislop (Eds) Application Technology for Crop Protection. CAB International. Wallingford 359 σελ.
16. Smith, C.W., Womac, A.R., Wiliford, J.R., Mulrooney, J.E., and Hart, W.E.. 1997. Optiming chemical delivery with discrete spray bands over the row. ASAE Paper No. 971040. St. Joseph, Mich.: ASAE.
17. Syngenta. 2002. Wter sensitive paper for monitoring spray distributions. CH-4002. Basle, Switzerland: Syngenta Crop Protection AG.
18. Wolf, R.E.. 2003. Technical note: Assesing the ability of DropletScan™ to analyze spray droplets from a ground operated sprayer. *Applied Engineering in Agriculture.* 19 (5) 525-530.
19. Panneton, B.. 2002. Image analysis of water-sensitive cards for spray cover experiments. *Applied Engineering in Agriculture.* 18 (2) 179-182.

ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ – ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ & ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Χ. Σακκάς, Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος

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 τα ευρωπαϊκά πρότυπα ελέγχου και δοκιμών των μηχανημάτων φυτοπροστασίας, EN 907:1997, EN 12761:2001 και EN 13790:2003, που καθορίζουν το ελάχιστο αποδεκτό όριο ποιότητας αυτών και αφορούν στην ασφάλεια, τις αποδόσεις και την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, παρατίθεται η υφιστάμενη σήμερα στον Ευρωπαϊκό χώρο κατάσταση από πλευράς ελέγχων και δοκιμών των εν λόγω μηχανημάτων, αναφέρονται οι επικρατούσες απόψεις στη Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος της Ε.Ε. και παρουσιάζονται δράσεις σε εξέλιξη για τη βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης στη χώρα μας.

INSPECTION OF NEW SPRAYERS AND SPRAYERS IN USE IN EUROPE – REGULATIONS AND LEGISLATION

Ch. Sakkas, A. Papayiannopoulou, G. Parissopoulos

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

The objective of this study is to present the European standards EN 907:1997, EN 12761:2001 and EN 13790:2003, which determine the minimum acceptable quality level of mounted, air-assisted and self-propelled sprayers and concern to safety, performance and environmental protection. Furthermore, the current situation concerning control and testing in European countries, as well as the intentions of the DG Environment of E.U. are referred. Finally suggestions are made towards the improvement of the situation in Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας επιδιώκεται μεταξύ άλλων με την ευρεία εφαρμογή φυτοπροστατευτικών προϊόντων, τα οποία ως υδατικά διαλύματα ψεκάζονται με τη χρήση μηχανημάτων φυτοπροστασίας (ψεκαστικά). Τα εν λόγω μηχανήματα υπόκεινται στην υποχρεωτικής εφαρμογής Οδηγία 98/37/ΕΚ [1], η οποία απαιτεί σήμανση CE και καθορίζει τις θεμελιώδεις απαιτήσεις υγιεινής και ασφάλειας, τις οποίες ο κατασκευαστής πρέπει να καλύπτει τόσο για τη συνήθη λειτουργία αυτών, όσο και για τις πέραν αυτής λογικά αναμενόμενες χρήσεις. Προκειμένου να εξειδικευθούν οι κίνδυνοι και να περιοριστεί η περιβαλλοντική υποβάθμιση που εγκυμονεί η χρήση των μηχανημάτων αυτών, η Τεχνική Επιτροπή (ΤC) 144 "Ελκυστήρες και μηχανήματα για τη γεωργία και τη δασοκομία" της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN) στηριζόμενη στο τρίπτυχο ασφάλεια, προστασία περιβάλλοντος, μειωμένες εισροές φυτοφαρμάκων συνέταξε τα ακόλουθα πρότυπα:

- EN 907:1997 "Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Safety" [2],
- EN 12761-1:2001 "Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 1: General" [3],
- EN 12761-2:2001 "Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 2: Field crop sprayers" [4],
- EN 12761-3:2001 "Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 3: Air-assisted sprayers for bush and tree crops" [5],
- EN 13790-1:2003 "Agricultural machinery – Sprayers – Inspection of sprayers in use – Part 1: Field crop sprayers" [6] και
- EN 13790-2:2003 " Agricultural machinery – Sprayers – Inspection of sprayers in use – Part 2: Air-assisted sprayers for bush and tree crops" [7].

Παράλληλα, το Ευρωπαϊκό δίκτυο για τις δοκιμές γεωργικών μηχανημάτων ENTAM (**E**uropean **N**etwork for **T**esting of **A**gricultural **M**achines), βασιζόμενο στα ανωτέρω πρότυπα και στην πολυετή εμπειρία από τη χρήση μηχανημάτων φυτοπροστασίας εκπόνησε τεχνικές οδηγίες για τις δοκιμές αυτών, οι οποίες περιλαμβάνουν πρόσθετες απαιτήσεις, επιδιώκοντας συμβατότητα και αμοιβαία αναγνώριση των συγκεκριμένων δοκιμών σε ολόκληρο τον ευρωπαϊκό χώρο [8].

Επειδή η εφαρμογή των προτύπων και των πάσης φύσεως τεχνικών προδιαγραφών είναι προαιρετική, το καθεστώς, που διέπει τους ελέγχους ψεκαστικών μηχανημάτων εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ποικίλει. Κάθε κράτος-μέλος είναι υπεύθυνο για το χαρακτήρα των ελέγχων (υποχρεωτικό ή προαιρετικό), σε ποια μηχανήματα θα γίνει (καινούρια ή εν χρήσει) και για την υποχρεωτική ή μη συμμόρφωση με τα προαναφερόμενα πρότυπα.

Ειδικότερα, για τα εν χρήσει μηχανήματα (νεφελοψεκαστήρες και ψεκαστικά μεγάλων καλλιεργειών) οι περιοδικοί έλεγχοι είναι υποχρεωτικοί στη Γερμανία, Πολωνία, Ολλανδία, Ουγγαρία, Ισπανία, Βέλγιο, και Νορβηγία (2006) και προαιρετικοί στη Σουηδία και Βρετανία. Στην Ιταλία, Σλοβακία, Ελβετία, Λιθουανία και Τσεχία οι ως άνω έλεγχοι είναι υποχρεωτικοί μόνο σε κάποιες περιφέρειες των χωρών αυτών. Η συχνότητα των περιοδικών ελέγχων ποικίλει από ένα έως και πέντε χρόνια. Διακρίνονται δύο προσεγγίσεις πραγματοποίησης των εν λόγω ελέγχων-δοκιμών βάσει της σειράς προτύπων EN 13790. Η μία, η οποία έχει υιοθετηθεί κατά κύριο λόγο από τη Γερμανία, προβλέπει την ανάπτυξη ενός περιφερειακού δικτύου μονίμων κέντρων ελέγχου, ιδιωτικής πρωτοβουλίας, τα οποία είναι εξουσιοδοτημένα από την πολιτεία για

τον περιοδικό έλεγχο των ψεκαστικών μηχανημάτων. Η δεύτερη, που εφαρμόζεται στο Βέλγιο και την Ισπανία, περιλαμβάνει κινητά εργαστήρια, τα οποία περιοδεύουν ανά την επικράτεια και διενεργούν ελέγχους. Το κόστος εκάστου κινητού εργαστηρίου ανέρχεται σε περίπου 50.000 €. Στην Ελλάδα οι δοκιμές καινούριων ψεκαστικών μηχανημάτων είναι προαιρετικές, ενώ δεν διενεργούνται περιοδικοί έλεγχοι.
Η Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προκειμένου να συμβάλλει στην απρόσκοπτη διακίνηση των εν λόγω μηχανημάτων εντός των κρατών-μελών και των υπό ένταξη χωρών, προσανατολίζεται στην έκδοση/τροποποίηση οδηγίας για τον υποχρεωτικό έλεγχο όλων των μηχανημάτων φυτοπροστασίας, καινούριων και εν χρήσει, σύμφωνα με τα προαναφερόμενα πρότυπα [9].
Το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./Ι.ΓΕ.Μ.Κ. πραγματοποιεί, μετά από αίτηση του κατασκευαστή, ελέγχους και δοκιμές των εν λόγω μηχανημάτων σύμφωνα με τα ανωτέρω πρότυπα και τεχνικές οδηγίες, πιστοποιώντας τη συμμόρφωσή τους ή μη με τις σύγχρονες απαιτήσεις. Από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων έχουν αναληφθεί επίσης πρωτοβουλίες τόσο για τη βελτίωση του υφιστάμενου πλαισίου ελέγχου, όσο και για τη δημιουργία σύγχρονων, σταθερών και κινητών εργαστηριακών υποδομών για τις δοκιμές των μηχανημάτων φυτοπροστασίας.
Παρά την από καιρού έκδοση των προαναφερόμενων προτύπων, ο κλάδος των κατασκευαστών δεν έχει την αναμενόμενη ενημέρωση και εξοικείωση με αυτά, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σοβαρές αποκλίσεις από τις ελάχιστες απαιτήσεις τους [10]. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα στοιχεία που ελέγχονται κατά τις δοκιμές και προτείνονται δράσεις για την αναβάθμιση της ποιότητας των παραγόμενων στην Ελλάδα μηχανημάτων φυτοπροστασίας.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.1 Έλεγχοι και δοκιμές βάσει του προτύπου EN 907:1997

Το πρότυπο εξειδικεύει τις βασικές απαιτήσεις ασφάλειας και υγιεινής της οδηγίας 98/37/ΕΚ, όσον αφορά στους νεφελοψεκαστήρες και στους ψεκαστήρες μεγάλων καλλιεργειών και περιγράφει τρόπους ελάττωσης των κινδύνων που εγκυμονεί η χρήση τους και η εφαρμογή των προϊόντων φυτοπροστασίας.
Οι επί μέρους απαιτήσεις του προτύπου αναφέρονται στα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή των μηχανημάτων και τα πληροφοριακά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη χρήση τους.

2.1.1 Μέτρα ασφαλείας

- Δυνατότητα χειρισμού του μηχανήματος με χρήση των απαραίτητων μέσων ατομικής προστασίας και εκτέλεσης εργασιών συντήρησης αντλίας και φίλτρων χωρίς διαρροές από τη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού (§ 4.1).
- Ύπαρξη προφυλακτήρων προ των κινουμένων μερών μετάδοσης ισχύος (§ 4.2).
- Εξασφάλιση σταθερότητας σε κάθε κατεύθυνση κατά τη στάθμευση του μηχανήματος με πλήρεις ή κενές τις δεξαμενές, με ή χωρίς τον πρόσθετο εξοπλισμό (§ 4.3.1). Ειδικά για ψεκαστήρες, οι οποίοι φέρουν τροχούς μεταφοράς, πρέπει να εξασφαλίζεται η μη ανατροπή τους (§ 4.3.2).
- Δυνατότητα ανάπτυξης-σύμπτυξης, ασφάλισης κατά τη μεταφορά, ρύθμισης ύψους και καθετότητας βραχιόνων μέσω καταλλήλων διατάξεων. Ειδικότερα, για μηχανήματα με βραχίονες εμπρός, απαιτείται προστασία του χειριστή από το ψεκαστικό υγρό (§ 4.4).

- Αποτροπή εκροής ψεκαστικού διαλύματος και επαφής με χημικές ουσίες κατά την πλήρωση και εκκένωση της δεξαμενής ψεκαστικού υγρού με τήρηση συγκεκριμένων αποστάσεων και ύπαρξη κατάλληλου πλέγματος στην οπή πλήρωσης, άνοιγμα οπής εκκένωσης χωρίς χρήση εργαλείου και κατεύθυνση ροής μακριά από το χειριστή (§ 4.5).
- Τοποθέτηση πιεσόμετρου σε σημείο, όπου οι ενδείξεις είναι ευκρινείς από τη θέση του χειριστή. Τα αναλογικά πιεσόμετρα πρέπει να έχουν κατάλληλη διάμετρο και να διαθέτουν κόκκινη ένδειξη στο επιτρεπόμενο εύρος λειτουργίας (§ 4.6).
- Ύπαρξη βαλβίδας ασφαλείας, που να αποτρέπει υπέρβαση του ορίου της πίεσης λειτουργίας και εκτόνωση αυτής άνευ εκροής εκτός του κυκλώματος (§ 4.7).
- Ύπαρξη κατάλληλων προφυλακτήρων ανεμιστήρα και δυνατότητα απεμπλοκής του από την αντλία (§ 4.8).
- Αποτροπή επιστροφής ψεκαστικού υγρού στην πηγή μέσω της διάταξης πλήρωσης (§ 4.9).
- Ύπαρξη διάταξης αντισταγονικού τύπου (§ 4.10).
- Ύπαρξη δοχείου καθαρού νερού, εξοπλισμένου με κρουνό και απομονωμένου από τα λοιπά μέρη του μηχανήματος (§ 4.11).
- Επιλογή χειροκίνητων διατάξεων ψεκασμού, κατάλληλα σχεδιασμένων για την αποφυγή ακούσιας λειτουργίας (§ 4.12).

2.1.2 Πληροφοριακά στοιχεία απαραίτητα για τη χρήση του μηχανήματος

- Το εγχειρίδιο οδηγιών χρήσης και συντήρησης πρέπει να περιλαμβάνει κατανοητές οδηγίες και πληροφορίες για όλα τα θέματα συντήρησης και ασφαλούς λειτουργίας (§ 5.1). Ειδικότερα, δίδεται έμφαση στην επαναλειτουργία του μηχανήματος μετά τη χειμερινή περίοδο, τη ρύθμιση της πίεσης, τις ρυθμίσεις σε περίπτωση χρήσης ποικίλων ακροφυσίων, τη διαδικασία ανάπτυξης-σύμπτυξης των βραχιόνων ψεκασμού, τον καθαρισμό του κυκλώματος ψεκασμού πριν από οποιαδήποτε παρέμβαση συντήρησης, την αντιμετώπιση προβλημάτων στον αγρό, τη λήψη μέτρων ατομικής προστασίας έναντι μολύνσεων (κατάλληλος ρουχισμός, χρήση εξοπλισμού για την εισαγωγή των χημικών ουσιών στη δεξαμενή κλπ.) σε όλα τα στάδια χρήσης (πλήρωση, ψεκασμός, ρυθμίσεις, εκκένωση και καθαρισμός, αλλαγή χημικών ουσιών και συντήρηση), την απαγόρευση χρήσης βραχιόνων ψεκασμού προσαρμοσμένων εμπρός όταν ο ελκυστήρας δεν φέρει θάλαμο ασφαλείας, την απαγόρευση εισόδου στη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού, τον κίνδυνο επαφής μεταλλικών μερών με γραμμές μεταφοράς ισχύος και τις διαδικασίες στάθμευσης του μηχανήματος.
- Να υπάρχει σήμανση, ευανάγνωστη και ανεξίτηλη (§ 5.2). Τα σημεία που σημαίνονται με τα απαραίτητα στοιχεία είναι το μηχάνημα (όνομα και διεύθυνση κατασκευαστή, έτος κατασκευής, επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας, απόβαρο, μέγιστη μάζα, ταχύτητα και φορά περιστροφής, μέγιστη απορροφούμενη ισχύς σε kW, απαγόρευση εισόδου στη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού, πλήρωση δεξαμενής καθαρού νερού μόνο με κατάλληλο νερό), η αντλία (όνομα και διεύθυνση κατασκευαστή, σειριακός αριθμός, μέγιστη παροχή, μέγιστη πίεση, ονομαστική και μέγιστη ταχύτητα περιστροφής) και οι ελαστικοί σωλήνες (επιτρεπόμενη πίεση).

2.2 Έλεγχοι και δοκιμές βάσει της σειράς προτύπων ΕΝ 12761:2001

Η σειρά προτύπων ΕΝ 12761:2001 αποτελείται από τρία μέρη, τα οποία αναφέρονται στις γενικές αρχές σχεδιασμού των μηχανημάτων φυτοπροστασίας, τους ψεκαστήρες μεγάλων καλλιεργειών και τους νεφελοψεκαστήρες αντίστοιχα, τονίζοντας ιδιαίτερα την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος.

2.2.1 Απαιτήσεις EN 12761:2001-Μέρος 1

Περιέχει ορισμούς και γενικές οδηγίες, για τη χρήση των ψεκαστικών μηχανημάτων με στόχο τη σωστή εφαρμογή των φυτοφαρμάκων και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι γενικές αρχές που επιβάλλει να τηρούνται είναι:

- Αξιοπιστία, των μηχανημάτων και των εξαρτημάτων τους.
- Ασφαλής χειρισμός, επιτήρηση και δυνατότητα άμεσης διακοπής λειτουργίας από τη θέση του οδηγού.
- Εύκολη και ασφαλής πλήρωση και εκκένωση με σαφή προσδιορισμό των ποσοτήτων.
- Σήμανση ακροφυσίων και φίλτρων, πέραν των προβλεπομένων στο EN 907:1997.
- Ασφαλής, ακριβής και επαναλήψιμη ρύθμιση του όγκου εφαρμογής.
- Ομοιόμορφη κατανομή, επαρκής απόθεση του προϊόντος φυτοπροστασίας και ελαχιστοποίηση απωλειών σε μη επιθυμητές περιοχές.
- Το εγχειρίδιο οδηγιών χρήσης και συντήρησης, το οποίο να αναφέρεται, εκτός των προβλεπομένων στο EN 907:1997, στον πρόσθετο εξοπλισμό, τις συνθήκες χρήσης και τις αντίστοιχες ρυθμίσεις του μηχανήματος, την αποφυγή διασποράς των σταγόνων, το συνολικά παραμένοντα όγκο, την εκκένωση και τον καθαρισμό, τον έλεγχο του όγκου εφαρμογής, το άνοιγμα των φίλτρων, την απαγόρευση χρήσης συγκεκριμένων προϊόντων φυτοπροστασίας, τις απαραίτητες προετοιμασίες για διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και τον έλεγχο του ψεκαστήρα.

2.2.2 Απαιτήσεις EN 12761:2001-Μέρος 2 & 3

Το δεύτερο (αφορά στους ψεκαστήρες μεγάλων καλλιεργειών) και το τρίτο (αφορά στους νεφελοψεκαστήρες) μέρος της σειράς περιλαμβάνουν κυρίως κοινές απαιτήσεις. Διαφοροποιούνται στους βραχίονες ψεκασμού, οι οποίοι φέρονται μόνο από ψεκαστήρες μεγάλων καλλιεργειών, και στη κατανομή υγρού, δεδομένου ότι στους νεφελοψεκαστήρες αυτή υποβοηθείται από την ύπαρξη ανεμιστήρα. Πιο συγκεκριμένα προβλέπονται:

- Δεξαμενή ψεκαστικού υγρού (4.1.1):
  - Μέγιστη τιμή τραχύτητας εξωτερικών και εσωτερικών τοιχωμάτων (§ 4.1.1.1),
  - Ελάχιστος όγκος πλήρωσης, διατάξεις πλήρωσης που να αποτρέπουν την επιστροφή υγρού στην πηγή, ερμητική ασφάλιση πώματος οπής πλήρωσης, διάμετρος οπής πλήρωσης και φίλτρα πλήρωσης με κατάλληλα βάθη, διαστάσεις πλέγματος και ικανότητα πλήρωσης (§ 4.1.1.2),
  - Διάταξη εκκένωσης του υπολείμματος, όταν ο ψεκαστήρας βρίσκεται σε οριζόντια θέση που να ασφαλίζεται έναντι ακούσιου ανοίγματος (§ 4.1.1.3),
  - Ογκομετρική ένδειξη συνεχής και εύκολα ορατή από τη θέση του οδηγού και τη θέση πλήρωσης, με καθορισμένη απόκλιση (§ 4.1.1.4),
  - Ικανοποιητική ανάδευση (§ 4.1.1.5).
- Ελαστικοί σωλήνες χωρίς παραμορφώσεις που παρεμποδίζουν τη ροή (§ 4.1.2).
- Βραχίονες ψεκασμού (EN 12761-2, § 4.1.3):
  - Μέγιστο μήκος τομέων και δυνατότητα μεμονωμένης χρήσης αυτών (§ 4.1.3.1),
  - Εύρος πεδίου ρύθμισης ύψους και βήμα, αποφυγή ψεκασμού του μηχανήματος ανεξάρτητα της απόστασης από το έδαφος και δυνατότητα υποχώρησης και αυτόματης επαναφοράς σε περίπτωση επαφής με εμπόδια (§ 4.1.3.2),
- Φίλτρα (EN 12761-2 § 4.1.4, EN 12761-3 § 4.1.3):
  - Ύπαρξη φίλτρου αναρρόφησης σε ψεκαστήρες εξοπλισμένους με αντλία θετικής μετατόπισης και κεντρικού φίλτρου στην κατάθλιψη ή επιμέρους φίλτρων στις γραμμές, με άνοιγμα πλέγματος αντίστοιχο του μεγέθους των ακροφυσίων,
  - Δυνατότητα υπόδειξης των εμφράξεων στον χειριστή,

- Δυνατότητα καθαρισμού του κεντρικού φίλτρου με τη δεξαμενή πλήρη έως την ονομαστική της χωρητικότητα, χωρίς διαρροή ψεκαστικού υγρού.

- Ακροφύσια (EN 12761-2 § 4.1.5, EN 12761-3 § 4.1.4):
  - Εγκατάσταση σε προκαθορισμένες θέσεις και διασφάλιση της επιθυμητής κατεύθυνσης του ψεκασμού,
  - Ύπαρξη διάταξης αποτροπής διαρροών,
  - Προστασία ακραίων ακροφυσίων βραχιόνων από ζημιές λόγω επαφής με το έδαφος,
  - Προκαθορισμένη απόκλιση παροχής από τους πίνακες του κατασκευαστή.
- Συστήματα μέτρησης (EN 12761-2 § 4.1.6, EN 12761-3 § 4.1.5),
  - Κατάλληλη τοποθέτηση πιεσόμετρου, χειριστηρίου και ογκομετρικής ένδειξης δεξαμενής ψεκαστικού υγρού, ώστε να είναι ευκρινώς αναγνώσιμα από τη θέση του χειριστή,
  - Μέγιστες αποκλίσεις από την πραγματική τιμή,
  - Συγκεκριμένη διακριτικότητα και ακρίβεια πιεσόμετρου.
- Ρύθμιση της αέριας και υγρής ροής (EN 12761-3 § 4.1.8):
  - Δυνατότητα διακοπής λειτουργίας του ανεμιστήρα ανεξάρτητα από λοιπά δυναμοδοτούμενα μέρη του μηχανήματος,
  - Δυνατότητα διακοπής ψεκασμού ανεξάρτητα για κάθε πλευρά,
  - Δυνατότητα διακοπής λειτουργίας κάθε ακροφυσίου χωριστά και ρύθμισης της κατεύθυνσης ψεκασμού του.
- Ρύθμιση του όγκου εφαρμογής (§ 4.2):
  - Δυνατότητα διατήρησης σταθερής πίεσης σε σταθερές στροφές της αντλίας και επαναφοράς της πίεσης λειτουργίας (§ 4.2.1),
  - Δυνατότητα διατήρησης σταθερής αναλογίας όγκου ανά επιφάνεια για επαναλαμβανόμενες ρυθμίσεις του όγκου εφαρμογής με σταθερή ταχύτητα πρόωσης και σταθερές στροφές του δυναμοδότη (§ 4.2.2),
  - Προκαθορισμένη πτώση πίεσης μεταξύ χειριστηρίου - ακροφυσίων (§ 4.2.3),
  - Ύπαρξη δοχείου δοσολογίας (§ 4.2.4),
- Κατανομή (§ 4.3):
  - Δυνατότητα ισοκατανομής ψεκαστικού υγρού στις δύο πλευρές (§ 4.3.1),
  - Μέγιστη απόκλιση παροχής εκάστου ακροφυσίου από τη μέση παροχή του συνόλου των ακροφυσίων και τους πίνακες παροχής του κατασκευαστή (§ 4.3.1),
  - Μέγιστη απόκλιση παροχής ανεμιστήρα από την ονομαστική και δυνατότητα ρύθμισης, ώστε η ταχύτητα εξόδου του αέρα να είναι συμμετρική στην δεξιά και την αριστερή πλευρά (EN 12761-3, § 4.3.2).
  - Δυνατότητα ελέγχου διασποράς του ψεκαστικού υγρού (EN 12761-2, § 4.3.2).
- Δεξαμενή απόπλυσης (§ 4.4):
  - Ύπαρξη μιας τουλάχιστον δεξαμενής νερού για την απόπλυση του εξοπλισμού, χωρητικότητας ικανής να διαλύσει το συνολικά παραμένοντα όγκο,
  - Κατάλληλη σύνδεση δεξαμενής, ώστε να είναι δυνατή η απόπλυση του συστήματος διανομής – εκτόξευσης με γεμάτη τη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού.

2.3 Έλεγχοι και δοκιμές βάσει της σειράς προτύπων ΕΝ 13790:2003

Η σειρά καθορίζει τις απαιτήσεις και τις μεθόδους πιστοποίησης για τα εν χρήσει μηχανήματα φυτοπροστασίας όσον αφορά στην ασφάλεια, τον ενδεχόμενο κίνδυνο περιβαλλοντικής υποβάθμισης και την αποτελεσματική και ορθή εφαρμογή των φυτοφαρμάκων. Αποτελείται από δύο μέρη, (το πρώτο αναφέρεται στα ψεκαστικά

μεγάλων καλλιεργειών και το δεύτερο στους νεφελοψεκαστήρες), που περιλαμβάνουν κυρίως κοινές απαιτήσεις και διαφοροποιούνται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.
Ειδικότερα, απαιτούνται τα ακόλουθα:

- Εξαρτήματα μετάδοσης ισχύος (§ 4.1):
  - Τα εξαρτήματα του άξονα μετάδοσης ισχύος (P.T.O.), οι συνδέσεις και οι διατάξεις ασφάλισης πρέπει να λειτουργούν σωστά και να μην παρουσιάζουν σημάδια προϊούσης φθοράς. Επίσης για τον άξονα, να υπάρχει κατάλληλος προφυλακτήρας σε καλή κατάσταση με αξιόπιστη διάταξη ανάσχεσης περιστροφής του και κατάλληλο υποστήριγμα.
  - Οι διατάξεις προστασίας και τα κινούμενα εξαρτήματα μετάδοσης κίνησης να λειτουργούν απρόσκοπτα.
- Τα εξαρτήματά του ανεμιστήρα να μην παρουσιάζουν μηχανικές παραμορφώσεις, φθορές, διάβρωση, δονήσεις και να υπάρχει προφυλακτήρας (EN 13790-2, § 4.1.3).
- Αντλία (§ 4.2):
  - Τα χαρακτηριστικά της να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του εξοπλισμού (πραγματική παροχή τουλάχιστον στο 90% της ονομαστικής και ικανότητα λειτουργίας του μηχανήματος στη μέγιστη πίεση με το μεγαλύτερο ακροφύσιο και με διατήρηση ορατής ανάδευσης),
  - Η λειτουργία της να μην συνοδεύεται από ορατούς παλμούς και διαρροές,
  - Αξιόπιστη λειτουργία της βαλβίδας ασφαλείας στην κατάθλιψη (εάν υπάρχει).
- Η ανάδευση του ψεκαστικού υγρού να είναι ορατή στις ονομαστικές στροφές του P.T.O., όταν η δεξαμενή είναι γεμάτη κατά το ήμισυ (§ 4.3).
- Δεξαμενή ψεκαστικού υγρού (§ 4.4):
  - Απουσία διαρροών από τη δεξαμενή ή την οπή πλήρωσης, με κλειστό πώμα,
  - Ύπαρξη φίλτρου σε καλή κατάσταση στην οπή πλήρωσης,
  - Δυνατότητα εξισορρόπησης πίεσης δεξαμενής ψεκαστικού υγρού,
  - Ύπαρξη επί της δεξαμενής ενός ευκρινώς αναγνώσιμου δείκτη στάθμης υγρού, ορατού από τη θέση οδήγησης και πλήρωσης της δεξαμενής,
  - Δυνατότητα εκκένωσης-συλλογής ψεκαστικού υγρού, χωρίς εργαλεία και έκχυση,
  - Αξιόπιστη λειτουργία της διάταξης αντεπιστροφής του νερού στην πηγή πλήρωσης,
  - Αξιόπιστη λειτουργία του δοχείου εισαγωγής χημικού προϊόντος (αν υπάρχει) και της διάταξης καθαρισμού συσκευασιών.
- Συστήματα μέτρησης, έλεγχων και ρύθμισης (§ 4.5):
  - Αξιόπιστη λειτουργία και στεγανότητα όλων των διατάξεων μέτρησης, έναρξης-παύσης λειτουργίας και ρύθμισης πίεσης και παροχής,
  - Διατήρηση σταθερής πίεσης λειτουργίας σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής της αντλίας. Μετά από διακοπή και επανέναρξη της λειτουργίας του ψεκαστήρα, η πίεση λειτουργίας πρέπει να επιστρέψει στην αρχική της τιμή (EN 13790-2, § 4.5.2),
  - Κατάλληλη τοποθέτηση των οργάνων ελέγχου ψεκασμού, ώστε να είναι εύκολη η προσέγγιση, η λειτουργία τους και η ανάγνωση των παρεχόμενων πληροφοριών,
  - Δυνατότητα ταυτόχρονης έναρξης και παύσης λειτουργίας όλων των ακροφυσίων,
  - Δυνατότητα λειτουργίας μόνο μιας πλευράς (EN 13790-2, § 4.5.4),
  - Κατάλληλη κλίμακα, ακρίβεια και διακριτικότητα πιεσόμετρου,
  - Μέγιστο σφάλμα λοιπών διατάξεων μέτρησης.
- Οι εύκαμπτοι σωλήνες να μην παρουσιάζουν διαρροές στη μέγιστη δυνατή πίεση του συστήματος, να έχουν τοποθετηθεί κατάλληλα, ώστε να μην παρουσιάζουν οξείες

κάμψεις, να μην υπάρχουν αμυχές που καθιστούν τις ίνες ύφανσης ορατές (§ 4.6) και να αποφεύγεται η ανάρτησή τους εντός του εύρους ψεκασμού (EN 13790-2, § 4.6.3).

- Διήθηση (§ 4.7):
  - Καλή κατάσταση και κατάλληλο μέγεθος πλέγματος φίλτρων,
  - Ύπαρξη τουλάχιστον ενός φίλτρου στην κατάθλιψη της αντλίας και σε περίπτωση αντλιών θετικής μετατόπισης και στην αναρρόφηση,
  - Δυνατότητα καθαρισμού φίλτρων με τη δεξαμενή πλήρη έως την ονομαστική της χωρητικότητα, χωρίς διαρροή ψεκαστικού υγρού.
  - Δυνατότητα αλλαγής πλεγμάτων εισαγωγής.
- Βραχίονες ψεκασμού (EN 13790-1, § 4.8):
  - Να είναι σταθεροί προς όλες τις κατευθύνσεις, ευθείς, να ασφαλίζονται στη θέση μεταφοράς και τα σκέλη τους να είναι ίσου μήκους,
  - Τα ακροφύσια να ισαπέχουν, ο προσανατολισμός τους να είναι ομοιόμορφος και να υπάρχει διάταξη προστασίας τους, σε περίπτωση επαφής με το έδαφος,
  - Ανεξαρτήτως της απόστασης του βραχίονα από το έδαφος, να μην ψεκάζεται καθόλου υγρό επάνω στο μηχάνημα,
  - Δυνατότητα ανεξάρτητης έναρξης και παύσης λειτουργίας των τομέων του,
  - Καλή λειτουργία διατάξεων ρύθμισης ύψους και αποτροπής ακούσιων κινήσεων,
  - Μέγιστη πτώση πίεσης κατά μήκος των βραχιόνων.
- Ακροφύσια (EN 13790-1, § 4.9, EN 13790-2, § 4.8):
  - Να παρουσιάζουν ομοιομορφία (τύπος, μέγεθος) κατά μήκος του βραχίονα, εκτός από τα σημεία, όπου έχουν συγκεκριμένη λειτουργία,
  - Ύπαρξη διάταξης αποτροπής διαρροών,
  - Δυνατότητα διακοπής λειτουργίας καθενός ξεχωριστά, ανεξαρτήτως τύπου, και ρύθμισης της θέσης τους συμμετρικά και επαναλήψιμα (EN 13790-2).
- Κατανομή (EN 13790-1, § 4.10, EN 13790-2, § 4.9):
  - Μέγιστη απόκλιση παροχής κάθε ακροφυσίου από την ονομαστική και από τη μέση παροχή όλων των ταυτόσημων ακροφυσίων,
  - Ομοιόμορφη κατανομή σε όλο το εύρος ψεκασμού (EN 13790-1, § 4.10.1)
  - Ομοιόμορφη δέσμη ψεκασμού για κάθε ακροφύσιο (EN 13790-2, § 4.9.1),
  - Ομοιόμορφη κατανομή υγρού στις δύο πλευρές (EN 13790-2, § 4.9.2),
  - Μέγιστη πτώση πίεσης μεταξύ του σημείου μέτρησης επί του ψεκαστήρα και του άκρου κάθε τομέα του βραχίονα (EN 13790-1, § 4.10.2.2),
- Ο ανεμιστήρας να περιστρέφεται στην καθορισμένη από τον κατασκευαστή του ταχύτητα, να λειτουργεί αξιόπιστα ο συμπλέκτης διακοπής (ανεξάρτητα από άλλα κινητά εξαρτήματα) λειτουργίας του (εάν υπάρχει) και η διάταξη ρύθμισης των πτερυγίων κατεύθυνσης (EN 13790-2, § 4.10).

Τέλος, στην § 5 και των δύο μερών του προτύπου περιγράφονται με λεπτομέρεια οι έλεγχοι και οι δοκιμές που είναι απαραίτητο να γίνουν, για να διαπιστωθεί η συμμόρφωση με τις προαναφερόμενες απαιτήσεις.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι:

1. Η πλειοψηφία των ευρωπαϊκών χωρών πραγματοποιεί επί υποχρεωτικής ή προαιρετικής βάσης δοκιμές στα μηχανήματα φυτοπροστασίας, ανάλογα με το υφιστάμενο σε επίπεδο κράτους/περιφέρειας θεσμικό πλαίσιο.

2. Ο υποχρεωτικός έλεγχος των εν λόγω μηχανημάτων, όπου εφαρμόζεται, συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητάς τους και στην προστασία του περιβάλλοντος.
3. Η Ε.Ε. προσανατολίζεται προς την εφαρμογή υποχρεωτικών ελέγχων για τα καινούρια και εν χρήσει μηχανήματα φυτοπροστασίας βάσει κοινής μεθοδολογίας, στηριζόμενης στα Ευρωπαϊκά πρότυπα.
4. Η χρήση κοινής μεθοδολογίας θα συμβάλλει στην ελεύθερη διακίνηση των εν λόγω μηχανημάτων εντός των κρατών-μελών και των υπό ένταξη χωρών και στην κατάργηση των πολλαπλών ελέγχων μέσω της αμοιβαίας αναγνώρισης εκθέσεων δοκιμών.

Τα παραπάνω καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή κατάλληλης πολιτικής, ώστε να βελτιωθεί η υφιστάμενη κατάσταση στη χώρα μας. Μέτρα και πρωτοβουλίες προς την κατεύθυνση αυτή θα μπορούσαν να είναι:

1. Η καθιέρωση του υποχρεωτικού των δοκιμών βάσει των Ευρωπαϊκών προτύπων προ της εκδόσεως της επικείμενης οδηγίας, ώστε η χώρα να είναι προετοιμασμένη για την εφαρμογή της.
2. Η ενίσχυση των υφισταμένων εργαστηριακών υποδομών, ώστε να ανταποκριθούν στον όγκο και την απαιτούμενη ποιότητα των δοκιμών. Η βελτίωση αυτή είναι σκόπιμο να γίνει με τη συνεργασία προηγμένων κέντρων δοκιμών της Ε.Ε..
3. Η μετάφραση των προαναφερόμενων προτύπων στην Ελληνική προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι παρερμηνείες, κυρίως από τους κατασκευαστές.
4. Η εκπαίδευση προσωπικού του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, ώστε να αποκτήσουν την απαιτούμενη γνώση για τη διενέργεια ελέγχων.
5. Η συστηματική ενημέρωση των παραγωγών, όσον αφορά στην αξιολόγηση των μηχανημάτων και τις επιπτώσεις από την κακή χρήση τους.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Οδηγία 98/37/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 22ας Ιουνίου 1998 για την προσέγγιση της νομοθεσίας των κρατών-μελών σχετικά με τις μηχανές. Βρυξέλλες
2. CEN. 1997. EN 907 “Agricultural and forestry machinery-Sprayers and liquid fertilizer distributors-Safety”. Βρυξέλλες
3. CEN. 2001. EN 12761-1 “Agricultural and forestry machinery-Sprayers and liquid fertilizer distributors-Environmental protection-Part 1: General”. Βρυξέλλες
4. CEN. 2001. EN 12761-2 “Agricultural and forestry machinery-Sprayers and liquid fertilizer distributors-Environmental protection-Part 2: Field crop sprayers”. Βρυξέλλες
5. CEN. 2001. EN 12761-3 “Agricultural and forestry machinery-Sprayers and liquid fertilizer distributors-Environmental protection-Part 3: Air-assisted sprayers for bush and tree crops”. Βρυξέλλες
6. CEN. 2003. EN 13790-1 “Agricultural machinery-Sprayers-Inspection of sprayers in use-Part 1: Field crop sprayers”. Βρυξέλλες
7. CEN. 2003. EN 13790-2 “Agricultural machinery-Sprayers-Inspection of sprayers in use-Part 2: Air-assisted sprayers for bush and tree crops”. Βρυξέλλες
8. www.entam.com
9. Proceedings of 1st Europe Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe-SPISE. Braunschweig, April 27-29, 2004.

10. Γ. Μπουροδήμος, Α. Παπαγιαννοπούλου, Π. Αγγελίνας, Χ. Σακκάς, Γ. Παρισόπουλος, 2005. Αξιολόγηση καινούριων μηχανημάτων φυτοπροστασίας σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές. 4^{ο} Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα.

ΤΟ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Γ. Γεωργακόπουλος, Μέλος Ε.Γ.Μ.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έλλειψη ανταγωνιστικότητας των προϊόντων στη διεθνή αγορά είναι σήμερα το βασικό πρόβλημα της Ελληνικής Γεωργίας. Η Ευρωπαϊκή πολιτική εφαρμοζόμενη στη χώρα μας στον αγροτικό τομέα, δεν μπόρεσε να δώσει όλα τα χρόνια εφαρμογής της, τα εφόδια εκείνα που είναι απαραίτητα για να ανταπεξέλθουν σήμερα τα ελληνικά προϊόντα στο διεθνή ανταγωνισμό. Η γεωργική μηχανική, που καλύπτει όλους τους τομείς της γεωπονικής επιστήμης, καλείται να παίξει ουσιαστικό ρόλο στη μείωση του κόστους και στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ώστε ο αγρότης να μείνει στην εστία του και η ύπαιθρος να αναπτυχθεί ισότιμα με τα αστικά κέντρα.

THE PROBLEM OF AGRICULTURE AND AGRICULTURAL ENGINEERING

G. Georgakopoulos, Member of the Greek Company of Agricultural Engineers

ABSTRACT

Nowadays, the Greek Agriculture mainly suffers lack of competitiveness of its products within the international market. The European policy, applied through out the last years on the agricultural sector has not been proved fruitful in terms of making the Greek products more competitive internationally. Agricultural engineering covering all the sectors of the agricultural science has a significant role to play in view of product cost reduction and quality improvement thus allowing the agricultural population to remain in the rural areas and contribute to the rural development, with a rate similar to that in the urban areas.

Η Ελληνική γεωργία σήμερα ίσως περνά τη μεγαλύτερη κρίση της. Από τη μία μεριά τα νέα διεθνή δεδομένα πιέζουν στην αλλαγή της μακροχρόνιας ΚΑΠ στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και από την άλλη η ελληνική γεωργία δεν μπόρεσε, όπως φαίνεται, να αξιοποιήσει αποτελεσματικά όσο έπρεπε τα κοινοτικά προγράμματα, ώστε να είναι έτοιμη να αντιμετωπίσει την ελεύθερη αγορά που επιβάλλει ο ΠΟΕ.
Το σοβαρότερο πρόβλημά της είναι η έλλειψη ανταγωνιστικότητας των προϊόντων στη διεθνή αγορά, όπως επιβάλλεται σήμερα. Η έλλειψη αυτή οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος παραγωγής και την χαμηλή ποιότητα προϊόντων (άμεσα ή έμμεσα εκτιμώμενη).
Η ΚΑΠ της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τον εσωκεντρικό σχεδιασμό της απέβλεπε στην στήριξη του εισοδήματος των αγροτών με οικονομικά κυρίως μέτρα και λιγότερο ή καθόλου με μέτρα βελτίωσης της ανταγωνιστικότητας των προϊόντων της στο διεθνές γίγνεσθαι.
Η πολιτική ενίσχυσης της παραγωγής, ανεξαρτήτως ποιότητας και επιλεκτικά για ορισμένα προϊόντα, έφεραν τα πάνω κάτω, με πρόσθετη σήμερα την παρέμβαση της παγκοσμιοποίησης αλλά και της έλλειψης μακροχρόνιου σχεδιασμού. Το φαινόμενο της παροχής οικονομικής ενίσχυσης σε οποιονδήποτε καλλιεργεί βαμβάκι ακόμα και στα ίδια χωράφια, με την αυξημένη επιβάρυνση ή εξάντληση των συντελεστών παραγωγής είναι ένα κακό προηγούμενο και έχει ανάγκη άμεσης αντιμετώπισης.
Στην κατάσταση αυτή βρέθηκε ο Έλληνας αγρότης ο οποίος όλα τα προηγούμενα χρόνια προσπάθησε να εκμεταλλευτεί όσο περισσότερο μπορούσε τα προαναφερόμενα μέτρα για αποκόμιση μεγαλύτερων οικονομικών ωφελειών και λιγότερο για την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και τη μείωση του κόστους παραγωγής αυτών.
Συνεργός στην κατάσταση αυτή ήταν και το κράτος που ως στόχο είχε κατά κύριο λόγο τη μέγιστη δυνατή απορρόφηση κοινοτικών κονδυλίων.
Η πολιτική αυτή δημιούργησε ή και διατήρησε αγρότες που δεν είχαν ούτε και έχουν μέλλον στη γεωργία, προκαλώντας πολλές φορές δυσάρεστες συνέπειες στους πραγματικούς αγρότες και συμβάλλοντας στη διατήρηση χαμηλών δεικτών ανάπτυξης.
Στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας των προϊόντων ή γεωργική μηχανική είναι η πρώτη που μπορεί να βοηθήσει και να συμβάλλει αποτελεσματικά στην άμβλυνση του προβλήματος.
Με τον όρο, ως γνωστόν, «γεωργική μηχανική», που καλούμαστε ως εταιρεία να προωθήσουμε, νοείται ο κλάδος κυρίως της γεωπονίας που προωθεί τη βασική έρευνα κάθε θετικής επιστήμης που βρίσκεται στην υπηρεσία της γεωργίας, αξιοποιώντας όλους τους συμμετέχοντες συντελεστές αυτής (έδαφος, αέρα, νερό, φυτό, ζώο, μηχάνημα, άνθρωπο, χρήμα κ.λπ.) για την επίτευξη οικονομικού οφέλους από την παραγωγή φυτικών ή ζωικών προϊόντων με παράλληλη πάντα φροντίδα για τη διατήρηση της αειφορίας.
Στα χέρια των φορέων στήριξης της γεωργίας (κρατικών ή ιδιωτικών) και των αγροτών, το έργο της γεωργικής μηχανικής γίνεται πράξη με την πληθώρα των γεωργικών τεχνικών (γενικών και ειδικών) η άσκηση των οποίων θα πρέπει να γίνεται με τις ανάλογες δεξιοτεχνίες.
Ο αγρότης ως επιχειρηματίας, τεχνίτης και εργάτης καλείται να αξιοποιήσει όλους τους συντελεστές που έχει η εκμετάλλευσή του, με πολύ καλή γνώση των τεχνικών που του προσφέρονται και που ο ίδιος γνωρίζει, ώστε να πετύχει το καλύτερο οικονομικό όφελος. Και επειδή δεν αποτελεί απλώς ένα κομμάτι μιας μηχανής, αλλά συμμετέχει στην παραγωγική διαδικασία κατέχοντας και εφαρμόζοντας τεχνικές και δεξιοτεχνίες, ενώ ταυτόχρονα είναι αφέντης στην επιχείρησή του, έχουμε ένα πολύ θετικό στοιχείο και κίνητρο διάδοσης του «know how» της γεωργικής μηχανικής, αρκεί τις τεχνικές αυτές να του τις διαθέσουμε.

Οι Γεωργικές Εφαρμογές που είχε το Υπουργείο Γεωργίας πριν ενταχθούμε ως χώρα στην ΕΕ, αυτό ακριβώς το ρόλο έπαιζαν. Η προσφορά τους ως γνωστό ήταν αξιοθαύμαστη, έχοντας μόνο ως υποστήριξη την εκπαιδευτική κοινότητα, το Υπουργείο με τους Γεωπόνους Εφαρμογών και τη μικρή οικονομική βοήθεια του κράτους.

Πιστεύουμε εάν το κράτος διατηρούσε ως σήμερα το θεσμό αυτό με όλα τα σύγχρονα μέσα που υπάρχουν, όπως η ανάπτυξη της πληροφορικής, της τεχνολογίας, του επιπέδου παιδείας του αγρότη, το πρόβλημα θα ήταν περιορισμένο και θα εντοπιζόταν μόνο στις αναγκαίες διαρθρωτικές αλλαγές λόγω αλλαγής της ΚΑΠ.

Η Ελληνική γεωργία σήμερα έχει ανάγκη άμεσης παρέμβασης στην παραγωγική της διαδικασία.

Η πολιτική του κράτους, τελευταία εκφράστηκε με τη θέληση για βελτίωση της ανταγωνιστικότητας των προϊόντων, την αναδιάρθρωση των καλλιεργειών και την ανάπτυξη της υπαίθρου με διάφορα προγράμματα παράλληλα με τη γεωργική παραγωγή.

Εμείς σαν γεωργικοί μηχανικοί πιστεύουμε ότι ο τομέας της γεωργικής μηχανικής μπορεί να αναπληρώσει σύντομα τα κενά που έχουν δημιουργηθεί στον αγρότη, ως προς τις εφαρμοζόμενες τεχνικές, βοηθώντας τον να αξιοποιήσει καλύτερα τους συντελεστές παραγωγής, με παράλληλη μείωση των αρνητικών εισροών (π.χ. φαρμάκων, λιπασμάτων, ενέργειας)

Η αλλαγή τεχνικών, όπως αυτών που προσπαθεί να επιβάλλει η ΕΕ με τους Κώδικες Ορθής Γεωργικής Πρακτικής μέσω των κοινοτικών προγραμμάτων είναι μια προσπάθεια για βελτίωση, αλλά χωρίς σίγουρα θετικό πεδίο εφαρμογής από την πλευρά των αγροτών, διότι ο αγρότης δεν είναι εύκολο να αλλάξει καλλιέργειες, να αφήσει χέρσο το χωράφι ή να αλλάξει κακές συνήθειες του παρελθόντος.

Είναι γνωστό ότι ο περιορισμός των καλλιεργητικών επεμβάσεων βοηθά στον περιορισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας, συντελεί καθοριστικά στη διατήρηση της περατότητας και της γονιμότητας του εδάφους αλλά και στον περιορισμό της συμπίεσης αυτού.

Είναι αναγκαίο σήμερα ο αγρότης να μάθει να παράγει με τις ελάχιστες κατά το δυνατόν εισροές στην καλλιέργεια του εδάφους και στην περιποίηση των φυτών και η ποιότητα των προϊόντων του να είναι υψηλής αξίας (με καλύτερες οργανοληπτικές ιδιότητες των συμβατικών) για να ικανοποιεί τις σύγχρονες απαιτήσεις του καταναλωτή που ζητά επίμονα αγνά προϊόντα υψηλής ποιότητας .

Στην όλη προσπάθεια μείωσης του κόστους παραγωγής περιλαμβάνεται και η μείωση του κόστους του νερού, που ως γνωστό στη χώρα μας αποτελεί ουσιαστικό συντελεστή παραγωγής. Ο σχεδιασμός οικονομικών εγγειοβελτιωτικών έργων, θα έπρεπε είναι προτεραιότητα του κράτους, αφού προηγουμένως υπολογισθούν οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι που τελευταία σε ορισμένες περιοχές έχουν διαταραχθεί επικίνδυνα. Η γεωργική μηχανική πρέπει να μάθει στον αγρότη ότι το νερό έχει μεγάλη αξία και η άρδευση είναι μια αναγκαία επέμβαση του ανθρώπου η οποία πρέπει να γίνεται μόνο όταν το φυτό έχει ανάγκη. Ακόμη, ο σχεδιασμός, η μελέτη και η διαχείριση των εγγειοβελτιωτικών έργων πρέπει να γίνεται από το γεωργικό μηχανικό όπως συνέβαινε παλαιότερα, τότε που τα εγγειοβελτιωτικά έργα ήταν πραγματικά λειτουργικά.

Στην προσπάθεια ανάπτυξης της βιολογικής γεωργίας επίσης, η γεωργική μηχανική πρέπει να θεωρείται ως η βάση στήριξης, αφού μπορεί να στην αξιοποίηση των συντελεστών παραγωγής με τη χρήση ειδικών τεχνικών εκμετάλλευσης οι οποίες στοχεύουν στον περιορισμό των ανεπιθύμητων και ανεξέλεγκτων εισροών (φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων κ.λπ.). Η καλλιέργεια φυτών και εκτροφή ζώων

εύρωστων και υγιών με κατεύθυνση παραγωγική, συνδυάζεται με υψηλού επιπέδου τεχνικές που έχουν σαν βάση την πολύ καλή γνώση της γεωπονικής επιστήμης και την ορθή εφαρμογή της, στην πράξη.
Η γεωργική μηχανική πρέπει να μάθει τον αγρότη να κάνει παρεμβάσεις με τις σωστές τεχνικές, αφού πρώτα αντιληφθεί την αναγκαιότητα και το επίκαιρο της επέμβασης ώστε να εξασφαλίσει το θετικό του αποτελέσματος. Παράλληλα ο αγρότης θα πρέπει να αφιερώσει περισσότερες ώρες στην εκμετάλλευσή του, κάτι ανάλογο με αυτό που κάνει και ο βιοτέχνης ή ο βιομήχανος μέχρι να στήσει την επιχείρησή του και να εξασφαλίσει την παραγωγή του.
Σήμερα που έχουμε φτάσει στην εποχή των συστημάτων GPS και GIS πρέπει να ξεχάσει ο αγρότης την πρακτική "να κάνει ότι και όποτε ο διπλανός του κάνει".
Για να αυξήσει την αξία των παραγόμενων προϊόντων, ο ίδιος ο αγρότης θα πρέπει να προετοιμάσει τα προϊόντα του για την αγορά με διαλογή, τυποποίηση, συσκευασία, συντήρηση και όπου χρειάζεται με την πρώτη μεταποίηση. Η γεωργική μηχανική μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά και στον τομέα αυτό, ερευνώντας και προωθώντας τεχνικές αξιοποίησης της πρωτογενούς παραγωγής με στόχο την αύξηση της προστιθέμενης αξίας του προϊόντος.
Τα κοινοτικά προγράμματα παροτρύνουν τον αγρότη σε τέτοιες δραστηριότητες και έτσι θεωρούμε ότι η παρούσα περίοδος προσφέρεται για την προώθηση του τομέα της διαχείρισης του προϊόντος μέχρι τη διάθεσή του στην αγορά.
Είναι φανερό ότι η γεωργική μηχανική μπορεί να παίξει ενεργό και ουσιαστικό ρόλο στην ελληνική γεωργία, στηρίζοντας και βοηθώντας την αγροτική παραγωγή και τον αγρότη.
Οι γεωργικοί μηχανικοί θα πρέπει να κατανοήσουν τη σημαντική θέση που κατέχουν στη γεωργία καθώς και τον ουσιαστικό ρόλο που καλούνται να παίξουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος της Ελληνικής γεωργίας έτσι όπως έχει διαμορφωθεί σήμερα.
Η Εκπαιδευτική κοινότητα θα πρέπει, παράλληλα με την Εταιρία Γεωργικών Μηχανικών, να συμβάλλει στη συγκρότηση επιστημόνων με συνείδηση τόσο των δυνατοτήτων τους όσο και των υποχρεώσεων τις οποίες έχουν. τις οποίες έχουν. Τέλος, το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, το οποίο έχει την ευθύνη του προγραμματισμού και της ανάπτυξης του γεωργικού τομέα, οφείλει να αξιοποιήσει κατά τον καλύτερο τρόπο το δυναμικό αυτό.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙΝΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Γ. Μπουροδήμος, Α. Παπαγιαννοπούλου, Π. Αγγελίνας, Χ. Σακκάς, Γ. Παρισόπουλος

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας/Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών
Δημοκρατίας 61, 135 61 Άγιοι Ανάργυροι Αττικής
Τηλ.: 2102611011-2, Fax: 2102619202, e-mail: iamc@ath.forthnet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά στα αποτελέσματα των ελέγχων και δοκιμών 18 αναρτώμενων και συρόμενων καινουργών εγχωρίων μηχανημάτων φυτοπροστασίας, που διενεργήθηκαν από το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./Ι.ΓΕ.Μ.Κ. κατά τα έτη 2003 και 2004, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα EN 907: 1997, EN 12761: 2001 και τις τεχνικές οδηγίες ΕΝΤΑΜ. Διαπιστώθηκε ότι κανένα μηχάνημα δεν συμμορφώνεται πλήρως με τα πρότυπα με συνέπεια να καταστρατηγούνται οι βασικές απαιτήσεις ασφάλειας και υγιεινής κατά τη συνήθη χρήση αυτών και να αυξάνεται η απειλή περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Διατυπώνονται προτάσεις που αφορούν στα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για τη βελτίωση της ποιότητας των εν λόγω μηχανημάτων.

EVALUATION OF NEW SPRAYERS ACCORDING TO EUROPEAN SPECIFICATIONS

G. Bourodimos, A. Papayiannopoulou, P. Aggelinas, Ch. Sakkas, G. Parisopoulos

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 results of controls and tests of 18 new, domestic, mounted and air-assisted plant protection machines carried out during 2003 and 2004 by N.AG.RE.F./I.A.M.C. according to EN 907: 1997, EN 12761: 2001 and the ENTAM technical instructions are evaluated. None of the machines fulfill the requirements of the above standards therefor the essential health and safety requirements are not satisfied. Finally, suggestions are made towards the necessary actions that will ensure improvement in quality of the plant protection machines.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας επηρεάζεται από την ύπαρξη επιβλαβών οργανισμών και ζιζανίων, η καταπολέμηση των οποίων απαιτεί τη χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων, που εφαρμόζονται με την μορφή κόκκων, κόνεων και υδατικών διαλυμάτων. Τα προϊόντα αυτά γενικώς είναι εν δυνάμει επικίνδυνα με παράπλευρες επιπτώσεις στην υγεία ανθρώπων και ζώων και στο περιβάλλον .
Προκειμένου η χρήση των ανωτέρω προϊόντων να μην εγκυμονεί κινδύνους, η Ε.Ε. έχει καθορίσει υποχρεωτικά ανώτατα όρια για τα λεγόμενα υπολείμματα [1], τα οποία επιδιώκονται με χρήση ορθών γεωργικών πρακτικών και καταλλήλου εξοπλισμού φυτοπροστασίας
Ειδικότερα για τα μηχανήματα φυτοπροστασίας, που προορίζονται για ψεκασμό υδατικών διαλυμάτων, πέραν της απαίτησης συμμόρφωσης με την οδηγία 98/37/ΕΚ [2], η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης στηριζόμενη στο τρίπτυχο ασφάλεια, προστασία περιβάλλοντος, αποτελεσματικός έλεγχος επιβλαβών οργανισμών με μειωμένες εισροές φυτοφαρμάκων συνέταξε τα ακόλουθα πρότυπα:

- EN 907:1997 “Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Safety” [3] και
- EN 12761-1:2001 “Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 1: General” [4],
- EN 12761-2:2001 “Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 2: Field crop sprayers” [5],
- EN 12761-3:2001 “Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 3: Air-assisted sprayers for bush and tree crops” [6].

Παράλληλα, το Ευρωπαϊκό δίκτυο για τις δοκιμές γεωργικών μηχανημάτων ENTAM (**E**uropean **N**etwork for **T**esting of **A**gricultural **M**achines), βασιζόμενο στα ανωτέρω πρότυπα και στην πολυετή εμπειρία από τη χρήση μηχανημάτων φυτοπροστασίας (ψεκαστικά), εκπόνησε τεχνικές οδηγίες για τις δοκιμές αυτών, οι οποίες περιλαμβάνουν πρόσθετες απαιτήσεις και συνιστούν την ευρωπαϊκή μεθοδολογία δοκιμών [7].
Σημειώνεται, ότι αντίθετα με τις περισσότερες χώρες της Ε.Ε., στην Ελλάδα οι δοκιμές ψεκαστικών μηχανημάτων δεν είναι υποχρεωτικές. Το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./Ι.ΓΕ.Μ.Κ. πραγματοποιεί, μετά από αίτηση του κατασκευαστή, ελέγχους και δοκιμές των εν λόγω μηχανημάτων σύμφωνα με τα ανωτέρω πρότυπα και τεχνικές οδηγίες, πιστοποιώντας τη συμμόρφωσή τους ή μη με τις σύγχρονες απαιτήσεις. Κατά τα έτη 2003 και 2004 διενεργήθηκαν δοκιμές σε 18 μηχανήματα εγχώριας κατασκευής εκ των οποίων τα 11 συρόμενοι νεφελοψεκαστήρες και τα 7 αναρτώμενοι ψεκαστήρες μεγάλων καλλιεργειών (δύο με υδραυλικά πτυσσόμενους βραχίονες, πέντε με μηχανικούς).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι έλεγχοι-δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./Ι.ΓΕ.Μ.Κ., σε συνθήκες περιβάλλοντος με τη χρήση διακριβωμένων οργάνων, ακρίβειας μεγαλύτερης της προβλεπόμενης από τα πρότυπα.
Βάσει του προτύπου EN 907:1997 ελέγχθηκαν τα παρακάτω:

- Συντήρηση αντλίας και φίλτρων (§ 4.1),
- Διατάξεις προστασίας έναντι κινδύνων από κινούμενα μέρη (§ 4.2),
- Πτυσσόμενοι βραχίονες ψεκασμού:
  - Μέγιστη απόσταση από το έδαφος (§ 4.4.2),

- Ύπαρξη χειρολαβών (§ 4.4.2),
- Διάταξη ασφάλισης κατά τη μεταφορά (§ 4.4.2),
- Ρύθμιση ύψους (§ 4.4.4),

- Δεξαμενή ψεκαστικού υγρού:
  - Απόσταση οπής πλήρωσης από το επίπεδο εργασίας (§ 4.5.1),
  - Απόσταση οπής πλήρωσης από το πλευρικό τοίχωμα (§ 4.5.1),
  - Συνολικός όγκος πλήρωσης (§ 4.5.2),
  - Μόνιμη πρόσδεση πωμάτων στο μηχάνημα (§ 4.5.2),
  - Διάταξη εκκένωσης για αποφυγή επαφής του ψεκαστικού υγρού με το χειριστή (§ 4.5.3),
- Πιεσόμετρο. Ύπαρξη, κατάλληλη τοποθέτηση και ελάχιστη διάμετρος (§ 4.6),
- Βαλβίδα ασφαλείας. Ύπαρξη, επιστροφή στη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού (§ 4.7),
- Ανεμιστήρας. Διάταξη προστασίας, διακόπτης απεμπλοκής (§ 4.8),
- Σωλήνες. Σήμανση, διάταξη πλήρωσης από εξωτερική πηγή (§ 4.9),
- Διάταξη αποτροπής διαρροών (§ 4.10),
- Δοχείο καθαρού νερού. Χωρητικότητα, εκκένωση (§ 4.11),
- Βιβλίο οδηγιών χρήσης και συντήρησης (§ 5.1),
- Σήμανση. Ασφάλεια χρήστη, μηχάνημα, αντλία (§ 5.2).

Βάσει της σειράς προτύπων EN 12761:2001 ελέγχθηκαν τα παρακάτω:

- Δεξαμενή ψεκαστικού υγρού:
  - Τραχύτητα της εξωτερικής επιφάνειας (§ 4.1.1.1),
  - Συνολικός όγκος πλήρωσης (§ 4.1.1.2),
  - Διάμετρος οπής πλήρωσης, διάταξη πλήρωσης (§ 4.1.1.2),
  - Φίλτρο πλήρωσης. Βάθος, διαστάσεις πλέγματος, ικανότητα πλήρωσης (§ 4.1.1.2),
  - Συνολικός παραμένων όγκος (§ 4.1.1.3),
  - Ογκομετρική ένδειξη (§ 4.1.1.4),
  - Ανάδευση (§ 4.1.1.5).
- Βραχίονες ψεκασμού (αφορά στους αναρτώμενους ψεκαστήρες EN 12761-2):
  - Μέγιστο μήκος τομέων (§ 4.1.3.1),
  - Εύρος πεδίου ρύθμισης ύψους και βήμα (§ 4.1.3.2),
- Φίλτρα αναρρόφησης, κατάθλιψης και ακροφυσίων (EN 12761-2 § 4.1.4, EN 12761-3 § 4.1.3):
  - Ύπαρξη, διαστάσεις πλέγματος,
  - Δυνατότητα καθαρισμού φίλτρου αναρρόφησης με πλήρη τη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού,
- Ακροφύσια (EN 12761-2 § 4.1.5, EN 12761-3 § 4.1.4):
  - Παροχή. Απόκλιση από τους πίνακες του κατασκευαστή,
  - Διάταξη αποτροπής διαρροών,
- Πιεσόμετρο. Διακριτικότητα και απόκλιση (EN 12761-2 § 4.1.6, EN 12761-3 § 4.1.5),
- Ρύθμιση παροχής αέρα και υγρού ψεκασμού (αφορά νεφελοψεκαστήρες EN 12761-3 § 4.1.8):
  - Διακόπτης απεμπλοκής ανεμιστήρα,
  - Απομόνωση γραμμών ψεκασμού,
  - Κλίση πτερυγίων και ταχύτητες περιστροφής ανεμιστήρα,
  - Δυνατότητα ρύθμισης παροχής ψεκαστικού υγρού,
  - Δυνατότητα ανεξάρτητης ρύθμισης ακροφυσίων,

- Επαναφορά της πίεσης λειτουργίας (§ 4.2.1)
- Πτώση πίεσης μεταξύ χειριστηρίου – ακροφυσίων (§ 4.2.3),
- Δοχείο δοσολογίας (§ 4.2.4),
- Παροχή των ακροφυσίων (§ 4.3.1):
  - Απόκλιση από τη μέση τιμή,
  - Απόκλιση δεξιάς και αριστερής πλευράς,
- Δεξαμενή απόπλυσης (§ 4.4):
  - Ύπαρξη, χωρητικότητα,
  - Δυνατότητα απόπλυσης συστήματος διανομής – εκτόξευσης με γεμάτη τη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των ελέγχων και δοκιμών που διενεργήθηκαν, παρατίθενται συγκεντρωτικά ανά πρότυπο στις παρακάτω παραγράφους [8].

3.1 Έλεγχοι και δοκιμές σύμφωνα με το ΕΝ 907:1997

Από το σύνολο των δοκιμασθέντων μηχανημάτων, κανένα δεν πληρούσε όλες τις απαιτήσεις του ΕΝ 907, μολονότι έφεραν σήμανση CE. Ειδικότερα διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

- Τρία μηχανήματα δεν έφεραν αντεπίστροφη βαλβίδα στο φίλτρο αναρρόφησης με αποτέλεσμα να μην υπάρχει δυνατότητα καθαρισμού αυτού με πλήρη τη δεξαμενή ψεκασττικού υγρού (§ 4.1),
- Δεκατρία μηχανήματα δεν έφεραν προφυλακτήρα στην αντλία (§ 4.2),
- Πτυσσόμενοι βραχίονες ψεκασμού (αναρτώμενα ψεκαστικά):
  - Όλα τα μηχανήματα πληρούσαν τις απαιτήσεις του προτύπου όσον αφορά στη μέγιστη απόσταση (≤ 4 m) των βραχιόνων από το έδαφος (§ 4.4.2),
  - Τέσσερις αναρτώμενοι ψεκαστήρες με μηχανικούς βραχίονες δεν έφεραν χειρολαβές (§ 4.4.2),
  - Έξι αναρτώμενοι ψεκαστήρες δεν έφεραν διάταξη ασφάλισης κατά τη μεταφορά (§ 4.4.2),
  - Τέσσερις αναρτώμενοι ψεκαστήρες με μηχανικούς βραχίονες δεν έφεραν μηχανισμό ρύθμισης ύψους με αναστολή κίνησης και για τις δύο κατευθύνσεις και ένας καθόλου (§ 4.4.4),
- Δεξαμενή ψεκαστικού υγρού:
  - Όλα τα μηχανήματα πληρούσαν τις απαιτήσεις του προτύπου όσον αφορά στις αποστάσεις της οπής πλήρωσης από το πλευρικό τοίχωμα (4.5.1),
  - Σε δύο αναρτώμενους ψεκαστήρες, η απόσταση της οπής πλήρωσης από το επίπεδο εργασίας ήταν μεγαλύτερη της μέγιστης απαιτούμενης των 1500 mm (§ 4.5.1),
  - Δεκατέσσερα μηχανήματα δεν έφεραν δεξαμενή ψεκαστικού υγρού με συνολικό όγκο πλήρωσης ≥ 5% του ονομαστικού (§ 4.5.2),
  - Τέσσερις νεφελοψεκαστήρες δεν έφεραν προσδεδεμένο έπ' αυτών το πώμα της δεύτερης οπής πλήρωσης. Τέσσερις αναρτώμενοι ψεκαστήρες δεν έφεραν επίσης προσδεδεμένο έπ' αυτών το πώμα της μόνης οπής πλήρωσης (§ 4.5.2),
  - Ένας νεφελοψεκαστήρας έφερε πώμα εκκένωσης με σπείρωμα με συνέπεια να μην εξασφαλίζεται η αποφυγή επαφής του ψεκαστικού υγρού με το χειριστή (§ 4.5.3),

- Όλα τα μηχανήματα έφεραν πιεσόμετρο διαμέτρου 63 mm, κατάλληλα τοποθετημένο (§ 4.6),
- Όλα τα μηχανήματα έφεραν βαλβίδα ασφαλείας με εκτόνωση στη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού (§ 4.7),
- Όλοι οι νεφελοψεκαστήρες έφεραν μεταλλικό πλέγμα προστασίας πτερωτής και διακόπτη απεμπλοκής ανεμιστήρα και μόνο τρεις από αυτούς πλαστικό προφυλακτήρα έναντι εκτόξευσης αντικειμένων (§ 4.8),
- Όλα τα μηχανήματα έφεραν σωλήνες με την κατάλληλη σήμανση. Ο σωλήνας πλήρωσης από εξωτερική πηγή απέκλειε την επιστροφή από τη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού (§ 4.9),
- Δύο νεφελοψεκαστήρες έφεραν και μονά ακροφύσια χωρίς διάταξη αποτροπής διαρροών (§ 4.10),
- Όλα τα μηχανήματα έφεραν κρουνό εκκένωσης δοχείου καθαρού νερού σύμφωνα με το πρότυπο. Τρία έφεραν δοχείο καθαρού νερού χωρητικότητας μικρότερης της απαιτούμενης των 15 l (§ 4.11),
- Δειγματοληπτικά αναγνώστηκαν τρία βιβλία οδηγιών χρήσης και συντήρησης με αποκλίσεις ως προς το περιεχόμενο που απαιτείται από το πρότυπο (§ 5.1),
- Ένας νεφελοψεκαστήρας δεν έφερε σήμανση ασφαλείας (§ 5.2.1). Δεκαέξι μηχανήματα δεν έφεραν σήμανση μηχανήματος με πλήρη στοιχεία (§ 5.2.2). Όλα τα μηχανήματα έφεραν σήμανση αντλίας (§ 5.2.3).

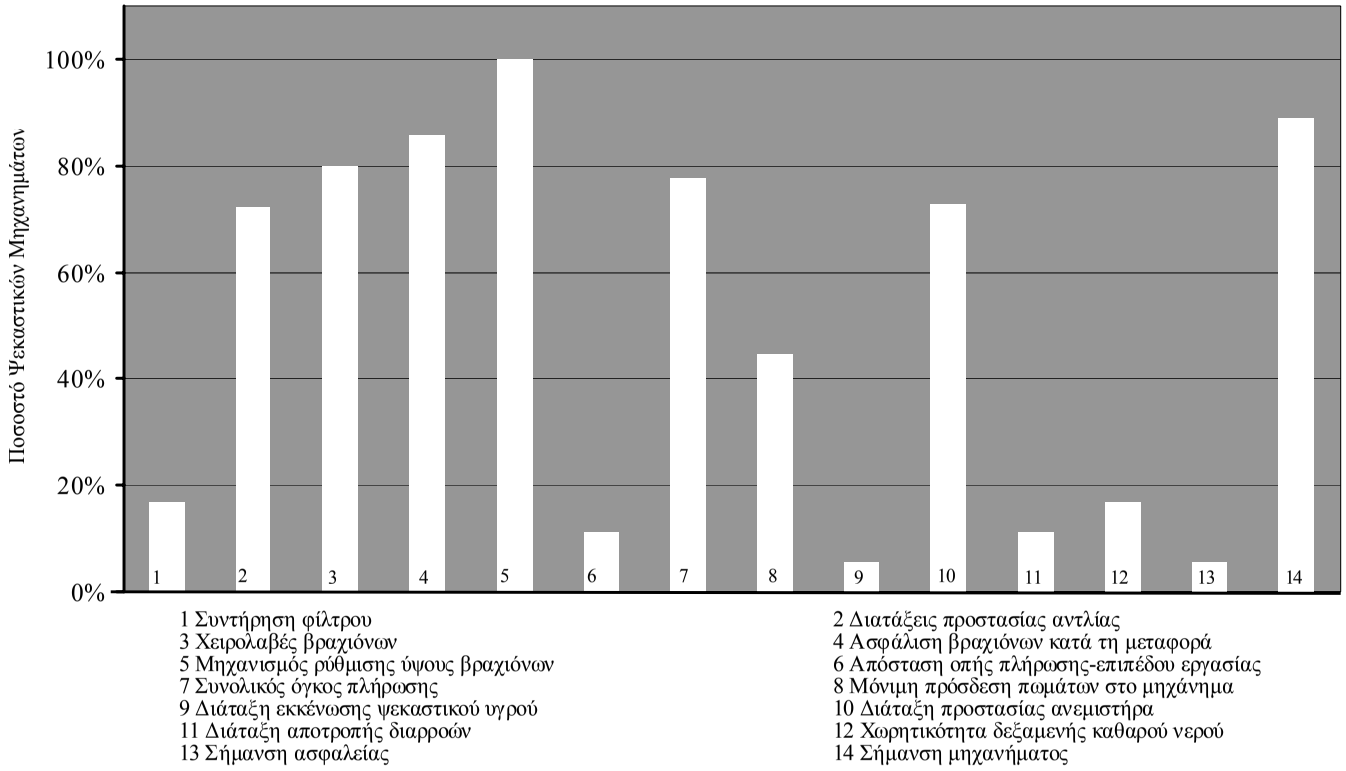
3.2 Έλεγχοι και δοκιμές σύμφωνα με το EN 12761:2001

Από το σύνολο των δοκιμασθέντων μηχανημάτων, κανένα δεν πληρούσε όλες τις απαιτήσεις της σειράς προτύπων EN 12761. Ειδικότερα διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

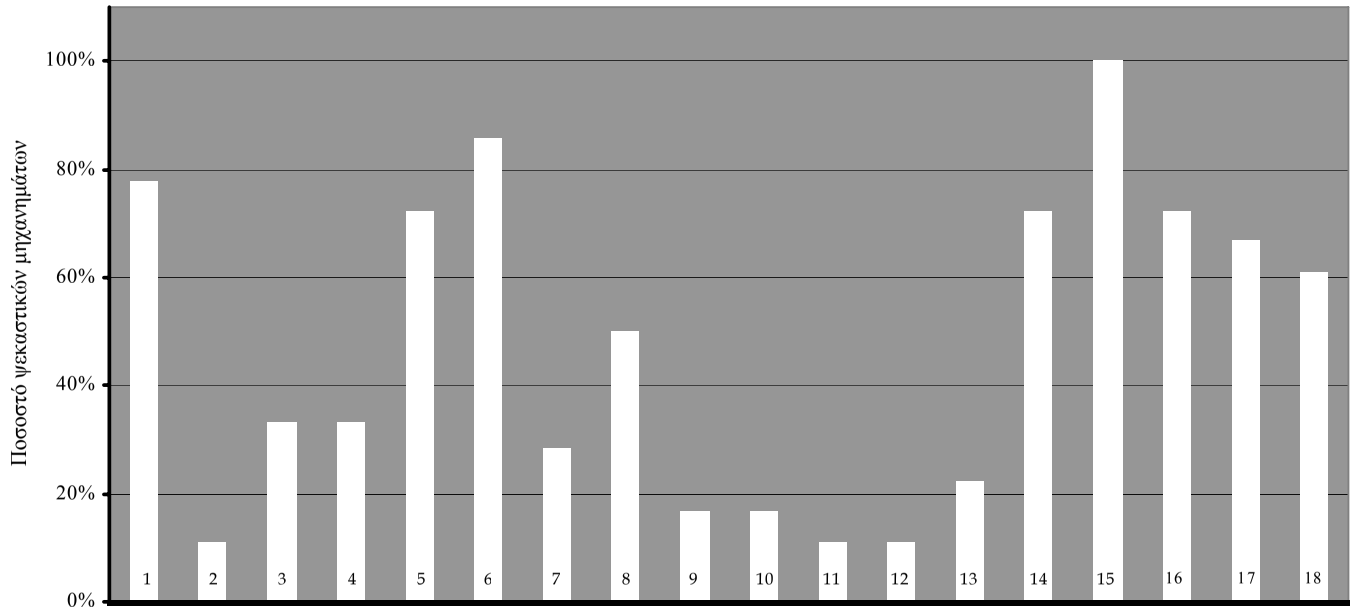
- Δεξαμενή ψεκαστικού υγρού:
  - Η τραχύτητα της εξωτερικής επιφάνειας όλων των δεξαμενών ήταν μικρότερη των απαιτούμενων 100 μm από το πρότυπο (§ 4.1.1.1),
  - Δεκατέσσερα μηχανήματα δεν έφεραν δεξαμενή ψεκαστικού υγρού με συνολικό όγκο πλήρωσης ≥ 5% του ονομαστικού (§ 4.1.1.2),
  - Όλα τα μηχανήματα έφεραν κατάλληλη διάταξη πλήρωσης από εξωτερική πηγή. Σε δύο νεφελοψεκαστήρες η διάμετρος της δεύτερης οπής πλήρωσης ήταν μικρότερη της απαιτουμένης από τις προδιαγραφές (§ 4.1.1.2),
  - Όλα τα φίλτρα οπής πλήρωσης είχαν ικανότητα παροχής μεγαλύτερη των 100 l/min και διαστάσεις πλέγματος μικρότερες των 2 mm (§ 4.1.1.2),
  - Σε πέντε νεφελοψεκαστήρες (δεύτερη οπή) και σε έναν αναρτώμενο (κύρια οπή) το βάθος του φίλτρου πλήρωσης ήταν μικρότερο του απαιτουμένου (§ 4.1.1.2),
  - Έξι νεφελοψεκαστήρες είχαν συνολικό παραμένοντα όγκο μεγαλύτερο του απαιτούμενου από το πρότυπο (§ 4.1.1.3),
  - Σε δεκατρία μηχανήματα η ογκομετρική ένδειξη του δοχείου ψεκαστικού υγρού παρουσίαζε αποκλίσεις μεγαλύτερες των απαιτουμένων (§ 4.1.1.4),
  - Διενεργήθηκε μόνο μία δοκιμή ανάδευσης σε δεξαμενή χωρητικότητας 1000 l, δεδομένου, ότι όλα τα μηχανήματα χρησιμοποιούσαν προς τούτο την επιστροφή της αντλίας. Η ανάδευση δεν πληρούσε τις απαιτήσεις (§ 4.1.1.5).
- Βραχίονες ψεκασμού (αφορά στους αναρτώμενους ψεκαστήρες EN 12761-2):
  - Σε όλα τα μηχανήματα το μέγιστο μήκος τομέων ήταν σύμφωνο με τις προδιαγραφές (§ 4.1.3.1),

  - Σε έξι μηχανήματα το εύρος πεδίου ρύθμισης ύψους βραχιόνων ήταν μικρότερο του ελάχιστου απαιτουμένου (1000 mm). Σε δύο μηχανήματα το βήμα ρύθμισης ύψους ήταν μεγαλύτερο του απαιτουμένου (0,1 m) (§ 4.1.3.2),
- Φίλτρα αναρρόφησης, κατάθλιψης και ακροφυσίων (EN 12761-2 § 4.1.4, EN 12761-3 § 4.1.3),
  - Όλα τα μηχανήματα έφεραν φίλτρα αναρρόφησης, εννέα εξ αυτών φίλτρα κατάθλιψης και δεκαπέντε φίλτρα στα ακροφύσια. Το μέγεθος του ανοίγματος των φίλτρων αντιστοιχεί στη διάμετρο των ακροφυσίων,
  - Δεκαπέντε μηχανήματα έχουν δυνατότητα καθαρισμού φίλτρου αναρρόφησης με πλήρη τη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού,
- Δύο νεφελοψεκαστήρες έφεραν και μονά ακροφύσια χωρίς διάταξη αποτροπής διαρροών (EN 12761-2 § 4.1.5, EN 12761-3 § 4.1.4),
- Πιεσόμετρο (EN 12761-2 § 4.1.6, EN 12761-3 § 4.1.5):
  - Δύο πιεσόμετρα είχαν διακριτικότητα χειρότερη της απαιτουμένης,
  - Τέσσερα πιεσόμετρα παρουσίαζαν απόκλιση μεγαλύτερη της επιτρεπομένης,
- Όλα τα μηχανήματα έφεραν μηχανισμό απεμπλοκής και διακόπτη ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής ανεμιστήρα. Είχαν επίσης, δυνατότητα απομόνωσης των γραμμών ψεκασμού, ρύθμισης της παροχής ψεκαστικού υγρού και ανεξάρτητης ρύθμισης της παροχής ακροφυσίων (αφορά νεφελοψεκαστήρες EN 12761-3 § 4.1.8),
- Σε όλα τα μηχανήματα η πίεση λειτουργίας επανερχόταν στην αρχική της τιμή (±7.5%) μετά την αποσύνδεση και επανασύνδεση των γραμμών ψεκασμού (§ 4.2.1),
- Σε δεκατρία μηχανήματα η πτώση πίεσης μεταξύ χειριστηρίου και εκάστου ακροφυσίου υπερέβαινε το 10% της πίεσης λειτουργίας, που είναι το επιτρεπόμενο όριο (§ 4.2.3),
- Κανένα μηχάνημα δεν συνοδευόταν από δοχείο δοσολογίας (§ 4.2.4),
- Παροχή των ακροφυσίων (§ 4.3.1):
  - Δεκατρία μηχανήματα παρουσίαζαν απόκλιση της παροχής των ακροφυσίων από τη μέση τιμή μεγαλύτερη της προβλεπόμενης,
  - Όλοι οι νεφελοψεκαστήρες είχαν παροχή δεξιάς και αριστερής πλευράς μεταξύ 45 και 55% της συνολικής παροχής όλων των ακροφυσίων,
- Δεξαμενή απόπλυσης (§ 4.4),
  - Όλα τα μηχανήματα έφεραν δεξαμενή απόπλυσης. Σε δώδεκα από αυτά η χωρητικότητά της ήταν μικρότερη της απαιτούμενης,
  - Επτά μηχανήματα είχαν τη δυνατότητα απόπλυσης του συστήματος διανομής-εκτόξευσης με γεμάτη τη δεξαμενή ψεκαστικού υγρού.

Τα αποτελέσματα των ανωτέρω δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά στα σχήματα 1 και 2.



Σχήμα 1. Αποκλίσεις ελεγχθέντων ψεκαστικών μηχανημάτων ως προς τις επιμέρους απαιτήσεις του EN 907



1 Συνολικός όγκος πλήρωσης
2 Διάμετρος οπής πλήρωσης
3 Βάθος φίλτρου πλήρωσης
4 Συνολικός παραμένων όγκος
5 Ογκομετρική ένδειξη δεξαμενής
6 Εύρος ρύθμισης ύψους βραχιόνων
7 Βήμα ρύθμισης ύψους βραχιόνων
8 Φίλτρο κατάθλιψης
9 Φίλτρο ακροφυσίων
10 Συντήρηση φίλτρου αναρρόφησης
11 Διάταξη αποτροπής διαρροών
12 Διακριτικότητα πιεσόμετρου
13 Απόκλιση πιεσόμετρου
14 Πτώση πίεσης χειριστηρίου-ακροφυσίων
15 Δοχείο δοσολογίας
16 Απόκλιση παροχής ακροφυσίων
17 Χωρητικότητα δεξαμενής απόπλυσης
18 Απόπλυση συστήματος διανομής-εκτόξευσης

Σχήμα 2. Αποκλίσεις ελεγχθέντων ψεκαστικών μηχανημάτων ως προς τις επιμέρους απαιτήσεις του EN 12761

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προέκυψε ότι:

- Κανένα μηχάνημα δεν πληρούσε όλες τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΝ 907:1997 το οποίο εξειδικεύει τις απαιτήσεις ασφαλείας και υγιεινής της οδηγίας 98/37 ΕΚ και χρήζει υποχρεωτικής εφαρμογής,
- Κανένα μηχάνημα δεν πληρούσε όλες τις απαιτήσεις της σειράς προτύπων ΕΝ 12761:2001 με συνέπεια να αυξάνεται ο κίνδυνος περιβαλλοντικής υποβάθμισης,
- Εισαγόμενα επιμέρους εξαρτήματα των μηχανημάτων δεν καλύπτουν επίσης τις απαιτήσεις των εν λόγω προτύπων,
- Το πλείστον των αποκλίσεων οφείλονται κυρίως σε έλλειψη πληροφόρησης και κατανόησης των απαιτήσεων των προτύπων από τους κατασκευαστές.

Τα παραπάνω καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή κατάλληλης πολιτικής, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα και η ανταγωνιστικότητα των εγχωρίων ψεκαστικών μηχανημάτων. Μέτρα και πρωτοβουλίες προς την κατεύθυνση αυτή θα μπορούσαν να είναι:

- Η άμεση ενεργοποίηση των ελέγχων από το Υπουργείο Ανάπτυξης για την εφαρμογή ή μη της Οδηγίας 98/37/ΕΚ.
- Η διεξαγωγή ενημερωτικών σεμιναρίων από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων στους έλληνες κατασκευαστές γεωργικών μηχανημάτων ώστε να αποσαφηνιστεί το ακριβές περιεχόμενο των ανωτέρω προτύπων.
- Η καθιέρωση του υποχρεωτικού των δοκιμών και
- Η μη επιδότηση από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων των μηχανημάτων που δεν συμμορφώνονται με τα εν λόγω πρότυπα.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Οδηγία 90/642/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 27.11.1990 που αφορά τον καθορισμό των ανώτατων περιεκτικοτήτων για τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων επάνω ή μέσα σε ορισμένα προϊόντα φυτικής προέλευσης, συμπεριλαμβανομένων και των οπωροκηπευτικών. Βρυξέλλες
2. Οδηγία 98/37/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 22ας Ιουνίου 1998 για την προσέγγιση της νομοθεσίας των κρατών-μελών σχετικά με τις μηχανές. Βρυξέλλες
3. CEN. 1997. EN 907 “Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Safety”. Βρυξέλλες
4. CEN. 2001. EN 12761-1 “Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 1: General”. Βρυξέλλες
5. CEN. 2001. EN 12761-2 “Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 2: Field crop sprayers”. Βρυξέλλες
6. CEN.2001. EN 12761-3: “Agricultural and forestry machinery – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 3: Air-assisted sprayers for bush and tree crops”. Βρυξέλλες
7. ENTAM. 2001. Technical Instructions for ENTAM – Tests of Field Crop and Air-Assisted Sprayers. Ρώμη
8. Ι.ΓΕ.Μ.Κ.. 2004. 18 Εκθέσεις δοκιμών ψεκαστικών μηχανημάτων. Αθήνα

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ ΤΗΣ ΔΑΔΙΑΣ ΕΒΡΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Π.Σ.

Δ. Π. Τριαντακωνσταντής, Β. Ι. Κόλλια και Δ. Π. Καλύβας
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Γεωργικής Χημείας και Εδαφολογίας, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη αυτή εξετάζει τις χωροχρονικές αλλαγές των χρήσεων γης στο δάσος της Δαδιάς μεταξύ των ετών 1945, 1973 και 2001. Από το Γ.Π.Σ. που αναπτύχθηκε, παρατηρήθηκε αντίστοιχα για αυτές τις χρονικές περιόδους μια σημαντική αύξηση του δάσους 46%, 54%, 72% (ποσοστά επί του συνόλου της περιοχής μελέτης) και μια μείωση των ανοιγμάτων 35%, 25% και 9%. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επέδρασαν στις αλλαγές των χρήσεων γης είναι: το υψόμετρο, η κλίση, η απόσταση από τους δρόμους και τις αστικές περιοχές, η έκθεση, το βάθος του εδάφους, η γεωλογία και η διάβρωση. Σπουδαίο ρόλο επίσης έπαιξε ο ανθρώπινος παράγοντας που βοήθησε στην προστασία του δάσους ειδικά μετά το 1980 όπου θεσμικά ανακηρύχθηκε το δάσος της Δαδιάς ως προστατευόμενη περιοχή.

STUDY OF LAND USE CHANGES IN THE FOREST OF DADIA EVROU IN A GIS ENVIRONMENT

D. P. Triantakonstantis, V. J. Kollias and D. P. Kalivas
Agricultural University of Athens, Laboratory of Soils and Agricultural Chemistry, 75 Iera Odos, 11855, Athens

ABSTRACT

This study investigates the spatio-temporal land use changes of Dadia forest between 1945, 1973 and 2001. From the G.I.S. that was developed, an important increase of forest (46%, 54%, 72% of the total study area) and a reduction of openings (35%, 25%, 9%) were observed for the above time periods. The most important factors that have contributed in the land use changes are: elevation, slope, distance from roads and urban areas, aspect, soil depth, geology and erosion. The human factor has played a vital role in the protection of forest, especially after 1980 when the Dadia forest was designated as a nature reserve.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δάσος της Δαδιάς αποτελεί μια από τις τελευταίες περιοχές της Ευρώπης που δεν έχουν διαταραχθεί έντονα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και αποτελείται από ένα πολύ ετερογενές, κατά ένα μεγάλο μέρος δασικό μωσαϊκό βιότοπων [8].
Το 1979 ολοκληρώθηκε μια μελέτη αξιολόγησης των οικοσυστημάτων της ημιορεινής και ορεινής ζώνης της περιοχής του Έβρου, σε σχέση με τα αρπακτικά πουλιά από τον ορνιθολόγο Ben Hallmann, όπου το επόμενο έτος η Ελληνική κυβέρνηση με την υπουργική απόφαση ΧΠ/ΓΧΠ 2659/80 ανακήρυξε το δάσος της Δαδιάς ως Προστατευόμενη Περιοχή και οριοθετήθηκαν δυο πυρήνες αυστηρής προστασίας με απαγόρευση κάθε επιβλαβούς ανθρώπινης δραστηριότητας. Στις ενέργειες αυτές συμπεριλαμβάνεται και ο καθορισμός μιας περιφερειακής ζώνης εκτός των ορίων των πυρήνων, εντός της οποίας ισχύει ειδικό προστατευτικό καθεστώς (απαγόρευση ορισμένων μόνο δραστηριοτήτων) [1].
Η προστασία του πληθυσμού του μαυρόγυπα (*Aegypius monachus*) ήταν ο κύριος στόχος της διαχείρισης της προστατευόμενης περιοχής. Τα τελευταία χρόνια αρκετές έρευνες έχουν ασχοληθεί με την μελέτη και την προστασία της βιοποικιλότητας του δάσους της Δαδιάς [5, 7, 12].
Προκειμένου να μελετηθούν τα οικοσυστήματα είναι απαραίτητο οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων να κατανοήσουν τις χωροχρονικές αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτά. Η μελέτη της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα αλλά και των βιοφυσικών παραμέτρων των αλλαγών που συμβαίνουν στα δασικά οικοσυστήματα καθώς και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των εφαρμοσμένων προγραμμάτων για να μειωθούν αυτές οι επιδράσεις είναι ένας σημαντικός ερευνητικός στόχος [6,13,14].
Η αποτελεσματική διαχείριση του δάσους και άλλων φυσικών πόρων απαιτεί την κατανόηση της εξέλιξής τους στο χώρο και τον χρόνο [9]. Η αυξανόμενη ανησυχία για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας των δασικών οικοσυστημάτων δημιουργεί τις ανάγκες εύρεσης πληροφοριών και εργαλείων όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα οποία είναι απαραίτητα για τη διαχείριση του τεράστιου όγκου των διάφορων χωρικών δεδομένων. Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων μπορεί να αποδειχθεί ανεκτίμητο εργαλείο για ένα εύρος προβλημάτων διαχείρισης των φυσικών πόρων συμπεριλαμβανομένων των χρήσεων γης και των αλλαγών τους [4].
Η παρούσα μελέτη έχει στόχο την ανάπτυξη ενός Γ.Π.Σ. για (α) να προσδιορίσει τις χρήσεις γης του δάσους της Δαδιάς για τα χρονικά διαστήματα 1945, 1973 και 2001, (β) να εξετάσει τις αλλαγές χρήσεων γης που συνέβηκαν μεταξύ των χρονικών αυτών περιόδων και γ) να εκτιμήσει την συμβολή γεωμορφολογικών παραμέτρων καθώς και του ανθρώπινου παράγοντα στις αλλαγές αυτές.

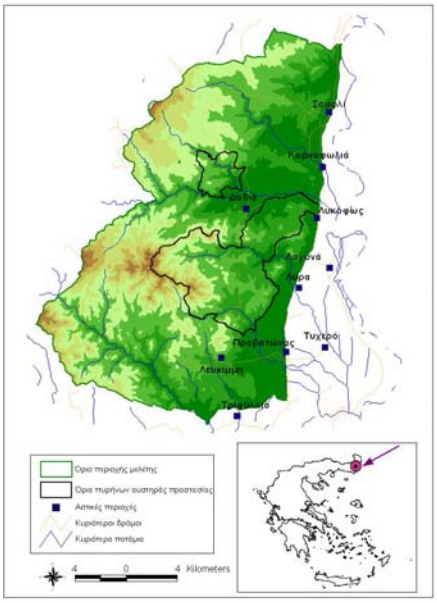
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Το δάσος της Δαδιάς βρίσκεται στην Θράκη και ειδικότερα στον νομό Έβρου (Εικόνα 1) και αποτελεί ένα σημαντικό οικοσύστημα για ένα μεγάλο πλήθος χλωρίδας και πανίδας καλύπτοντας έκταση περίπου 43.000 εκταρίων συμπεριλαμβανομένων δύο ζωνών αυστηρής προστασίας που καλύπτουν συνολικά 7.250 εκτάρια.
Το δάσος της Δαδιάς έχει μεγάλη ορνιθολογική αξία διότι φιλοξενεί 36 από τα 38 είδη ευρωπαϊκών αρπακτικών πουλιών [11]. Η περιοχή καλύπτεται από πεύκα (*Pinus brutia*, *Pinus nigra*) και δρύες (*Quercus frainetto*, *Quercus cerris*, *Quercus pubescens*) [1].

Η περιοχή είναι λοφώδης, με υψόμετρο που ποικίλλει μεταξύ 20 και 640 μ και γενικά έχει μικρές κλίσεις, αφού ποσοστό 90% της περιοχής περιλαμβάνει κλίσεις μέχρι 20%. Το κλίμα είναι υπο-μεσογειακό με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -19 έως 40 ^{0}C και οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις μεταξύ 556 και 916 χιλ. [1]. Οι περιοχές με νότιες και μικρές κλίσεις είναι γενικά πιο ζεστές και ξηρές ενώ στις βόρειες και μεγάλες κλίσεις επικρατεί δροσιά και υγρασία. Η επιρροή των βόρειων ανέμων μετασχηματίζει το κλίμα από υπό-μεσογειακό κατά μήκος της ακτής σε ηπειρωτικό προς τα βουνά. Αυτός ο έντονος ηπειρωτικός χαρακτήρας σε μικρή απόσταση από την θάλασσα δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για δημιουργία βιοτόπων που σε άλλα μέρη της Μεσογείου είτε δεν βρίσκονται καθόλου είτε βρίσκονται στα πολύ μεγάλα υψόμετρα.

Οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες περιλαμβάνουν τουρισμό και παραδοσιακές μορφές γεωργίας. και κτηνοτροφίας. Η κύρια γεωργική δραστηριότητα είναι η καλλιέργεια καλαμποκιού, σίτου, ηλίανθου και βαμβακιού. Υπάρχουν επίσης πειραματικοί αγροί οργανικής γεωργίας.



Εικόνα 1. Το δάσος της Δαδιάς .

2.2. Δεδομένα

Οι κύριες πηγές δεδομένων ήταν 42 αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:42,000 του 1945 και 210 αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:15,000 του 1973 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Οι αεροφωτογραφίες αφού σαρώθηκαν, αναγνωρίστηκαν και ψηφιοποιήθηκαν, διορθώθηκαν γεωμετρικά με συντεταγμένες ΕΓΣΑ87. Από την ερμηνεία των αεροφωτογραφιών παρήχθησαν οι αντίστοιχοι χάρτες χρήσεων γης για το 1945 και το 1973. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε ένας ψηφιακός χάρτης χρήσεων γης της περιοχής για το έτος 2001 που δημιουργήθηκε από δορυφορική εικόνα Iconos (Ιούλιος 2001), όπως επίσης το οδικό και υδρογραφικό δίκτυο, οι αστικές περιοχές και οι ισοϋψείς των 20μ, τα οποία προμηθευτήκαμε από το WWF-Ελλάς [10].

Ο γεωλογικός και εδαφολογικός χάρτης κλίμακας 1:50,000 της περιοχής μας δόθηκε από το Ίδρυμα Δασικών Ερευνών του Υπουργείου Γεωργίας [2]. Το σύστημα χαρτογράφησης που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των χαρτών αυτών [2] ταξινομεί το βάθος του εδάφους σε εννέα κατηγορίες: 1: Βαθύ, 2: Βαθύ και αβαθές, 3: Βαθύ και βράχος, 4: Αβαθές και βαθύ, 5: Αβαθές, 6: Αβαθές και βράχος, 7: Βράχος και βαθύ, 8: Βράχος και αβαθές και 9: Βράχος. Η διάβρωση είναι ταξινομημένη σε εννέα επίσης κατηγορίες: 1: Καμία, 2: Καμία και μέτρια, 3: Καμία και έντονη, 4: Μέτρια και καμία, 5: Μέτρια, 6: Μέτρια και έντονη, 7: Έντονη και καμία, 8: Έντονη και μέτρια και 9: Έντονη. Όταν οι κατηγορίες του βάθους εδάφους και της διάβρωσης προσδιορίζονται με δύο συστατικά (π.χ. βαθύ και αβαθές ή καμία και μέτρια) το πρώτο συστατικό είναι το κυρίαρχο. Η γεωλογία της περιοχής είναι ταξινομημένη σύμφωνα με το μητρικό υλικό και συγκεκριμένα: Ζ: Γνεύσιοι, Π: Περιδοτίτες, Τ: Τριτογενείς αποθέσεις (και ηφαιστειακοί τόφφοι), Φ: Μικτός φλύσχης, Χ: Σχιστόλιθοι, Ν: Γρανίτες και Α: Αλλούβια.
Η έκθεση ταξινομήθηκε σε εννέα κατηγορίες: Επίπεδη, Ανατολική, Βόρεια, Βορειοανατολική, Βορειοδυτική, Νότια, Νοτιοανατολική, Νοτιοδυτική και Δυτική.

2.3. Χάρτες χρήσεων γης και επεξεργασίες Γ.Π.Σ.

Για να δημιουργηθούν οι χάρτες χρήσεων γης για το 1945 και το 1973 και να μελετηθούν οι αλλαγές που συνέβηκαν κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων οι ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες χρήσεων γης καταγράφηκαν κατά την ερμηνεία των αεροφωτογραφιών: δάσος, ανοίγματα, καλλιέργειες και αστικές περιοχές. Τα λιβάδια και οι θάμνοι χαρτογραφήθηκαν επίσης αλλά στην παρούσα μελέτη ταξινομήθηκαν ως ανοίγματα.
Για τον προσδιορισμό των χρήσεων γης από τις αεροφωτογραφίες λήφθηκαν υπόψη οι ακόλουθες υποθέσεις.

(α) οποιοδήποτε πολύγωνο που καλύπτεται περισσότερο από 40% από δέντρα ταξινομήθηκε ως «δάσος». Μια περαιτέρω ταξινόμηση του δάσους έγινε με το ποσοστό της πυκνότητας των δέντρων ως forest50 (40%<πυκνότητα δέντρων≤50%), forest60, forest70, forest80, forest90 και forest100. Εάν το ποσοστό του δάσους στο πολύγωνο ήταν 40% τότε, όταν και τα ποσοστά των λιβαδιών και των θάμνων ήταν λιγότερο από 40%, το πολύγωνο ταξινομήθηκε ως forest40, διαφορετικά όταν οι περιοχές λιβαδιών ή θάμνων ήταν περισσότερο από 40% του πολυγώνου, το πολύγωνο ταξινομήθηκε ως openings40.

(β) όταν το ποσοστό της περιοχής ενός πολυγώνου που καλύπτεται από δέντρα ήταν λιγότερο από 40%, δηλαδή 0%, 10%, 20%, 30%, το πολύγωνο ταξινομήθηκε ως openings0, openings10, openings20 και openings30 αντίστοιχα.

(γ) οποιαδήποτε καλλιεργημένη περιοχή χαρακτηρίστηκε ως καλλιέργειες.

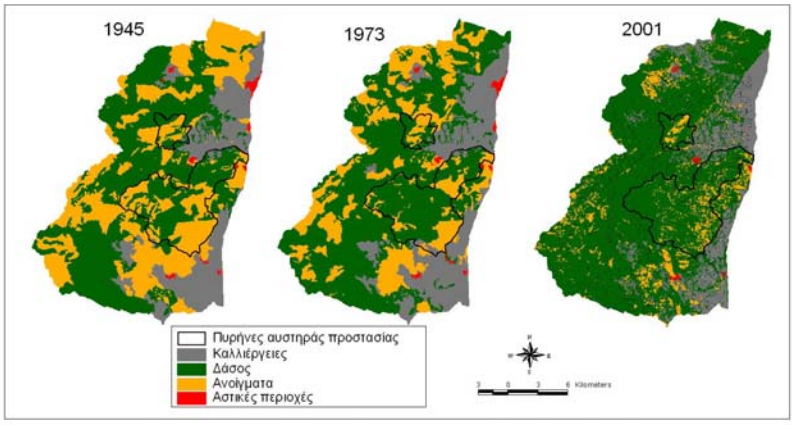
(δ) τα χωριά και οι πόλεις χαρακτηρίστηκαν ως αστικές περιοχές.

Ο χάρτης χρήσεων γης του 2001 χρησιμοποιεί παρόμοια ταξινόμηση με αυτήν που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των χαρτών χρήσεων γης του 1945 και του 1973. Όλα τα δεδομένα, χωρικά και μη, αποθηκεύτηκαν σε ένα Γ.Π.Σ. που αναπτύχθηκε για τους σκοπούς αυτής της μελέτης με την βοήθεια του εμπορικού πακέτου ArcGIS [3].
Εφαρμόζοντας τεχνικές επικάλυψης στους χάρτες χρήσεων γης των τριών χρονικών περιόδων, προσδιορίσθηκαν οι αλλαγές στις χρήσεις γης μεταξύ 1945, 1973 και 2001.
Από τις ισοϋψείς καμπύλες δημιουργήθηκε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model – DEM) της περιοχής. Από αυτό το μοντέλο παρήχθησαν τρία πλεγματικά επίπεδα πληροφοριών για το υψόμετρο, την κλίση και την έκθεση αντίστοιχα, ανάλυσης 20 x 20μ.

Επιπλέον, δύο πλεγματικά επίπεδα της ίδιας ανάλυσης παρήχθησαν αποθηκεύοντας σε κάθε κυψελίδα την απόσταση από τον κοντινότερο δρόμο και την κοντινότερη αστική περιοχή. Ειδικά, η απόσταση από τις αστικές περιοχές υπολογίστηκε για κάθε κυψελίδα ως η απόσταση από το όριο της κοντινότερης αστικής περιοχής.
Για να εξεταστεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των παραμέτρων (υψόμετρο, κλίση, απόσταση από τους δρόμους και τις αστικές περιοχές) στις τέσσερις χρήσεις γης των τριών χρονικών περιόδων εφαρμόσθηκε ανάλυση διασποράς (ANOVA) ακολουθούμενη από τον έλεγχο Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference – LSD test).
Τρία ακόμη πλεγματικά επίπεδα δημιουργήθηκαν απεικονίζοντας τα γεωλογικά και εδαφολογικά δεδομένα (γεωλογία, βάθος εδάφους και διάβρωση) της περιοχής.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Χρήσεις γης και αλλαγές των χρήσεων γης



Εικόνα 2. Χάρτες χρήσεων γης των τριών χρονικών περιόδων.

Το δάσος είναι η μεγαλύτερη χρήση εδάφους της περιοχής (Εικόνα 2). Καταλαμβάνει 46%, 54% και 72% για τις χρονικές περιόδους 1945, 1973 και 2001 αντίστοιχα. Για τις ίδιες χρονιές τα ανοίγματα καλύπτουν 35%, 25% και 9% αντίστοιχα ενώ η κάλυψη γεωργικών εδαφών ανέρχεται σε 18%, 20% και 16% αντίστοιχα (Πίνακας 1). Οι αστικές περιοχές δεν συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα διότι καλύπτουν λιγότερο από 1% της περιοχής μελέτης και δεν παρουσίασαν σημαντική αλλαγή μεταξύ των τριών αυτών χρονικών περιόδων.
Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν (Πίνακας 1) ότι η δασική περιοχή στην περιφερειακή ζώνη αυξήθηκε σημαντικά. Καλύπτει 45% και 51% της περιοχής για τα έτη 1945 και 1973 αντίστοιχα, ενώ μετά από τον ανακήρυξη της περιοχής ως προστατευόμενη, το δάσος καλύπτει 70% της περιφερειακής ζώνης. Τα ανοίγματα στην περιφερειακή ζώνη μειώθηκαν από 33% το 1945 σε 24% το 1973 και 8% το 2001. Οι καλλιέργειες στην περιφερειακή ζώνη αυξήθηκαν κατά 12% μεταξύ 1945 και 1973 και μειώθηκαν κατά 21% περίπου μεταξύ 1973 και 2001.

Πίνακας 1. Η έκταση των χρήσεων γης στις ζώνες αυστηράς προστασίας και στην περιφερειακή ζώνη.

Χρήσεις γης	Ζώνες	Χρονικές περίοδοι						Ποσοστό αλλαγής	
		1945		1973		2001		1945-1973	1973-2001
		έκταση (ha)	%	έκταση (ha)	%	έκταση (ha)	%	%	%
δάσος	αυστηρής προστασίας	3771	52	5007	69	6017	82	33	20
	περιφερειακή	16048	45	18390	51	25122	70	15	37
	συνολική έκταση	19820	46	23397	54	31261	72	18	33
ανοίγματα	αυστηρής προστασίας	3328	46	2009	28	1007	14	-40	-50
	περιφερειακή	11941	33	8701	24	2862	8	-27	-67
	συνολική έκταση	15269	35	10710	25	3869	9	-30	-64
αγροτικές εκτάσεις	αυστηρής προστασίας	191	3	273	4	164	2	43	-40
	περιφερειακή	7637	21	8536	24	6721	19	12	-21
	συνολική έκταση	7828	18	8809	20	6897	16	13	-22

Τα ποσοστά του δάσους στις περιοχές αυστηρής προστασίας για τις τρεις χρονικές περιόδους 1945, 1973 και 2001 είναι 52%, 69% και 82% αντίστοιχα. Τα ποσοστά των ανοιγμάτων για τις ίδιες περιόδους είναι 46%, 28% και 14% αντίστοιχα. Οι καλλιέργειες καλύπτουν ένα πολύ μικρό ποσοστό της ζώνης αυστηρής προστασίας και τις τρεις χρονιές (2% με 4%).

Η αυστηρή προστασία των δυο πυρήνων οδήγησε στην αύξηση της δασικής έκτασης. Συγχρόνως, προσπάθεια καταβλήθηκε να διατηρηθεί ένας αριθμός ανοικτών θόλων δέντρων σε ορισμένες περιοχές προκειμένου να διατηρηθούν οι βιότοποι όπου τα αρπακτικά πουλιά μπορούν να θηρεύσουν [1]. Γενικά όμως τα ανοίγματα μειώθηκαν κατά 50% στις περιοχές αυστηρής προστασίας μετά από την προστασία και 67% στην περιφερειακή ζώνη (Πίνακας 1).

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2 ένα μεγάλο ποσοστό του δάσους παρέμεινε αμετάβλητο στην περιφερειακή ζώνη/ζώνη αυστηρής προστασίας κατά τη διάρκεια των τριών χρονικών περιόδων, δηλαδή 74/83% μεταξύ 1945 και 1973, και 91/91% μεταξύ 1973 και 2001. Επίσης 40/43% των ανοιγμάτων και 89/66% των καλλιεργειών παρέμειναν αμετάβλητα μεταξύ του 1945-1973 ενώ μεταξύ του 1973-2001 οι αμετάβλητες περιοχές είναι 19/31% για τα ανοίγματα και 63/30% για τις καλλιέργειες.

Στην περιφερειακή ζώνη/ζώνη αυστηρής προστασίας, το δάσος έχασε 23/15% της έκτασής του σε ανοίγματα μεταξύ 1945 και 1973 ενώ την ίδια περίοδο τα ανοίγματα έχασαν 50/55% της έκτασής τους σε δάσος. Κατά την περίοδο 1973-2001 69/65% της περιοχής των ανοιγμάτων μετατράπηκε σε δάσος. Από το 1945 ως το 1973, περίπου 8/20% των καλλιεργειών μετατράπηκαν σε δάσος ενώ αυτό το ποσοστό αυξήθηκε σε 27/63% την επόμενη περίοδο 1973-2001.

Πίνακας 2. Ποσοστά των χρήσεων γης που μετατράπηκαν σε άλλες χρήσεις κατά τις τρεις χρονικές περιόδους.

Αλλαγή		Ποσοστό αλλαγής μεταξύ των χρονικών περιόδων			
από	Σε	1945-1973	1973-2001	1945-1973	1973-2001
		Περιφερειακή ζώνη (%)		Ζώνες αυστηρής προστασίας (%)	
δάσος	Δάσος	74	91	83	91
	Ανοίγματα	23	4	15	7
	αγροτικές εκτάσεις	3	2	2	1
ανοίγματα	Δάσος	50	69	55	65
	Ανοίγματα	40	19	43	31
	αγροτικές εκτάσεις	10	10	3	3
αγροτικές εκτάσεις	Δάσος	8	27	20	63
	Ανοίγματα	3	5	14	4
	αγροτικές εκτάσεις	89	63	66	30

Το υψηλό ποσοστό της μετατροπής των καλλιεργειών σε δάσος την περίοδο 1973-2001 οφείλεται κυρίως στη σημαντική μετανάστευση του πληθυσμού μακριά από τα χωριά στις κωμοπόλεις και τις πόλεις. Η αστικοποίηση ήταν μια κοινωνική τάση σε ολόκληρη την Ελλάδα την μεταπολεμική περίοδο. Αυτό έχει ασκήσει διπλή επίδραση στην περιοχή του Έβρου. Μια μείωση του συνολικού πληθυσμού της περιοχής οφείλεται και στην εσωτερική μετανάστευση προς τα μεγάλα αστικά κέντρα της Αθήνας και Θεσσαλονίκης και την εξωτερική μετανάστευση προς τη δυτική Ευρώπη κυρίως Γερμανία.

3.2. Παράμετροι

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν σε αυτήν την εργασία ομαδοποιήθηκαν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τέσσερις αριθμητικές παραμέτρους: υψόμετρο, κλίση, απόσταση από τους δρόμους και απόσταση από αστικές περιοχές. Η δεύτερη ομάδα περιέχει τις κατηγορικές παραμέτρους: έκθεση, γεωλογία, βάθος εδάφους και διάβρωση.

Οι μεγαλύτερες τιμές του υψομέτρου και της κλίσης παρατηρούνται στη κατηγορία του δάσους, και ακολουθούν αυτές της κατηγορίας των ανοιγμάτων. Επίσης το δάσος και τα ανοίγματα είναι μακρύτερα από τους δρόμους από ότι οι καλλιέργειες και οι αστικές περιοχές. Οι καλλιέργειες και οι αστικές περιοχές βρίσκονται στα επίπεδα εδάφη με τις χαμηλές κλίσεις κοντά στους δρόμους.

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) έδειξε σημαντική στατιστική διαφορά ($p<0.001$) μεταξύ των μέσων τιμών των παραμέτρων. Αυτό σημαίνει ότι κάθε χρήση γης βρίσκεται σε περιοχές με διαφορετικές τιμές αυτών των παραμέτρων (Πίνακας 3).

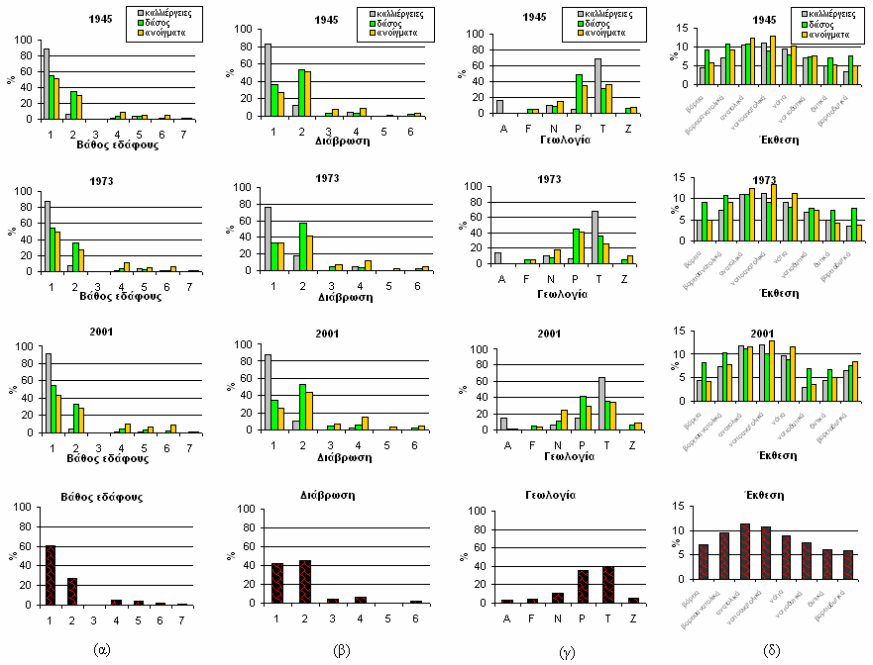
Αν και υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών των παραμέτρων για τις διαφορετικές χρήσεις γης, υπάρχει μια σχέση μεταξύ των μέσων τιμών α) του δάσους και των ανοιγμάτων και β) των καλλιεργειών και των αστικών περιοχών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ανοίγματα βρίσκονται μέσα στο δάσος και οι καλλιέργειες κοντά στις αστικές περιοχές.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης αριθμητικών παραμέτρων.

	1945		1973		2001	
	F-value	Επ. σημ.	F-value	Επ. σημ	F-value	Επ. σημ
Υψόμετρο	130080,64	<0,001	129759,01	<0,001	54174,13	<0,001
Κλίση	51936,71	<0,001	59790,88	<0,001	37865,66	<0,001
Απ. Δρόμους	7459,07	<0,001	9329,09	<0,001	7869,55	<0,001
Απ. Κατ. Περ.	43960,62	<0,001	60736,25	<0,001	31709,73	<0,001

Στις περιοχές αυστηρής προστασίας το οδικό δίκτυο είναι λιγότερο πυκνό από ότι στην περιφερειακή ζώνη. Επομένως οι αλλαγές του δάσους στις περιοχές αυστηρής προστασίας εμφανίζονται στις μεγαλύτερες αποστάσεις από τους δρόμους, από ότι στην περίπτωση της περιφερειακής ζώνης. Επίσης, δεδομένου ότι οι περιοχές αυστηρής προστασίας είναι πιο κοντά στις αστικές περιοχές από ότι η περιφερειακή ζώνη, οι αλλαγές του δάσους σ' αυτές εμφανίζονται σε μικρότερες αποστάσεις από τις αστικές περιοχές.

Οι κατανομές συχνοτήτων των τεσσάρων κατηγορικών μεταβλητών (βάθος εδάφους, γεωλογία, διάβρωση και έκθεση) για κάθε χρήση γης και για κάθε χρονική περίοδο παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Κατανομές συχνοτήτων των κατηγορικών μεταβλητών.

Τα εδάφη της περιοχής είναι αρκετά βαθιά. Σχεδόν 60% των εδαφών ανήκουν στην κατηγορία 1 (βαθιά εδάφη) και 30% στην κατηγορία 2. Η πλειοψηφία των καλλιεργημένων εκτάσεων βρίσκεται στα βαθιά εδάφη (90%), ενώ η πλειοψηφία του

δάσους και των ανοιγμάτων βρίσκονται στις κατηγορίες 1 (≈ 55%) και 2 (≈ 35%) (Εικόνα 3α).
Περίπου 85% των εδαφών είναι μη-διαβρωμένα ή διαβρωμένα ελαφρώς. Η πλειοψηφία ξανά των καλλιεργημένων εκτάσεων (≈ 80%) βρίσκεται στην κατηγορία διάβρωσης 1 ενώ το δάσος και τα ανοίγματα βρίσκονται κυρίως στην κατηγορία διάβρωσης 2 (≈ 50%) (Εικόνα 3β).
Η γεωλογία της περιοχής αποτελείται από: τριτογενείς αποθέσεις (40%), περιδοτίτες (36%), γρανίτες (11%) και 13% από γνεύσιους, μικτούς φλύσχεις και αλλούβια. Περίπου 70% των καλλιεργειών βρίσκονται στις τριτογενείς αποθέσεις, 18% στα αλλούβια και το υπόλοιπο στα άλλα μητρικά υλικά. Το δάσος βρίσκεται κυρίως στους περιδοτίτες (≈ 50%) και στις τριτογενείς αποθέσεις (≈ 30%). Τα ανοίγματα παρατηρούνται κυρίως στους περιδοτίτες και τις τριτογενείς αποθέσεις με ποσοστά που ποικίλλουν μεταξύ 30%-40% για τις τρεις χρονικές περιόδους (Εικόνα 3γ).
Τα επίπεδα εδάφη καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής (≈ 33%) ενώ όλες οι υπόλοιπες κλάσεις έκθεσης κυμαίνονται μεταξύ 8%-12%. Υπάρχουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ των κατανομών των τριών χρήσεων γης στις διάφορες κατηγορίες έκθεσης (Εικόνα 3δ).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο μελέτη αυτή διερευνήθηκε η ανάπτυξη του δάσους της Δαδιάς κατά τη διάρκεια των τελευταίων 60 ετών, κάτω από τη συνδυασμένη επίδραση περιβαλλοντικών παραμέτρων και της ανθρώπινης παρέμβασης. Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων συνέβαλε σημαντικά στον προσδιορισμό των αλλαγών χρήσεων γης για τις τρεις χρονικές περιόδους 1945, 1973 και 2001. Παρατηρήθηκε ότι το ποσοστό αύξησης του δάσους όπως επίσης και το ποσοστό μείωσης των ανοιγμάτων είναι μεγαλύτερο κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου (1973-2001) από ότι κατά τη διάρκεια της προηγούμενης (1945-1973). Αυτό οφείλεται κυρίως στην εφαρμογή, το 1980, ενός καθεστώτος προστασίας, όπου οριοθετήθηκαν δύο πυρήνες αυστηρής προστασίας και μία περιφερειακή ζώνη με ειδική διαχείριση..
Το δάσος ευνοήθηκε στα μεγαλύτερα υψόμετρα και στις πιο μεγάλες κλίσεις από ότι τα ανοίγματα. Η μικρή απόσταση από τους δρόμους επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη του δάσους διότι κοντά σε αυτούς η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι πιο έντονη. Οι καλλιέργειες παρατηρήθηκαν σε χαμηλές κλίσεις και κοντά σε δρόμους.
Το βάθος του εδάφους παίζει καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη του δάσους γι αυτό και τα περισσότερα δάση βρίσκονται στα βαθιά εδάφη, εκεί δηλαδή που μπορούν να αναπτύξουν το ριζικό τους σύστημα. Επίσης το δάσος παρατηρήθηκε όπως ήταν αναμενόμενο σε μη διαβρωμένα εδάφη. Οι τριτογενείς αποθέσεις ευνοούν την ανάπτυξη του δάσους, αλλά ένα μεγάλο ποσοστό του δάσους βρίσκεται στους περιδοτίτες παρόλο που δεν αποτελούν καλό μητρικό υλικό. Φαίνεται ότι ο παράγοντας αυτός επηρέασε λιγότερο μιας και το βάθος του εδάφους και η διάβρωση είχαν πολύ καλές τιμές στις περιοχές αυτές.

Ευχαριστίες
Οι συγγραφείς θα επιθυμούσαν να εκφράσουν τη εκτίμησή τους στο WWF-Ελλάς για την προμήθεια μέρους των δεδομένων. Ευχαριστούμε επίσης το Ίδρυμα Δασικών Ερευνών του Υπουργείου Γεωργίας για την προμήθεια των αναλογικών γεωλογικών και εδαφολογικών δεδομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αδαμακόπουλος. Τ.. Γκατζογιάννης. Σ.. Ποϊραζίδης. Κ.. 1995. Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη δάσους Δαδιάς. Αθήνα, 1995
2. Βαρδάκης. Γ.. Ζιάγκας. Ε.. Νάκος. Γ.. 1996. Vardakis, G. Ziangas, E. Nakos, G. 1996. Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο χάρτη Μέγα Δέρειου και Σουφλίου κλίμακας 1: 50.000.
3. ESRI. 2002. ArcGIS. Redlands California USA.
4. Gautam. A. P.. Webb. E. L.. Shivakoti. G. P.. Zoebisch. M. A.. 2003. Land use dynamics and landscape change pattern in a mountain watershed in Nepal. Agriculture, Ecosystems and Environment 99: 83-86.
5. Grill. A. And Cleary. D. F. R.. 2003. Diversity patterns in butterfly communities of the Greek nature reserve Dadia. Biological Conservation. 114. 427-436.
6. Kammerbauer. J. And Ardon. C.. 1999. Land use dynamics and landscape change pattern in a typical watershed in the hillside region of central Honduras. Agriculture, Ecosystems and Environment. 75. 93-100.
7. Kati. V.. Devillers. P.. Dufrene. M.. Legakis. A.. Vokou. D.. Lebrum. P.. 2004. Hotspots, compementarity or representativeness? Designing optimal small-scale reserves for biodiversity conservation. Biological Conservation. 120. 471-480.
8. Kati. V. And Willemse. F.. 2001. Grasshoppers and crickets of the Dadia Forest Reserve (Thraki, Greece) with a new record to the Greek fauna: *Paranocarodes chopardi* Pechev 1965 (Orthoptera, Pamphagidae). Articulata. 1. 11-19.
9. Naiman. R. J.. Bisson. P. A.. Turner. M. G.. 1997. Approaches to management at the watershed scale. In: Kohm, K.A., Franklin, J.F. (Eds.), Creating a Forestry for the 21st Century: The Science of Ecosystem Management. Island Press.
10. Ποϊραζίδης. Κ.. 2002. Συστηματική Παρακολούθηση της Προστατευόμενης Περιοχής του Δάσους Δαδιά – Λευκίμης – Σουφλίου. Καταγραφή χαρακτηριστικών τοπίου δάσους Δαδιάς περιόδου 2001. WWW-Ελλάς. Αθήνα. 38 σελ. (Αδημοσίευτη εργασία).
11. Poirazidis. K.. Skartsi. Th.. Katsadorakis. G.. 2002. Monitoring Plan for the Protected Area of Dadia-Lefkimi-Soufli Forest. WWF-Greece (unpublished study). Athens.
12. Poirazidis. K.. Goutner. V.. Skartsi. Th.. Stamou. G.. 2004. Modelling nesting habitat as a conservation tool for the Eurasian black vulture (Aegypius monachus) in Dadia Nature Reserve, northeastern Greece. Biological Conservation. 118. 235-248.
13. Rao. K. S. And Pant. P.. 2001. Land use dynamics and landscape change pattern in a typical micro watershed in the mid elevation zone of central Himalaya, India. Agriculture, Ecosystems and Environment. 86. 113-123.
14. Van Laake. P. E. And Sanchez-Azofeifa. G. A.. 2004. Focus on deforestation: zooming in on hot spots in highly fragmented ecosystems in Costa Rica. Agriculture, Ecosystems and Environment. 102. 3-15.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΕΙΩΝ ΑΥΓΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Κ. Αργυροπούλου,* Νικολ. Χριστοπούλου,* F.F. Wembe-Foba-Kue,* Δ. Γεωργακάκης*

* Γ.Π.Α. – Τμήμα Α.Φ.Π.& Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 – 11855, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής εφαρμογής διαλύματος α) μελάσσας και β) θειϊκού οξέος, σε στερεά απόβλητα ενός πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής, κατά τη φάση της κομποστοποίησής τους, στην εξουδετέρωση των οσμών. Η προσθήκη μελάσσας, αν και επιτάχυνε προσωρινά την όλη διαδικασία, δεν διαφοροποιήθηκε ως προς το μάρτυρα από πλευράς έκλυσης οσμών. Αντίθετα, η προσθήκη του διαλύματος θειϊκού οξέος έδειξε πλήρη εξουδετέρωση των οσμών σε μια τιμή pH 6,8 και κανονικότητα του διαλύματος 0,5N. Το καλύτερο σημείο εφαρμογής του διαλύματος οξέος στα απόβλητα βρέθηκε ότι είναι στο 30ό περίπου μέτρο κατά μήκος του διαδρόμου κομποστοποίησης (τύπου OKADA).

ODOR CONTROL DURING COMPOSTING OF LAYER POULTRY FARM WASTES

K. Argyropoulou,* Nikol. Christopoulou,* F.F. Wembe-Foba-Kue* D. Georgakakis*

Agronomic University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering
75, Iera Odos street – 11855 Greece

ABSTRACT

The results of adding a solution of a) melassa and b) sulphuric acid to layer poultry wastes, during their composting, are presented. Melassa addition, despite a temporary enhancement of the composting process, finally did not affect odors emission compared to the control. Sulphuric acid addition resulted in a complete odor reduction at a pH 6,8 and acid solution normality 0,5N. The best point of acid solution application was found to be on the 30-meter from the beginning of the composting isle (OKADA system).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα απόβλητα πτηνοτροφείων αυγοπαραγωγής εκλύουν έντονα ενοχλητικές οσμές μεταξύ των οποίων ξεχωρίζει η οσμή της αμμωνίας, η οποία χαρακτηρίζει τα απόβλητα αυτά. Θεωρούνται από τα πιο ενοχλητικά και δύσκολα στο χειρισμό τους, δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα λειτουργίας των πτηνοτροφικών επιχειρήσεων.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος έχουν εφαρμοστεί και επικρατήσει στη χώρα μας δύο μηχανικά συστήματα, τύπου 'HOSOYA' και 'OKADA'. Μετατρέπουν τα απόβλητα αυτά σε κόμποστ, μορφή με την οποία μπορούν χωρίς οσμές και ενοχλήσεις να αξιοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικό.

Τα απόβλητα των πτηνοτροφείων όμως έχουν το μειονέκτημα του μικρού λόγου άνθρακα προς άζωτο (C/N<12/1), γεγονός που προκαλεί έκλυση αμμωνίας κατά την επεξεργασία τους και δυσχεραίνει τη διαδικασία παραγωγής κόμποστ.

Στη μελέτη αυτή, στόχος ήταν η αντιμετώπιση των οσμών στις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης των αποβλήτων ενός πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής κατά το σύστημα OKADA με εφαρμογή διαλύματος α) μελάσσας και β) θειϊκού οξέος. Επίσης η εξέταση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και του δυναμικού φυτοτοξικότητας των αποβλήτων κατά την κομποστοποίησή τους, μετά την ανάμιξή τους με τα ως άνω δύο υλικά.

Η μελάσσα είναι ένα βιομηχανικό προϊόν, το οποίο προέρχεται από την επεξεργασία ζαχαρότευτλων για παραγωγή ζάχαρης. Είναι πλούσια σε άνθρακα και φτωχή σε άζωτο (N=1,85%), με αποτέλεσμα κατά την προσθήκη της στα απόβλητα των πτηνοτροφείων να επιφέρει αύξηση του λόγου άνθρακα προς άζωτο (C/N), καλύτερη αξιοποίηση του αμμωνιακού αζώτου από τους μικροοργανισμούς και κατ'επέκταση μείωση της εκλυόμενης περίσσειας αμμωνίας.

Το θειϊκό οξύ (H_2SO_4) είναι ένα κοινό εμπορικό σκεύασμα μικρού κόστους, το οποίο δεσμεύει την αμμωνία σχηματίζοντας άλας θειϊκού αμμωνίου :

$$2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4$$

Α. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΛΑΣΣΑΣ.

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις πλαστικοί διάτρητοι κάδοι, οι οποίοι είχαν. τοποθετηθεί σε κλειστό θερμαινόμενο χώρο για διατήρηση της θερμοκρασίας. Στον πρώτο (κάδος - μάρτυρας) τοποθετήθηκε νωπή κοπριά πτηνοτροφείου βάρους 46 kg και έγινε διαβροχή μόνο με νερό, βάρους 2,3 kg ή $5\%_{κ.β.}$ Στο δεύτερο κάδο τοποθετήθηκε νωπή κοπριά βάρους 44 kg, στην οποία έγινε διαβροχή με αραιωμένη μελάσσα κατά 20%, βάρους 2,2 kg ή $5\%_{κ.β.}$ Τέλος, στον τρίτο κάδο τοποθετήθηκε νωπή κοπριά βάρους 45 kg στην οποία έγινε διαβροχή με αραιωμένη μελάσσα κατά 14%, βάρους 2,25 kg ή $5\%_{κ.β.)}$ Η προσθήκη μελάσσας στην κοπριά περιορίστηκε στο ποσοστό 5%, λόγω της υψηλής της αρχικής υγρασίας (59,2%), καθόσον είναι γνωστό πως η υψηλή υγρασία (πάνω από 60%) δυσχεραίνει τη διαδικασία κομποστοποίησης (2).

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της κοπριάς ήταν : pH=8,69, C/N=11,7, ολικά στερεά (Ο.Σ.) $40,8\%_{κ.β.}$ και πτητικά στερεά (Π.Σ.) $64,4\%_{ΟΣ}$ και της μελάσσας : pH=8,7, N=1,85%, τέφρα 13,59%, πτητικά οξέα 1,41%, ολικά σάκχαρα 50,29%, ολικά στερεά $85,40\%_{κβ}$ και πτητικά στερεά $98\%_{ΟΣ}$.

Με την επιλογή και εφαρμογή των δύο προαναφερθεισών διαλυμάτων αραιωμένης με νερό μελάσσας, 14% και 20% αντίστοιχα, προέκυψε ότι οι μετρήσεις δε διέφεραν πρακτικά μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό λήφθηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων αυτών, που αντιστοιχεί σε μια μέση τιμή αραίωσης 17%.

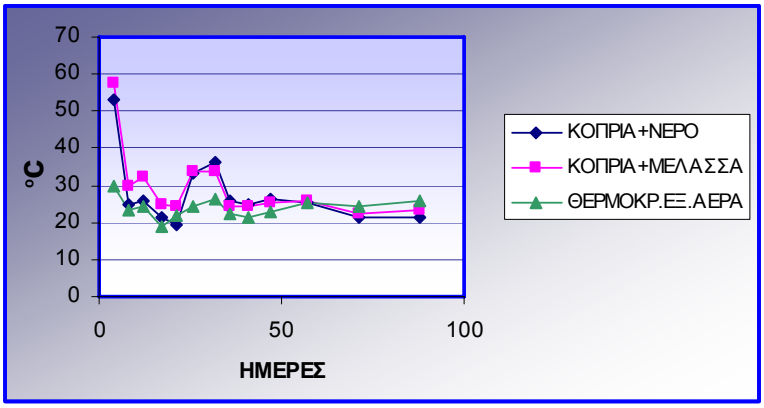
.Κατά τη διάρκεια του πειράματος ελεγχόταν σχεδόν καθημερινά η θερμοκρασία με τη βοήθεια ψηφιακού θερμομέτρου και σύμφωνα με τις τιμές της γινόταν αναμόχλευση του υλικού των κάδων χειρωνακτικά για επαναερισμό. Ειδικότερα, αναμόχλευση γινόταν όταν η θερμοκρασία παρουσίαζε συνεχή πτωτική τάση ή όταν παρέμενε σταθερή για μερικές ημέρες. Η αναμόχλευση συνεχίστηκε μέχρις ότου η θερμοκρασία δε σημείωσε άλλη άνοδο. Τότε θεωρήθηκε ότι είχε τελειώσει το πρώτο στάδιο της κομποστοποίησης (θερμόφιλη φάση) και στη συνέχεια, το περιεχόμενο κάθε κάδου αφέθηκε για 'ωρίμανση'.

Στο σχήμα 1 φαίνονται οι τιμές των μέγιστων θερμοκρασιών (μέσοι όροι τιμών ανά τρεις ημέρες) που επικράτησαν στο υλικό α) του κάδου - μάρτυρα (κοπριά + νερό), β) των κάδων με κοπριά + μελάσσα (μέσοι όροι), καθώς και οι αντίστοιχες μέγιστες τιμές θερμοκρασίας του περιβάλλοντα αέρα για σύγκριση.

Από το σχήμα 1 προκύπτει ότι η μεταβολή του μέσου όρου της μέγιστης θερμοκρασίας των υλικών στους κάδους με τη μελάσσα και των αντίστοιχων τιμών του κάδου - μάρτυρα ακολούθησε σε γενικές γραμμές εκείνη του περιβάλλοντα αέρα. Αυτό μπορεί ν' αποδοθεί στην απευθείας επίδραση της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα στα υλικά των κάδων, εξαιτίας του μικρού τους όγκου. Αρχικά εμφανίζεται μια έξαρση της μέγιστης θερμοκρασίες σε όλους τους κάδους, με ελαφρά μεγαλύτερη εκείνη του μέσου όρου των κάδων με τη μελάσσα και στη συνέχεια απότομη πτώση.

Κατά την 8η και 20η ημέρα γίνονται 2 γυρίσματα των υλικών με αποτέλεσμα να εμφανιστεί νέα άνοδος της θερμοκρασίας και στους τρεις κάδους. Στο πρώτο γύρισμα η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας στους κάδους με τη μελάσσα ήταν σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με εκείνη του κάδου – μάρτυρα. Στο δεύτερο γύρισμα και οι τρεις κάδοι παρουσίασαν την ίδια άνοδο θερμοκρασίας, αρκετά μεγαλύτερη όμως από εκείνη του προηγούμενου γυρίσματος.

Η έναρξη της θερμόφιλης φάσης λοιπόν ήταν εντονότερη στους κάδους με τη μελάσσα συγκριτικά με τον κάδο – μάρτυρα. Την 36η ημέρα γίνεται και τρίτο γύρισμα σ'όλους τους κάδους, χωρίς όμως να εμφανιστεί τη φορά αυτή περαιτέρω άνοδος της μέγιστης θερμοκρασίας, γεγονός που υποδηλώνει την ολοκλήρωση του πρώτου σταδίου (θερμόφιλης φάσης) και την έναρξη του δεύτερου και τελικού σταδίου (φάσης ωρίμανσης) της κομποστοποίησης.



Σχήμα 1. Μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας των υλικών με το χρόνο

Κατά τη φάση της ωρίμανσης παρατηρείται ότι η μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας συμβαδίζει σταθερά με αυτή του περιβάλλοντα αέρα μέχρι το τέλος της διαδικασίας κομποστοποίησης (περίπου την $90^{η}$ ημέρα), οπότε και παρατηρήθηκαν τιμές μέγιστης θερμοκρασίας των υλικών ελαφρά μικρότερες από εκείνες του περιβάλλοντα αέρα.

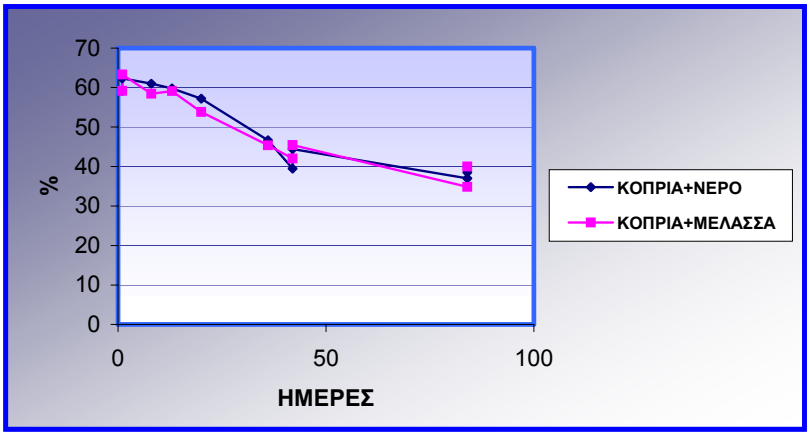
Το φαινόμενο της ανόδου της θερμοκρασίας με τα γυρίσματα και τη διαβροχή μέχρις ότου σταματήσει η άνοδος αυτή με το χρόνο επιβεβαιώνεται στη σχετική βιβλιογραφία (3) .Εξετάζοντας το τελικό προϊόν της διαδικασίας σε κάθε κάδο, προέκυψε ότι το μίγμα κοπριά + μελάσσα παρουσίασε καλύτερη δομή (πιο κοκκώδη) συγκριτικά με εκείνη του μάρτυρα (κοπριά + νερό). Οι οσμές εξουδετερώθηκαν κατά το τέλος του πρώτου μήνα, χωρίς όμως να γίνει δυνατό να διαπιστωθεί κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ των υλικών, λόγω του μικρού κλειστού χώρου, όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

Εκτός της μεταβολής της μέγιστης θερμοκρασίας ελεγχόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα και η μεταβολή της υγρασίας των υλικών, ως ποσοστό $\%_{κ.β.}$ νωπού δείγματος. Διόρθωση της υγρασίας γινόταν με προσθήκη νερού κατά το γύρισμα των υλικών, μόνο όταν το επίπεδο της υγρασίας που προσδιοριζόταν εργαστηριακά ήταν κάτω από τα αποδεκτά όρια των 40% (1). Πρακτικά όμως η εκτίμηση του επιπέδου υγρασίας για την προσθήκη νερού γινόταν με βάση την εμφάνιση του υλικού και στη συνέχεια επιβεβαιωνόταν εργαστηριακά.

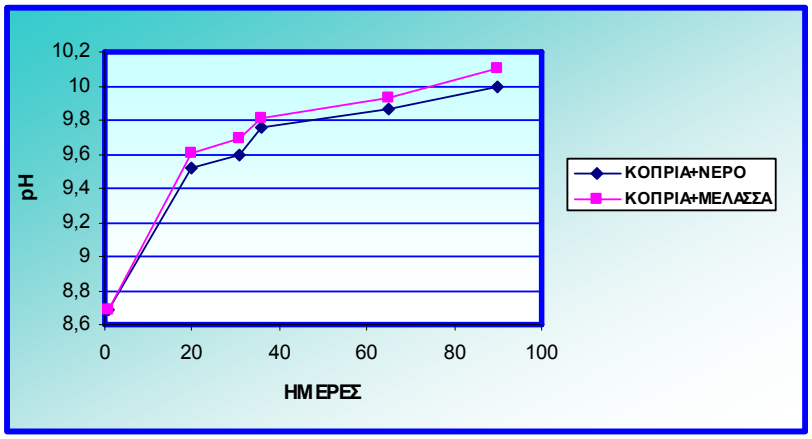
Σύμφωνα με τις τιμές της υγρασίας, όπως αυτές φαίνονται στο σχήμα 2, τα υλικά και στους τρεις κάδους ακολουθούν παρόμοια μεταβολή ακολουθώντας σταθερή πτωτική πορεία. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο, λόγω της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση και τη φυσική εξάτμιση.

Για επιβεβαίωση του τέλους της θερμόφιλης φάσης, έγιναν δύο ακόμα γυρίσματα με παράλληλη διαβροχή των υλικών, την 42η και 84η ημέρα. Δεν παρατηρήθηκε, ούτε τη φορά αυτή, άνοδος της θερμοκρασίας, γεγονός που επιβεβαιώνει το τέλος, όχι μόνο της θερμόφιλης φάσης, αλλά και της όλης διαδικασίας κομποστοποίησης.

Κατά την πειραματική διαδικασία μετριόταν και το pH των υλικών, οι τιμές του οποίου φαίνονται στο σχήμα 3. Παρατηρούμε ότι οι τιμές pH στα υλικά ακολουθούν παρόμοια μεταβολή, χωρίς να υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ τους.



Σχήμα 2. Μεταβολή της υγρασίας των υλικών με το χρόνο.



Σχήμα 3. Μεταβολή των τιμών του pH των υλικών με το χρόνο.

Τέλος για την εξέταση του δυναμικού φυτοτοξικότητας κατά την κομποστοποίηση ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία (4) : Δημιουργόταν εκχύλισμα από κάθε κάδο και στη συνέχεια γινότανε διαβροχή 25 σπόρων κάρδαμου τοποθετημένων πάνω σε απορροφητικό χαρτί μέσα σε τριβλεία. Τα τριβλεία αφήνονταν στη συνέχεια σε σκοτεινό χώρο και σταθερή θερμοκρασία δωματίου για 3 ημέρες. Μετά γινόταν καταμέτρηση των σπόρων που βλάσταναν και το αποτέλεσμα εκφραζόταν % σε σχέση με τους σπόρους που βλάσταναν στα τριβλεία – μάρτυρες (προσθήκη μόνο νερού). Για κάθε εφαρμογή χρησιμοποιούνταν τρία τριβλεία-επαναλήψεις και έβγαινε ο μέσος όρος.

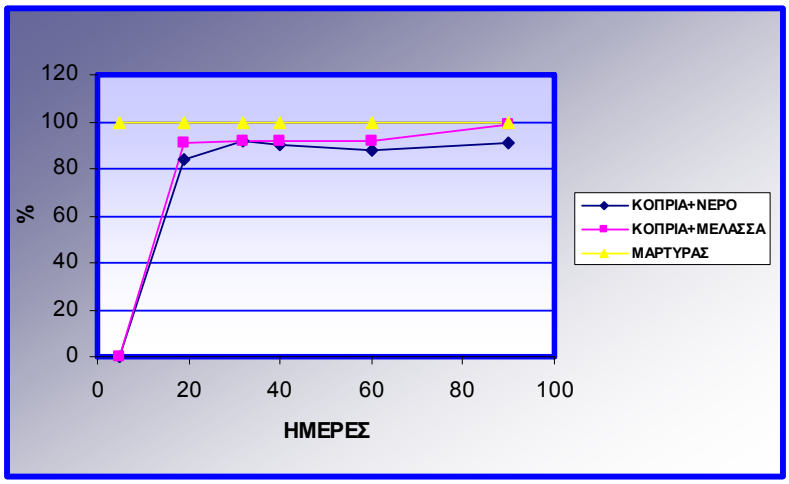
Για κάθε υλικό γίνονταν δυο αραιώσεις του εκχυλίσματος πριν τη διαβροχή των σπόρων :

- αραίωση 50%, που υποδηλώνει την προσθήκη 50% εκχυλίσματος και 50% απιονισμένου νερού.
- αραίωση 0%, που υποδηλώνει την προσθήκη 100% εκχυλίσματος, χωρίς την προσθήκη απιονισμένου νερού.

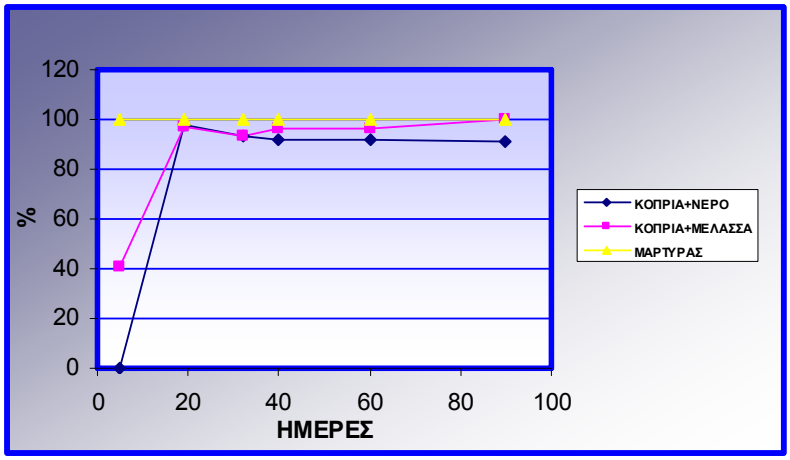
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της φυτοτοξικότητας για την αραίωση 0%, απεικονίζονται στο σχήμα 4 και για την αραίωση 50% στο σχήμα 5.

Από το σχήμα 4 προκύπτει ότι κατά την 20η ημέρα εμφανίζεται εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας σ'όλα τα υλικά κατά 90% περίπου. Στη συνέχεια ακολουθούσαν σταθερή πορεία, σχεδόν παράλληλη μεταξύ τους, με τη μελάσσα να προηγείται πάντα και προς το τέλος της διαδικασίας η τελευταία να προσεγγίζει το 100%.

Όσον αφορά στην αραίωση 50%, κατά τις πρώτες ημέρες παρατηρείται μια διαφοροποίηση υπέρ του υλικού με μελάσσα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Την 20η ημέρα εμφανίζεται πλήρης εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας (100%) σ'όλα τα υλικά. Στη συνέχεια η φυτοτοξικότητα των υλικών με τη μελάσσα παρουσιάζει μικρή διαφοροποίηση και επανέρχεται τελικά στο επίπεδο της πλήρους εξουδετέρωσης (100%) στο τέλος της διαδικασίας. Αντίθετα, στον κάδο – μάρτυρα παρουσιάζεται βαθμιαία αύξηση της φυτοτοξικότητας, η οποία σταθεροποιείται στο επίπεδο του 90% περίπου μετά την 40ή ημέρα.



Σχήμα 4. Μεταβολή της φυτοτοξικότητας με το χρόνο στην αραίωση 0%



Σχήμα 5. Μεταβολή της φυτοτοξικότητας με το χρόνο στην αραίωση 50%.

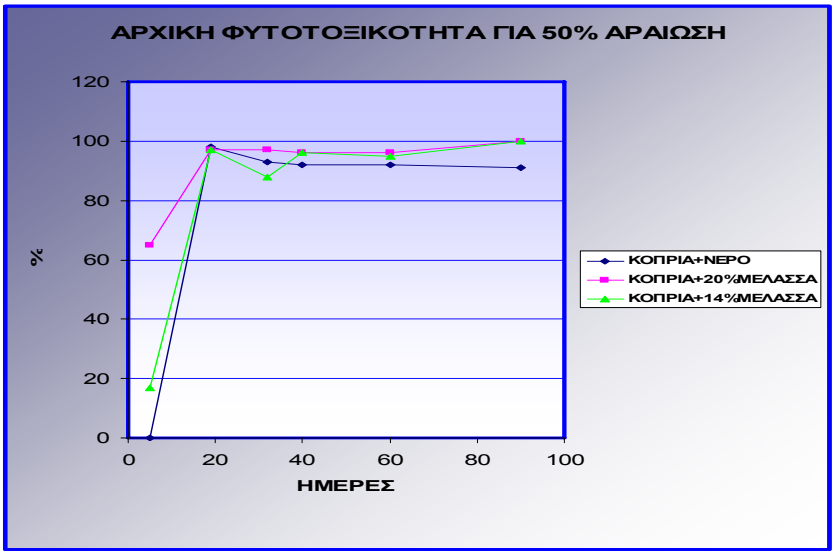
Από το σχήμα 5 προκύπτει επίσης εξ αρχής μια διαφοροποίηση στην εμφάνιση φυτοτοξικότητας, σαφώς υπέρ του υλικού με μελάσσα (40% μείωση) από τις πρώτες κιόλας ημέρες. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι ο συνδυασμός μελάσσας και αραίωσης του εκχυλίσματος με νερό δρα ευεργετικά στην εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας.

Για το λόγο αυτό, έγινε έλεγχος φυτοτοξικότητας χωριστά για κάθε μια από τις αραιώσεις μελάσσας που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα :

- κοπριά + νερό (μάρτυρας)
- κοπριά + διάλυμα μελάσσας 20%$_{κ.ό.}$ σε νερό
- κοπριά + διάλυμα μελάσσας 14%κ.ό. σε νερό

Στο σχήμα 6 φαίνεται η επίδραση των διαφορετικών αραιώσεων (ποσοτήτων μελάσσας) στην φυτοτοξικότητα.

Από το σχήμα 6 γίνεται φανερό ότι όσο πιο πολλή μελάσσα χρησιμοποιείται, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας. Ίσως αν είχαν χρησιμοποιηθεί ακόμα πιο πυκνά διαλύματα μελάσσας, η φυτοτοξικότητα να είχε εξουδετερωθεί πλήρως από τις πρώτες κιόλας ημέρες. Αυτό όμως πρακτικά δεν μπορούσε να γίνει κατά τη διάρκεια του παρόντος πειράματος, λόγω της υψηλής αρχικής υγρασίας της κοπριάς. Κατά την καλοκαιρινή όμως περίοδο υπάρχουν περιθώρια για αυξημένη ποσότητα εφαρμογής μελάσσας, μέχρι και 10%$_{κ.β.}$, λόγω μειωμένης υγρασίας στην κοπριά, όπως διαπιστώθηκε από μετρήσεις επί τόπου στο υπό εξέταση πτηνοτροφείο



Σχήμα 6. Επίδραση στη φυτοτοξικότητα της ποσότητας προστιθέμενης μελάσσας.

Από τα αποτελέσματα εφαρμογής της μελάσσας στα απόβλητα του πτηνοτροφείου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα ως προς την επίδρασή της στη διαδικασία της κομποστοποίησης και στην έκλυση οσμών :

1. Ολοκλήρωση της θερμόφιλης φάσης κατά το τέλος του πρώτου μήνα για όλα τα υλικά.
2. Ίδια συμπεριφορά των υλικών ως προς το pH.
3. Η φυτοτοξικότητα εξουδετερώθηκε κατά την ίδια χρονική στιγμή σε όλες τις περιπτώσεις.
4. Η αραίωση του εκχυλίσματος συνέβαλε στη μεγαλύτερη εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας, ανεξάρτητα από την προσθήκη ή μη μελάσσας, πλην των πρώτων ημερών, όπου η υπεροχή της μελάσσας ήταν εμφανής σε σχέση με το μάρτυρα.
5. Πλήρης εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας για τη μελάσσα στο τέλος της διαδικασίας (κατά 100%) σε σχέση με το μάρτυρα (κατά 90%).
6. Αύξηση της ποσότητας προστιθέμενης μελάσσας δρα ευεργετικά στην εξουδετέρωση της φυτοτοξικότητας και πιθανά στη διαδικασία κομποστοποίησης.
7. Εξουδετέρωση των οσμών στο τέλος του πρώτου μήνα της διαδικασίας κομποστοποίησης. Δεν έγινε δυνατή η διαπίστωση διαφοροποίησης της επίδρασης της μελάσσας σε σχέση με το μάρτυρα.
8. Η διαδικασία κομποστοποίησης ολοκληρώθηκε σε 90 ημέρες με τη θερμόφιλη φάση να ολοκληρώνεται στις πρώτες 36 ημέρες.

Β. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΘΕΙΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ (H_2SO_4)

Η εφαρμογή του θειικού οξέος πραγματοποιήθηκε επί τόπου στις εγκαταστάσεις του πτηνοτροφείου. σε δείγματα υλικού, τα οποία πάρθηκαν από όλο το μήκος του διαδρόμου της εγκατάστασης, συνολικού μήκους 85 m.

Πιο συγκεκριμένα, χωρίσθηκε ο διάδρομος σε 7 τμήματα των 10 m και 1 των 15 m στο τέλος. Από το μέσο μήκος και βάθος κάθε τμήματος πάρθηκαν δείγματα αποβλήτων στα οποία προστέθηκε θειικό οξύ σε ποσότητα ίση με το 10% του βάρους του δείγματος. Σε κάθε

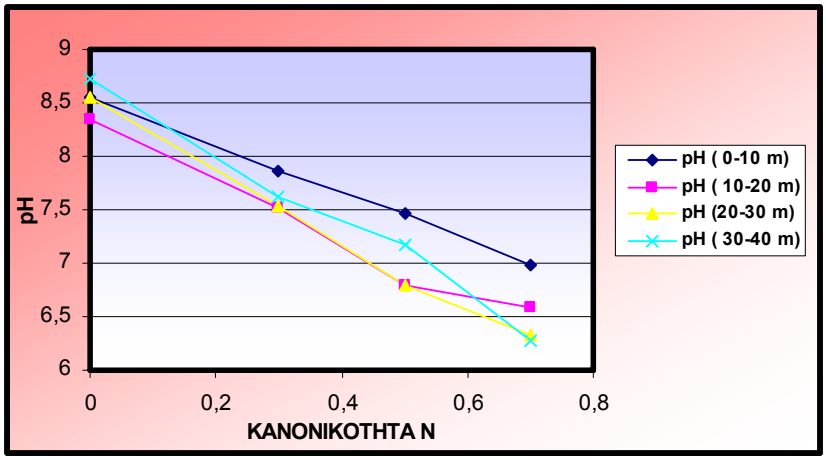
δείγμα δοκιμάστηκαν διάφορες κανονικότητες οξέος. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 1 και στα σχήματα 7 και 8.

Από τα στοιχεία του Πίνακα 1 προκύπτει ότι από την κανονικότητα του οξέος 0,5N και πάνω η οσμή εξουδετερώνεται πλήρως στο τμήμα του διαδρόμου από 0-40 m για τιμές pH 6,80-7,47. Για το υπόλοιπο τμήμα του διαδρόμου από 40-85 m η εξουδετέρωση της οσμής γίνεται από την κανονικότητα 0,7N και πάνω για τιμές pH 7,00-7,72. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί ν'αποδοθεί στον διαφορετικό βαθμό κομποστοποίησης του υλικού.

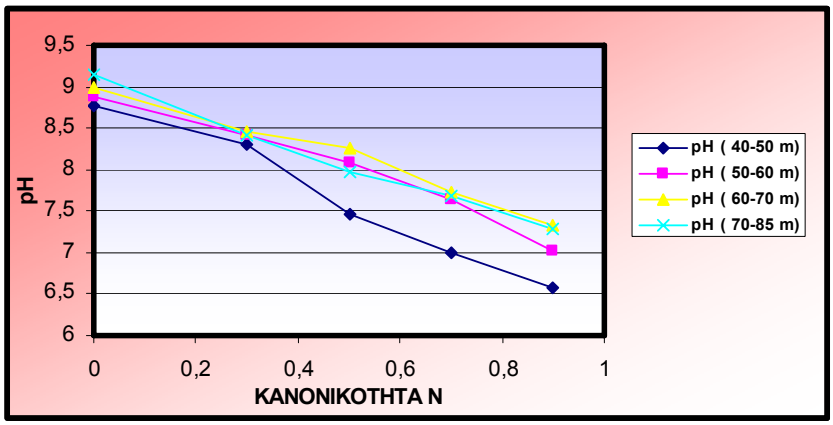
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μεταβολή των τιμών του pH και της οσμής με την προσθήκη οξέος κατά μήκος του διαδρόμου κομποστοποίησης.

Πυκνότητα υλικού (kg/m^3)	**Κανονικότητα οξέος**	**pH**	**Οσμές**
Τμήμα διαδρόμου 0-10 m			
215/370=0,58	0,0N	8,56	Ναι
	0,3N	7,87	Ναι
	0,5N	7,47	Όχι
	0,7N	6,98	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 10-20 m			
290/385=0,75	0,0N	8,35	Ναι
	0,3N	7,51	Ναι
	0,5N	6,80	Όχι
	0,7N	6,58	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 20-30 m			
220/370=0,60	0,0N	8,55	Ναι
	0,3N	7,54	Ναι
	0,5N	6,80	Όχι
	0,7N	6,32	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 30-40 m			
240/435=0,55	0,0N	8,72	Ναι
	0,3N	7,62	Ναι
	0,5N	7,17	Όχι
	0,7N	6,27	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 40-50 m			
275/464,5=0,59	0,0N	8,78	Ναι
	0,3N	8,30	Ναι
	0,5N	7,47	Σπασμένη
	0,7N	7,00	Όχι
	0,9N	6,58	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 50-60 m			

293/464,5=0,63	0,0N	8,88	Ναι
	0,3N	8,42	Ναι
	0,5N	8,08	Σπασμένη
	0,7N	7,65	Όχι
	0,9N	7,02	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 60-70 m			
305/464,5=0,66	0,0N	9,00	Ναι
	0,3N	8,45	Ναι
	0,5N	8,25	Σπασμένη
	0,7N	7,72	Όχι
	0,9N	7,32	Όχι
Τμήμα διαδρόμου 70-85 m			
343/464,5=0,74	0,0N	9,15	Ναι
	0,3N	8,41	Σπασμένη
	0,5N	7,97	Όχι
	0,7N	7,69	Όχι
	0,9N	7,29	Όχι



Σχήμα 7 .Μεταβολή των τιμών του pH με την προσθήκη θειϊκού οξέος στο υλικό κομποστοποίησης (τμήμα 0-40 m)



Σχήμα 8. Μεταβολή των τιμών του pH με την προσθήκη θειϊκού οξέος στο υλικό κομποστοποίησης (τμήμα 40-85 m)

Για διαπίστωση της τυχόν επίδρασης του θειϊκού οξέος στην εξέλιξη της κομποστοποίησης αφέθηκαν δείγματα εμποτισμένα με οξύ για 10 ημέρες. Διαπιστώθηκε άνοδος του pH στο επίπεδο του 9,04-9,15 χωρίς την έκλυση οσμής. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι, ενώ η βιολογική διαδικασία της κομποστοποίησης συνεχίζεται και μετά την προσθήκη οξέος, η εκλυόμενη αμμωνία και τα άλλα αέρια εξακολουθούν να δεσμεύονται, λόγω της παρουσίας του τελευταίου στο υλικό.

Συνεπώς η προσθήκη θειικού οξέος δεν επηρεάζει την πορεία της κομποστοποίησης και δεν διορθώνει την τιμή pH του τελικού προϊόντος. Διατηρεί όμως το υλικό χωρίς οσμές καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα στοιχεία της σχετικής βιβλιογραφίας (4). Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 1 προκύπτει ότι το οξύ θα πρέπει να προστίθεται στην αρχική φάση της διαδικασίας μεταξύ των 20 και 30 m κατά μήκος του διαδρόμου κομποστοποίησης, απ'όπου αρχίζει η έκλυση αμμωνίας να γίνεται αισθητή και η άνοδος της θερμοκρασίας του υλικού έντονη, λόγω των βιολογικών δράσεων σ'αυτό.

Τα πειραματικά αποτελέσματα επαληθεύτηκαν και από τη δοκιμαστική διαβροχή του υλικού επί τόπου στην εγκατάσταση κομποστοποίησης τύπου OKADA του υπό εξέταση πτηνοτροφείου αυγοπαραγωγής στο Χιλιομόδι Κορινθίας, με πολύ θεαματικά αποτελέσματα, όσον αφορά στην εξουδετέρωση των οσμών (αμμωνίας κυρίως).

Από τα αποτελέσματα εφαρμογής του θειικού οξέος στα απόβλητα του πτηνοτροφείου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα ως προς την επίδρασή του στη διαδικασία της κομποστοποίησης και της έκλυσης οσμών :

1. Εξουδετέρωση οσμής από 0,5N οξέος και πάνω για το μήκος του διαδρόμου κομποστοποίησης 0-40m.
2. Εξουδετέρωση οσμής από 0,7N οξέος και πάνω για το μήκος 40-85m.
3. Αποτελεσματική εφαρμογή του οξέος σε απόσταση 30m περίπου από την αρχή του διαδρόμου κομποστοποίησης.

4. Το οξύ δεν επηρεάζει αρνητικά τη διαδικασία κομποστοποίησης, όπως προκύπτει από την επαναφορά του pH σε υψηλά επίπεδα με την πάροδο του χρόνου. Εξακολουθεί όμως να δεσμεύει αποτελεσματικά την οσμή.

Η προσπάθεια συνεχίστηκε και σε πιλοτικό σωρό από απόβλητα του ίδιου πτηνοτροφείου στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του Εργ. Γεωργικών Κατασκευών του Γ.Π.Α. με σκοπό τη μελέτη από κοντά της επίδρασης του θειϊκού οξέος στην πλήρη διαδικασία της κομποστοποίησης (συμπεριλαμβανομένης και της φάσης ωρίμανσης), κάτι που δεν ήταν πρακτικά εφικτό να γίνει στο υπό εξέταση πτηνοτροφείο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργακάκης Δ.,1998.'Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων και γεωργικών βιομηχανιών', Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, έκδοση Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, 256 σελ., Αθήνα.
2. Δήμου Δ., 1987. 'Composting – Παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία του composting, φυσικοχημικές και βιοχημικές μεταβολές του υποστρώματος', Σημειώσεις σεμιναρίου, έκδοση Εργαστηρίου Γεωργικής Μικροβιολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
3. Georgakakis D. & Th. Krintas, 2000. 'Optimal use of the Hosoya system in composting poultry manure'. Περιοδικό Bioresource Technology. Elsevier Publishing Co.,vol. 72, p. 227-233.
4 Mari I. et al 2003. 'Co-composting olive press cake (OPC) with olive oil mill waste (OMW) with pH correction by adding elemental sulphur to the end product' στο περιοδικό COMPOST SCIENCE.

Η ΕΚΠΛΥΣΗ ΤΩΝ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ π. ΣΤΡΥΜΩΝΑ- ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Ε. Σταυρινός
Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, Δ/νση Σχεδιασμού Εγγ. Εργων και Αξιοπ/σης Εδαφ/Υδατικών Πόρων
Σεράφη 60 & Λιοσσίων 210, Αθήνα 104 45, email : estav2@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χωρική και χρονική διασπορά της έκπλυσης των νιτρικών στα εδάφη της λεκάνης απορροής π. Στρυμώνα παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλες μεταβολές συγκεντρώσεων σε αμμώδη εδάφη (100 – 120 mg / l) στο βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (60 cm) με επίπεδο εμπιστοσύνης ± 8,73% και στα βαριά αργιλώδη εδάφη (30-50 mg / l) μικρότερες συγκεντρώσεις σε μεγαλύτερα βάθη εδάφους (> 90 cm) με ελάχιστες σημαντικές διαφορές ± 1,56 % (p<0,05 %).
Οι δόσεις άρδευσης συγκρινόμενες με το ποσοστό μείωσης των αποδόσεων των καλλιεργειών της περιοχής με τις απώλειες της έκπλυσης του νιτρικού αζώτου χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους του αρδευτικού νερού. Στο πρώϊμο καλαμπόκι και το βαμβάκι το ποσοστό απωλειών που αντιστοιχούν στα ποσοστά του περιβαλλοντικού κόστους, κυμάνθηκε από 8% έως14% των αποδόσεων, ενώ στα τεύτλα και στο ρύζι υπολογίστηκε στο 18% και 25%, αντίστοιχα.

NITRATE NITROGEN LEACHING IN STRIMONA RIVER BASIN IRRIGATION NETWORK AND THE CORRESPONDING ENVIRONMENTAL COST EVALUATION

E. Stavrinos

Ministry of Rural Development and Foods, Diraction of Land Reclamation and Soil-Water Resources Exploitation, 60 Serafi & 210 Liossion Ave., Athens 104 45

ABSTRACT

The spatial and temporal variability of nitrate leaching in perimeter of irrigation network of Strimonas river basin in sandy surface soils appears significant greater concentration (100 – 120 mg / l) while in clayey soils appears significant lower (30-50 mg / l). The level of nitrogen leaching has been calculated by confidence limits of ± 8,73% (p<0,05 %) in the depth of root zone (60 cm) while the nitrogen losses in depth of soil by confidence limits of ± 1,56 % (p<0,05 %). In corn and cotton crop the values of environmental rates were distributed from 8 % to 14 % while in sugar beet at 18 % and the rice crop appeared to have the higher value greater than 25 %.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κοστολόγηση του αρδευτικού νερού στα πλαίσια του Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Κ.Ο.Γ.Π.) που υπαγορεύεται από την *Οδηγία* (91/676/ΕΟΚ) για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορρύπανση, είναι απαραίτητο εργαλείο για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής (Οδηγία 2000/60 της ΕΕ.‘’περί πολιτικής των νερών)

Η διατήρηση των χαμηλών τιμών νερού στον αγροτικό χώρο δεν αποτελεί κίνητρο αναζήτησης εναλλακτικών χρήσεων και το γεγονός αυτό στις καθαρά γεωργικές περιοχές είναι ζωτικής σημασίας διότι συμβάλει στην εξασφάλιση πολλαπλών κοινωνικών στόχων (G.W.P., 2000).

Στο άρθρο 5 της Οδηγίας η οικονομική ανάλυση του νερού περιγράφεται α) με την προσέγγιση της οικονομικής σημασίας χρήσεων ως φυσικού αγαθού β) με την ανάλυση των τάσεων ζήτησης, προσφοράς νερού και της επαναχρησιμοποίησης αστικών αποβλήτων και γ) με τον προσδιορισμό του κόστους ανάκτησης του νερού. Από οικονομική άποψη η μέτρηση της εμπορικής τιμής του νερού προσδιορίζεται από το την ισότητα του οριακού οφέλους και οριακού κόστους (Stavrinos, 2000).

Στη περίμετρο αρδευτικού δικτύου και σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης η τιμή του νερού άρδευσης υπολογίζεται από την προστιθέμενη αξία του **(ϵ/m^3)** ως το κόστος υπηρεσιών νερού. Στα ανοιχτά συλλογικά αρδευτικά δίκτυα δεν προσδιορίζεται με την τιμή των υπηρεσιών του νερού αλλά από την προσδοκία παραγωγών να επιτύχουν επιπλέον όφελος που εκφράζει και περιλαμβάνει το περιβαλλοντικό κόστος και το έμμεσο κόστος του νερού – κοινωνικού οφέλους. (Ready, R 1995). Για το περιβαλλοντικό κόστος απαιτούνται στοιχεία ώστε να εκτιμηθεί η υποβάθμιση του άμεσου οφέλους του νερού (νιτρικά, άλατα κ.α) και στην συνέχεια να υπολογισθεί η επιβάρυνση διατήρησης της ποιότητας του αρδευτικού νερού.

Η μεγάλη κινητικότητα των νιτρικών και αμμωνιακών λιπασμάτων μέσο του κύκλου του αζώτου στο έδαφος και το νερό, ως ενιαίο οικοσύστημα, δημιουργούν περιβαλλοντική και οικονομική υποβάθμιση των εδαφοϋδατικών πόρων (Ζαλίδης,κ.ά, 2002). Στο γεωργικό έδαφος, οι απώλειες ανόργανου αζώτου λόγω της έκπλυσης, μετά από άρδευση και βροχόπτωση, εξαρτώνται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, τη ποσότητα των χρησιμοποιούμένων αζωτούχων λιπασμάτων, τη πραγματική εξατμισοδιαπνοή και το σύνολο των καλλιεργειών (Paschalidis and Stavrinos, 2002).

Οι ανάγκες μεγάλου αριθμού εδαφικών δειγμάτων για τη χωρική και χρονική αξιολόγηση της παραλλακτικότητας εδαφικών και υδατικών παραμέτρων έκπλυσης του νιτρικού αζώτου σε σχέση με τις απαιτήσεις των καλλιεργειών σε άζωτο έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη ανάλογων εμπειρικών και στοχαστικών μαθηματικών προτύπων (Stavrinos et al., 2005).

Στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα και της λίμνης Κερκίνης, ως αντιπροσωπευτικό γεωργικό οικοσύστημα, οι εδαφικές ιδιότητες και το υδατικό ισοζύγιο αξιολογήθηκε η χωρική και χρονική διασπορά των συγκεντρώσεων των νιτρικών, βαση των στοιχείων των μετρήσεων από τις ετήσιες εκθέσεις του Υπ. Αγροτ. Ανάπτυξης & Τροφίμων (1994-2003). Με βάση τα στοιχεία αυτά και ακολουθώντας εμπειρικά και στοχαστικά μαθηματικά πρότυπα που προτείνονται από τους Burns (1974), Towner (1983) και τους Adams et al., (1990) σχετικά με την εκτίμηση της έκπλυσης των νιτρικών, προσδιορίστηκε το κόστος ανάκτησης υπηρεσιών άρδευσης.

2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο πλέον γνωστός τύπος διάχυτων γεωργικών ρύπων είναι η ρύπανση από την έκπλυση των νιτρικών ανόργανων λιπασμάτων. Ένας άμεσος τρόπος προσέγγισης του περιβαλλοντικού αυτού προβλήματος είναι η εκτίμηση του ισοζυγίου αζώτου εισροών –ανόργανου αζώτου μείον το άζωτο που απορροφάται από τις καλλιέργειες και την εξάτμιση σε αμμωνιακή μορφή. Το ισοζύγιο αζώτου ως περιβαλλοντικός δείκτης (4.6 kg / ha) συγκρινόμενος με τον μέσο όρο της ΕΕ είναι πολύ μικρός και το ποσοστό απορρόφησης του αζώτου κυμαίνεται σε ποσοστό 45% (Eurostat, 1990-91).

Πίνακας 1. Κατανομής αρδευόμενων καλλιεργειών στη περιοχή του δικτύου

Καλλιέργειες	Μέση τιμή (Ευρώ / kg)	Εκταση (ha)	Ποσοστό %	Παραγωγή (τόννοι)	Μέση απόδοση (kg / ha)	Ακαθ. Αξία (χιλ. Ευρώ)
Καλαμπόκι	0,14	2.892,00	17,08	33.258,00	11.500	4656,12
Βαμβάκι	0,28	1.379,70	8,15	4.966,92	3.600	1390,74
Ζαχ/τλα	0,04	1.560,20	9,22	93.612,00	60.000	3744,48
Μηδική	0,15	3.267,20	19,3	49.008,00	15.000	7351,20
Ρύζι	0,27	6.527,20	38,56	52.217,60	8.000	14098,75
Συνολο		15.626,30	92,31			31241,29

2.1. Περιγραφή της περιοχής μελέτης: Ο υδροκρίτης του Στρυμόνα καλύπτει μια έκταση 1.720.000 ha (841.000 ha Βουλγαρία, 236.500 ha Π.Δ.Γ.Μ και 642.500 ha Ελλάδα.). Το συνολικό μήκος της λεκάνης απορροής είναι 360 km, με 115 km από την πλευρά της Ελλάδας. Η αρδευόμενη έκταση στο Ν. Σερρών υπολογίζεται σε 85.000 ha (55.000 εκτάρια περιλαμβάνονται στη περίμετρο συλλογικών αρδευτικών δικτύων).

Πίνακας 2. Υδατικό ισοζύγιο της λεκανης απορροής του Στρυμόνα

(Μέσοι Οροι Περιόδου 1982-1990)

Εισροές (m^3 x 10^6)		**Εκροές (m^3 x 10^6)**	
Βροχοπτώσεις (P)	2.400	Πραγματ.Εξατμ/πνοή(E)	3.340
Εισροές ανάντι της ροής (q)	3.150	Εκπλυση (I)	323
Επαναχρησιμοποιούμενες (q_{ex}=Q_{ex}/3)	43	Κατάντι του ποταμού(Q_{ex})	130

(πηγή: Υπουργείο Ανάπτυξης, Δ/νση Υδάτων & Φυσικών Πόρων)

2.2. Εδάφη. Κατά μήκος της επιφανειακής απορροής του ποταμού απαντώνται αλλουβιακά εδάφη αμμοπηλώδη (SL) 32 %, πηλώδη (L) 34 %, αργιλοπηλώδη (CL) 23 % και αργιλώδη (C) 10 % με αντίστοιχες φυσικοχημικές ιδιότητες. Τα εδάφη έχουν pH > 7,5 (1:2 H_2O), $CaCO_3$

>18% και οργανική ουσία <3 % και έχουν ταξινομηθεί ως ENTISOLS (*Xerofluvents)* στην υποκατηγορία *Fluvents*, και Aquic *Xerofluvents*

Πίνακας 3. Φσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών του Στρυμόνα

Βάθος	Εδαφικός τύπος	$CaCO_3$ (%)	pH (1:1 H_2O)	Οργανική Ουσία(%)	Ισοδ/μο Υγρασίας(%w)	Υδατοϊκ/τα (%)
0-30	SL-L	8.20	7.8	2.20	11.40	20.6
30-60	SiCL	6.60	7.6	1.40	11.60	21.4
60-90	CL	10.20	7.8	1.30	11.80	21.7

2.3. Προσδιορισμός μεταβλητών κοστολόγησης αρδευτικού νερού :
Η γενική μορφή της συνάρτησης παραγωγής – δόσης άρδευσης – αζωτούχου λίπανσης αποδίδεται σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\mathbf{U = U\,[\,X, F(\,L,Q\,)\,]\,,\ \ Q = Q\,(E),\ και\ X = X\,(L,\,Q\,)} \qquad \mathbf{(1)}$$

όπου **U** το διαθέσιμο νερό άρδευσης (mm), **X** η διαθέσιμη εδαφική υγρασία (mm) **Q** το φορτίο συγκέντρωσης ρύπων νιτρικών στο νερό άρδευσης (mg / l), **F** αποδόσεις kg / ha που εκφράζονται με τη σχέση παραγωγής, όπου **L**: μεταβλητές δαπάνες λειτουργίας αρδευτικού δικτύου (πίνακας συντελεστών εισροών εργασίας, επενδύσεων και στράγγισης **E**.

α.Εκπλυση νιτρικών:
Χρησιμοποιώντας προσαρμοσμένες μορφές των παρακάτω εμπειρικών εξισώσεων υπολογίσθηκε το ποσοστό του αζώτου σε μορφή νιτρικού αζώτου NO_3-N (mg / l) που εκπλύνεται σε διαφορετικά βάθη και εδαφικούς τύπους.

$$\mathbf{X\ (\%) = [\ I\ /\ (I+\theta\Delta z)\ ]^{\,z\,/\,\Delta Z}}$$

$$\mathbf{X(\ \%)\ =\ exp\ [-\ z.\ \theta\ /\ W\ ]} \qquad \text{(Burns, 1974)} \qquad \mathbf{(2)}$$

$$P_W = \frac{E}{(100 - BA)} - E + 0{,}15 * W \quad \text{όπου}$$

I: δόση άρδευσης (mm), $\mathbf{P_w}$: νερό άρδευσης ή βροχόπτωσης που εκπλύνεται στο βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (mm) για κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, **θ**: η υδατοϊκανότητα του εδάφους(%), **z**: το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (cm), **E**: ενεργός εξάτμιση, **W**: οφέλιμη βροχόπτωση (cm), **BA** : απόδοση άρδευσης (%) στη περιοχή αρδευτικού δικτύου.
β.. Συνθήκες υπολογισμών και χαρακτηριστικά του δικτύου :

Με τις παραπάνω εξισώσεις παραγωγής και σύμφωνα με την αρχή του Pareto η μεγιστοποίηση των αποδόσεων στη γεωργική εκμετάλλευση εκφράζεται από τη σχέση συνθηκών αναφοράς:

$$\mathbf{\partial X\,/\,\partial E = -\ [\ \sum\ (\partial U\ \partial Q\,/\,\partial Q\ \partial E\ )\ /\ \partial U\,/\,\partial X\ +\ \sum\ (\partial X\ \partial Q\,/\,\partial Q\ \partial E)]} \qquad \mathbf{(4)}$$

που προσδιορίζει ότι η ρύπανση με τα διάφορα επίπεδα έκπλυσης νιτρικών θα κυμανθεί στο επίπεδο που το οριακό προϊόν αυτών εξισώνεται με το άθροισμα των οριακών απωλειών.

$$\mathbf{\partial U\ \partial F\,/\,\partial F\ \partial L = \partial U\ \partial X\,/\,\partial X\ \partial L} \qquad \mathbf{(5)}$$

Οι βέλτιστες χρήσεις του νερού σε επίπεδο αρδευτικής μονάδας του δικτύου συμπερασματικά δίνονται από τις **n** παρακάτω εξισώσεις του αριθμού καλλιεργειών

$$P_1.\ \mathbf{\partial F_1\,/\,\partial X_1} = P_2.\ \mathbf{\partial F_2\,/\,\partial X_2 = ...} = P_n.\ \mathbf{\partial F_n\,/\,\partial X_n} \qquad \mathbf{(6)}$$

$$X_1 + X_2 + \ldots\ldots + X_n = U$$

με όριο ρύπανσης : $\partial X / \partial E = 0$ **(7)**

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η σύγκριση των μετρουμένων και υπολογιζόμενων τιμών συγκεντρώσεων νιτρικού αζώτου που εκπλύνονται έδειξε ότι η παραλλακτικότητα της συγκέντρωσης (mg / l) ήταν σημαντικά υψηλότερη στα αμμώδη επιφανειακά εδάφη (Entisols), κατά τη διάρκεια της περιόδου άρδευσης. Τα στοιχεία μηνιαίας κατανομής των συγκεντρώσεων νιτρικών από μετρήσεις την περίοδο 1998 - 2003 (Σχήμα 1) στις περιοχές δικτύων άρδευσης της λεκάνης του Στρυμόνα, παρουσιάζουν ένα εποχιακό τοπικό ελάχιστο το φθινόπωρο - χειμώνας (Σεπτέμβριος - Μάρτιος) και αντίστοιχο μέγιστο το καλοκαίρι (Ιούλιος). Υπάρχει, όπως αναμένεται, υστέρηση μεταξύ του χρόνου της άρδευσης και της εμφάνισης της αύξησης επιπέδων νιτρικών στα υπόγεια νερά, όπως φαίνεται στα σχήματα 2 & 3.

Αντίθετα, οι τιμές έκπλυσης του νιτρικού αζώτου παρουσίασαν μείωση με το βάθος του εδάφους. Η χρονική μεταβολή της έκπλυσης του νιτρικού αζώτου στα υπόγεια νερά σε όλη τη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα παρουσιάζει εποχικά μέγιστα και ελάχιστα εκτιμούμενα με την παράγωγο της παραλλακτικότητας της συνάρτησης των τιμών. Τα χρησιμοποιούμενα πρότυπα προσαρμόζονται στις εδαφικές και υδρολογικές ιδιότητες της λεκάνης του Στρυμόνα. Για τα αργιλώδη (C) εδάφη, οι τιμές των νιτρικού αζώτου που μετρήθηκαν στα υπόγεια νερά δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές με αυτές που υπολογίστηκαν με την έκπλυση (Πίνακας 4).

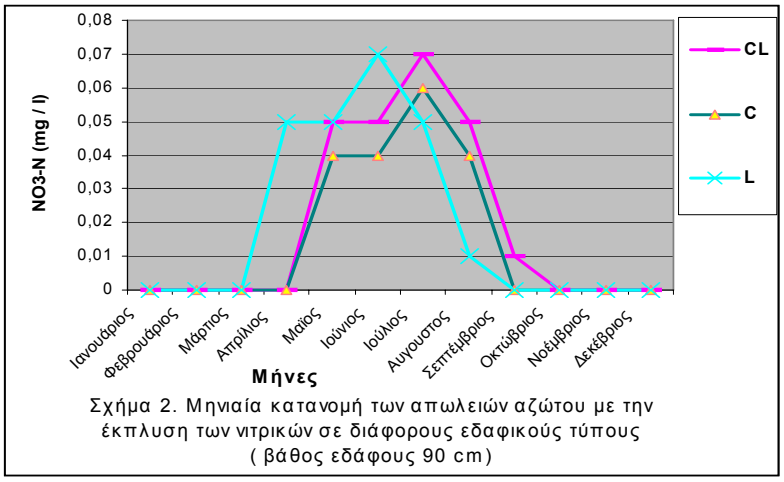
Πίνακας 4. Μηνιαίας κατανομής της υπολογιζόμενης έκπλυσης νιτρικών σε διάφορους εδαφικούς τύπος στη λεκάνη απορροής του π. Στρυμόνα

		NO3-N(mg/L) σε 60 cm βάθος					
Μήνες	**SL**	**CL**	**C**	**L**	**mean**	**STDEV**	**LSD(5%)**
Ιανουάριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φεβρουάριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Μάρτιος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Απρίλιος	0,32	0,04	0,02	34,54	0,13	17,21	3,08
Μαϊος	123,79	16,27	10,04	34,54	50,03	52,79	9,44
Ιούνιος	114,55	15,00	9,25	42,30	46,26	48,38	8,66
Ιούλιος	150,34	19,98	12,35	31,87	60,89	64,97	11,62
Αυγουστος	114,55	15,00	9,25	8,60	46,26	51,88	9,28
Σεπτέμβριος	32,05	4,00	2,45	0,00	12,83	15,04	2,69
Οκτώβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Νοέμβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δεκέμβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

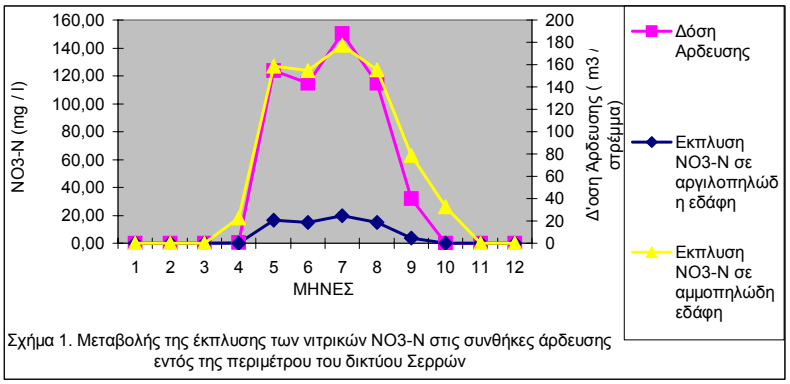
		NO3-N(mg/L) σε 90 cm βάθος					
Μήνες	**SL**	**CL**	**C**	**L**	**mean**	**STDEV**	**LSD(5%)**
Ιανουάριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φεβρουάριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Μάρτιος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Απρίλιος	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00
Μαϊος	0,41	0,05	0,04	0,05	0,17	0,16	0,03
Ιούνιος	0,36	0,05	0,04	0,07	0,15	0,13	0,02
Ιούλιος	0,56	0,07	0,06	0,05	0,23	0,22	0,04
Αυγουστος	0,36	0,05	0,04	0,01	0,15	0,15	0,03
Σεπτέμβριος	0,05	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
Οκτώβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Νοέμβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δεκέβριος	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 5. Στατιστική ανάλυση παραμέτρων έκπλυσης νιτρικών NO3-N στο αρδευτικό δίκτυο Σερρών της λεκάνης απορροής π. Στρυμόνα

Μεταβλητές	*Μονάδες*	*MEAN*	*STDEV*	*VARIANCE*	*Sample Size*
Επιφανειακή Απορροή	mm	141,8	42,32		120
Διαθέσιμη Υγρασία	mm	21,4	9,33	64,87	120
Απαιτήσεις καλλ/γειών	mm	724,8	239,2	1157,44	120
Συγκέντρωση νιτρικών	mg / l	60,89	64,97	1968,79	120



Σχήμα 2. Μηνιαία κατανομή των απωλειών αζώτου με την έκπλυση των νιτρικών σε διάφορους εδαφικούς τύπους (βάθος εδάφους 90 cm)



Σχήμα 1. Μεταβολής της έκπλυσης των νιτρικών NO3-N στις συνθήκες άρδευσης εντός της περιμέτρου του δικτύου Σερρών

Πίνακας 6. Οι γραμμικές τάσεις αποδόσεων καλλιεργειών και έκπλυσης νιτρικού αζώτου στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα

Καλλιέργειες	***Τάσεις περιβαλλοντικού κόστους***	***Απαιτήσεις καλλιεργειών (m3 / ha)***
Κλαμπόκι πρώϊμο	$(P_K \partial F_K / \partial X_K) = 77,56 – 0,16\ X_K$	721
Βαμβάκι	$(P_\beta \partial F_\beta / \partial X_\beta) = 64,00 – 0,34\ X_\beta$	166
Ζαχαρότευτλα	$(P_Z \partial Fz / \partial X_Z) = 88,44 – 0,23\ X_Z$	418
Ρύζι	$(P_P \partial F_P / \partial X_P) = 132,67 – 0,22\ X_P$	5000

$P_{K,}$ $P_{B,}$ $P_{Z,}$ P_P οι τιμές των αντίστοιχων προϊόντων

Η συγκέντρωση νιτρικών στο νερό άρδευσης αξιολογήθηκε με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας ως ποσοστιαία απώλεια νερού επί των πραγματικών μηνιαίων αναγκών του συνόλου των καλλιεργειών σε διαφορετικούς εδαφικούς τύπους στη περίμετρο του αρδευτικού δικτύου Σερρών. Η χωρική και χρονική διασπορά της έκπλυσης των νιτρικών παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλες συγκεντρώσεις σε αμμώδη εδάφη της λεκάνης απορροής ιδιαίτερα τη διάρκεια υψηλών απαιτήσεων καλλιεργειών σε νερό (Ιούλιος). Τα επίπεδα της έκπλυσης στο βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (60 cm) παρουσιάζουν επίπεδο εμπιστοσύνης ± 8,73% ($p<0,05$ %), ενώ οι απώλειες με την έκπλυση σε βάθος εδάφους (> 90 cm) σε επίπεδο ± 1,56 % ($p<0,05$ %). Ο υπολογισμός της έκπλυσης του νιτρικού αζώτου και το οριακό προϊόν των εξισώσεων παλινδρόμησης παραγωγής των ποσοτήτων αυτών (πίνακες 5 & 6) σε συσχέτιση με τις αναμενόμενες αποδόσεις των καλλιργειών χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους. Το κόστος αυτό εκφράζεται με το ποσοστό της ωφέλειας που αναμένεται από τη λειτουργία του αρδευτικού δικτύου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο έλεγχος της υποβάθμισης των εδαφοϋδατικών πόρων στις διακρατικές λεκάνες απορροής μελετάται με τον υπολογισμό του μεταβλητού κόστους παραγωγής λαβάνοντες υπ όψη τις παρακάτω κατευθύνσεις ανάπτυξης σχεδίων διαχείρισης υδατικών πόρων:
(i) την ανάλυση της λειτουργίας των υφιστάμενων συλλογικών αρδευτικών δικτύων και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος λόγω της έκπλυσης νιτρικού αζώτου γεωργικής χρήσης από την άρδευση στη περίμετρο αρδευτικού δικτύου, (ii) την εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων χωρικής και χρονικής ανάλυσης σε σχέση με την υποβάθμιση των εδαφών και υδατικών πόρων από την έκπλυση νιτρικών, (iii) την εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους με έμφαση στους εδαφοϋδατικούς πόρους και την οικονομική αξιολόγηση σεναρίων άρδευσης (iv) την αξιολόγηση ζήτησης και προσφοράς νερού άρδευσης σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού και (v) την αξιολόγηση των χρήσεων του αρδευτικού νερού (κόστους-οφέλους) στην προσφορότερη κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Burns. I.G. 1974. A model for the forecast of redeployment of salts applied in the earth of fallows the excessive rainfalls or the evaporation. J.. Earth Sci. 25 : 165.
2. Courant. P. and Porter R. 1981. Averting Expenditure and the Cost of Polution. J. Environ Econ.Management., De. 8(4): 321-329.
3. Donker. N.H.W. 1987. WTRBLN: A computer program to calculate water balance. Coputers and Geosciences. Vol 13(2). 95-122.
4. Οδηγία 2000/60, πλαίσιο ύδατος W.F.D. περί πολιτικής του ύδατος στην ΕΕ.
5. Οδηγία 91/676/ΕΟΚ Για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης.
6. Paschalidis. C. and Stavrinos. E. 2002. Irrigation rates and N-P-K fertilization effect on cotton production. J of Agric. Eng.(AMCSTI).Sofia.Vol.XXXIX (2).34-38
7. Ready, R 1995. Environmental valuation under uncertainty .In D.Bromleyed.TheHandbook of Environmental Economics (Oxford: Blackwell).
8. Stavrinos E.et al., 2005. Assessment of nitrate leaching in Strimon river basin based on water framework directive (WFD 2000/60 EU). Ecological Aspects of Denitrification with Emhasis on Agriculture, Proc. Of 5th Sci. Meeting of Cost Action. 856. Padova, Italy, .6th – 10th April.p.45.
9. Stavins, R.2000. Economics on the Environment. 4th Ed. Norton & Co. p. 108.
10. Towner, C.D. 1883. A theoretical examination of equation of Burns for the forecast of refinement of fertilization of fertilizer of nitrate salts in a land surface. J of Agric.Sci. 100: 293.
11. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων. 2004. Ετήσιες εκθέσεις της ποιότητας ανάλυσης ύδατος άρδευσης: τόμος ΙΙΙ : 234-253.

Ο ΤΑΡΑΤΣΟΚΗΠΟΣ ΩΣ ΜΕΣΟΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Δ. Ι. Μπαμπίλης, Π. Λόντρα
Γ. Π. Α. - Τμήμα Α. Φ. Π. & Γ. Μ. , Εργ. Γ. Υδραυλικής, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης των ταρατσόκηπων στη συγκράτηση της βροχής και την επιβράδυνση της εκροής των όμβριων στους κύριους αποχετευτικούς αγωγούς, εγκαταστάθηκε πειραματικός ταρατσόκηπος σε κτήριο του Δήμου Αθηναίων στο Γουδί στον οποίο χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά υποστρώματα ανάπτυξης των φυτών και εφαρμόσθηκαν εντάσεις βροχής $5{,}5x10^{-6}$ ms^{-1} και $16{,}6x10^{-6}$ ms^{-1} . Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξε συγκράτηση των όμβριων από τον ταρατσόκηπο από 30,28% έως 55,10%, όταν οι ταχύτητες των εκροών εξισώθηκαν με τις εντάσεις των βροχών. Έτσι, οι ταρατσόκηποι σε ευρεία κλίμακα είναι δυνατόν να επηρεάσουν το υδρογράφημα μιας περιοχής αναχαιτίζοντας τη βροχή κατά τα πρώτα στάδια μιας καταιγίδας και περιορίζοντας το μέγιστο καταγραφόμενο ρυθμό απορροής.

FLOOD CONTROL PROTECTION OF URBAN AREAS THROUGH GREEN ROOFS CONSTRUCTIONS

D. J. Babilis and P. Londra
Agricultural University of Athens, Dept of Natural Resource Management and Agricultural Engineering, Laboratory of Agricultural Hydraulic
75, Iera Odos – 11855 Athens

ABSTRACT

In order to investigate the retention of the rain and the reduction of the runoff rate to the main drainage pipes from green roofs, an experimental green roof was established on a building of the Municipality of Athens, using two different substrates and applying the rain intensities of $5{,}5x10^{-6}$ ms^{-1} and $16{,}6x10^{-6}$ ms^{-1}. The experimental results showed that the retention of the rainfall from green roofs was in a scale of 30,28% up to 55,10%, when the rates of runoff were equalized with the rain densities. It could be said that the green roofs in a wider scale could affect the hydrograph of an area controlling runoff from rainfall during the early stages of a storm and reducing the maximum recording runoff rate.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ταρατσόκηποι γνωστοί από την αρχαιότητα [1,2] αλλά και κατά την Αναγέννηση [3] συνεχίζουν να δυναμικά μέχρι σήμερα. Η ύπαρξή τους σε ευρεία κλίμακα είναι δυνατόν να επιλύσει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι αστικές περιοχές. Ένα από αυτά είναι ότι μπορούν να επηρεάσουν ευεργετικά το υδρογράφημα μιας αστικής περιοχής αναχαιτίζοντας τη βροχή κατά τα πρώτα στάδια της καταιγίδας, περιορίζοντας τη μέγιστη καταγραφόμενη παροχή απορροής όμβριων λειτουργώντας ως διάταξη ανάσχεσης της πλημμύρας. Υποστηρίζεται ότι ένα από τα κύρια οφέλη των ταρατσόκηπων είναι η δυνατότητα συγκράτησης και ανάσχεσης των νερών της βροχής [4].

Η Αθήνα παρά το ετήσιο χαμηλό ύψος βροχής παρουσιάζει το φαινόμενο της ραγδαιότητας των βροχοπτώσεων και της συχνής εμφάνισης πλημμυρών. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθούν οι επιδράσεις των ταρατσόκηπων, οι οποίοι αναπτύσσονται σε υποστρώματα μικρού πάχους και περιέχουν κομποστοποιημένα απορρίμματα – απόβλητα, στη συγκράτηση και επιβράδυνση της εκροής των όμβριων, προκειμένου να λειτουργήσουν ως μέσον αντιπλημμυρικής προστασίας. Η χρησιμοποίηση κομποστοποιημένων απορριμμάτων και στερεών αποβλήτων αστικών περιοχών δίνει επίσης μια διέξοδο στα περιβαλλοντικά προβλήματα αποθήκευσης των προϊόντων αυτών που έχουν δημιουργηθεί στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά, οι συσκευές και οι μέθοδοι που αναφέρονται πιο κάτω**.**

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο υποστρώματα ανάπτυξης των φυτών. Το υπόστρωμα 1 που αποτελείτο από κομπόστα και ελαφρόπετρα σε αναλογία 7:3 κ.ό. και το υπόστρωμα 2 που αποτελείτο από την ίδια κομπόστα και κεραμοχάλικο σε αναλογία 7:3 κ.ό. Η χρησιμοποιηθείσα κομπόστα με την εμπορική ονομασία Blumenerde περιείχε τύρφη 70% κ.β. Το υπόλοιπο 30% αποτελείτο από κομποστοποιημένα αστικά απορρίμματα και αλεσμένα φυτικά υπολείμματα. Η κομπόστα περιείχε οργανική ουσία 20% και είχε pH 5-6,5. Η ελαφρόπετρα που χρησιμοποιήθηκε είχε μέγεθος κόκκων μέχρι 8 mm, μορφή κοκκώδη και φαινομενική πυκνότητα 605,9 kg m^{-3}. Το κεραμοχάλικο που χρησιμοποιήθηκε είχε μέγεθος κόκκων μέχρι 8 mm και φαινομενική πυκνότητα 1.109,2 kg m^{-3}.

Ο πειραματικός ταρατσόκηπος εγκαταστάθηκε στην περιοχή της Αττικής σε υπάρχον ισόγειο κτήριο γραφείων του Δήμου Αθηναίων στο Γουδί, που διέθετε ταράτσα με υγρομόνωση από ασφαλτική μεμβράνη. Στην πειραματική ταράτσα διαμορφώθηκαν τρία τεμάχια διαστάσεων 5,5mx7,5m. Η στέγη παρουσίαζε σταθερή κλίση της τάξεως του 1% προς τρεις αποχετευτικούς αγωγούς που αντιστοιχούσαν στα τρία πειραματικά τεμάχια. Καταρχήν, στην ταράτσα στρώθηκε η ειδική αντιριζιδική μεμβράνη Zinco Root Barrier WSF 40, ακολούθησε η τοποθέτηση μίας τσόχας για τη συγκράτηση της υγρασίας (Zinco Moisture Retention/Protection Mat SSM 45), και στη συνέχεια εγκαταστάθηκε κυματοειδές διάτρητο φύλλο στράγγισης και συγκέντρωσης νερού (Zinco Floradrain FD25). Τέλος, ακολούθησε η διάστρωση του γεωϋφάσματος (Zinco Filtersheet SF). Πάνω από τα προαναφερθέντα υλικά τοποθετήθηκαν τα υποστρώματα σε πάχος 9 cm. Στο πειραματικό τεμάχιο 1 τοποθετήθηκε το υπόστρωμα 1 και στο πειραματικό τεμάχιο 2 τοποθετήθηκε το υπόστρωμα 2. Το πειραματικό τεμάχιο 3 ήταν γυμνό και αποτελούσε το μάρτυρα.

Η υγρασία προσδιοριζόταν σε κάθε τεμάχιο με αισθητήρες υγρασίας (συσκευής TDR) που είχαν τοποθετηθεί στη μάζα των υποστρωμάτων. Οι εκροές κάθε πειραματικού τεμαχίου

συγκεντρώνονταν σε ειδικά δοχεία και ζυγίζονταν σε τρεις ηλεκτρονικούς ζυγούς με καταγραφή ανά λεπτό.

Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν ήσαν πολυετή ποώδη, θαμνώδη και αναρριχώμενα. Αυτά ήταν η ονυχωτή Βιγνόνια *(Bignonia capensis)*, το Ρυγχόσπερμα *(Trachelospermus jasminoides)*, το Αγιόκλημα *(Lonicera sp.)*, η Μυρτιά *(Myrtus communis)*, η Λεβαντίνη *(Santolina chamaecyparissus)*, η Διμορφοθήκη *(Dimorphotheca pluvalis)*, η Σινεράρια *(Senecio maritima)*, η Γκαζάνια *(Gazania sp)* και η Βίγκα *(Vinca minor)*.

Το ολικό πορώδες των υποστρωμάτων υπολογίστηκε ως η περιεχόμενη υγρασία στον κορεσμό, κατά τη διάρκεια προσδιορισμού των καμπυλών υγρασίας, οι οποίες προσδιορίστηκαν με τροποποιημένες συσκευές Haines [5]. Οι φαινομενικές πυκνότητες των υποστρωμάτων και οι υδραυλικές αγωγιμότητες στον κορεσμό μετρήθηκαν σε αδιατάρακτα δείγματα ύψους 9 cm και διαμέτρου 7,1 cm.

Η τεχνητή βροχή στον ταρατσόκηπο εξασφαλίστηκε με εκτοξευτήρες σε τετραγωνική διάταξη 2,60mx2,60 m και η ομοιομορφία κατανομής του νερού προσδιορίστηκε κατά Christiansen [6] δίδοντας συντελεστή 92%.

Στα τρία πειραματικά τεμάχια του ταρατσόκηπου εφαρμόστηκε τεχνητή βροχή με δύο σταθερές εντάσεις βροχόπτωσης $5,5x10^{-6}$ ms^{-1} και $16,6x10^{-6}$ ms^{-1} αντίστοιχα και αρχική εδαφική υγρασία 0,20 cm^3cm^{-3}.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 1 φαίνονται συγκεντρωτικά όλες οι περιπτώσεις εφαρμογής των δύο εντάσεων βροχόπτωσης και οι εκροές για τα δύο υποστρώματα πάχους 0,09 m με αρχική υγρασία 0,20 m^3m^{-3}.

Μελετώντας τον ταρατσόκηπο με το υπόστρωμα 1, στον οποίο εφαρμόζεται μια βροχή έντασης $5,5x10^{-6}$ ms^{-1}, παρατηρείται ότι η εκροή των όμβριων άρχισε $5,42x10^3$ s (90 min) μετά την έναρξη της βροχής και μέχρι τα $13,8x10^3$ s (230 min), που είναι ο χρόνος εξίσωσης της ταχύτητας εκροής με την ένταση της βροχής, θα έχουν αποδοθεί $36,68x10^{-3}$ m (36,68 mm στήλης νερού) συνολικά. Φαίνεται λοιπόν ότι το υπόστρωμα του ταρατσόκηπου συγκράτησε $39,9x10^{-3}$ m από τα $76,58x10^{-3}$ m (ποσοστό 52,10%) της βροχόπτωσης στα πρώτα $13,8x10^3$ s (230 min).

Για τον ταρατσόκηπο με το ίδιο υπόστρωμα 1, την ίδια αρχική υγρασία αλλά με ένταση βροχής $16,6x10^{-6}$ ms^{-1}, παρατηρείται ότι η εκροή του βρόχινου νερού άρχισε μετά από $1,92x10^3$ s (32 min) από τη έναρξη της βροχόπτωσης και μέχρι τα $8,4x10^3$ s (140 min), οπότε η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχόπτωσης, αποδόθηκαν $97,60x10^{-3}$ m. Στο τέλος, το υπόστρωμα 1 του ταρατσόκηπου συγκράτησε $42,40x10^{-3}$ m (30,28%) από το σύνολο των $14,0x10^{-3}$ m όμβριων που δέχθηκε στα πρώτα $8,4x10^3$ s (140 min).

Στην περίπτωση του ταρατσόκηπου με το υπόστρωμα 2 και με ένταση βροχής $5,5x10^{-6}$ ms^{-1}, η εκροή άρχισε μετά την παρέλευση $5,28x10^3$ s (88 min) από την έναρξη της βροχόπτωσης και όταν η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχής μετά από $12x10^3$ s (200 min) το υπόστρωμα συγκράτησε $29,30x10^{-3}$ m (55,11%) από το σύνολο των $66,59x10^{-3}$ m βροχόπτωσης.

Πίνακας 1: Συνοπτικά στοιχεία που αφορούν στις εισροές και εκροές κάτω από δύο διαφορετικές εντάσεις βροχής στα υποστρώματα 1 και 2.

		Εκκίνηση εκροής	Εξίσωση εισροής-εκροής
Υπόστρωμα 1 με	Χρόνος ($x10^3$ s)	5,42	13,8

ένταση βροχής $5,5x10^{-6}$ ms^{-1}	Ποσότητα εισροής ($x10^{-3}$m)	30,63	76,58
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ($x10^{-3}$m)	30,63	39,90 (52,10%)
	Ποσότητα νερού εκροής ($x10^{-3}$m)	0,00	36,68
Υπόστρωμα 2 με ένταση βροχής $5,5x10^{-6}$ ms^{-1}	Χρόνος ($x10^{3}$ s)	5,28	12
	Ποσότητα εισροής ($x10^{-3}$m)	29,30	66,59
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ($x10^{-3}$m)	29,30	36,70 (55,11%)
	Ποσότητα νερού εκροής ($x10^{-3}$m)	0,00	29,89
Υπόστρωμα 1 με ένταση βροχής $16,6x10^{-6}$ ms^{-1}	Χρόνος ($x10^{3}$ s)	1,92	8,4
	Ποσότητα εισροής ($x10^{-3}$m)	32,00	140,00
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ($x10^{-3}$m)	32,00	42,40 (30,28%)
	Ποσότητα νερού εκροής ($x10^{-3}$m)	0,00	97,60
Υπόστρωμα 2 με ένταση βροχής $16,6x10^{-6}$ ms^{-1}	Χρόνος ($x10^{3}$ s)	1,8	6,6
	Ποσότητα εισροής ($x10^{-3}$m)	30,00	110,00
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ($x10^{-3}$m)	30,00	38,81 (35,28%)
	Ποσότητα νερού εκροής ($x10^{-3}$m)	0,00	71,19

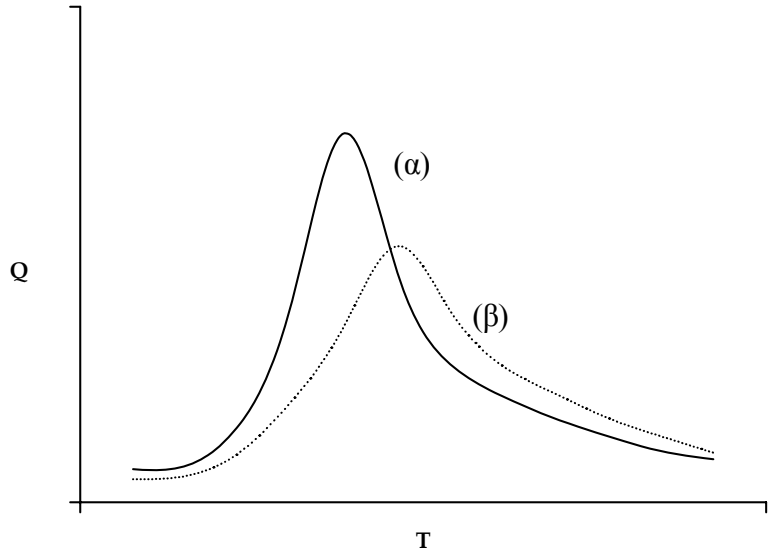
Τέλος, στην περίπτωση του υποστρώματος 2, αλλά με ένταση βροχής $16,6x10^{-6}$ ms^{-1} η εκροή άρχισε στα $1,8x10^{3}$ s (30 min) από την έναρξη της βροχόπτωσης. Τη στιγμή που η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχής, μετά από $6,6x10^{3}$ s (110 min), είχαν συγκρατηθεί μέσα στο υπόστρωμα $38,81x10^{-3}$ m όμβρια (35,28%) από το σύνολο των $110x10^{-3}$ m της βροχόπτωσης.

Από όλα τα πειράματα επιβεβαιώνεται ότι η συγκράτηση όμβριων από τα πειραματικά τεμάχια είναι δυνατόν να δημιουργήσει αξιόλογη ανάσχεση στη φόρτιση του αγωγού αποχέτευσης όμβριων. Τα (υπόψη) πειραματικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν βάση για τον υπολογισμό των πλημμυρικών παροχών μιας αστικής περιοχής στην οποία υπάρχουν ταρατσόκηποι.

Ένταση βροχής $5,5x10^{-6}$ m s^{-1} και διάρκειας $12,6x10^{3}$ s (3,5h) αντιστοιχεί σε επεισόδιο βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς την 20ετία για την περιοχή των Αθηνών [7]. Όπως προαναφέρθηκε στις δύο από τις επεμβάσεις των πειραματικών τεμαχίων 1 και 2 εφαρμόστηκε ένταση βροχής $5,5x10^{-6}$ ms^{-1} και διάρκειας $13,8x10^{3}$ s (3,83h) στο υπόστρωμα 1 και $12x10^{3}$ s (3,33h) στο υπόστρωμα 2 και σημειώθηκε μείωση των όμβριων 52,1% και 55,11% αντίστοιχα στα δύο υποστρώματα.

Η παρέμβαση του ταρατσόκηπου ήταν διπλή και αφορούσε τόσο στη μείωση του όγκου των όμβριων που αποχετεύεται κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης, όσο και στην αισθητή χρονική μετατόπιση (υστέρηση) του σημείου αιχμής της παροχής εκροής.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ανάσχεσης της πλημμυρικής αιχμής μιας αστικής περιοχής όπως είναι η Αθήνα. Ο Κηφισός είναι ένα ποτάμι με σοβαρή πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων. Δέχεται απορροές όμβριων από μια επιφάνεια 417 Km^2 (συμπεριλαμβανομένου του ποταμού Ιλισού). Η μεγαλύτερη από την αστική περιοχή της ευρύτερης Αθήνας (240 από 330Km^2) καταλήγει σε αυτόν τον συλλέκτη. Οι δείκτες αυτοί δείχνουν ότι το 58% (=240/417) των φορτίων του ποταμού προέρχονται από τον αστικό χώρο, και έτσι εξηγείται το γιατί η τάση εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων στην Αθήνα συνδέεται κύρια με την εμφάνιση βροχής πάνω από την πόλη.



Σχήμα 1: Τυπικό υδρογράφημα πλημμύρας στο φυσικό αποδέκτη χωρίς ταρατσόκηπους (α), με ταρατσόκηπους (β).

Από τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής προκύπτει ότι η ύπαρξη σημαντικής έκτασης ταρατσόκηπων μπορεί να έχει ευνοϊκά υδρολογικές και αντιπλημμυρικές επιπτώσεις. Τούτο φαίνεται σαφέστερο από το Σχήμα 1 στο οποίο φαίνεται η ποιοτική επίδραση των ταρατσόκηπων στην πλημμυρική απορροή. Εάν η καμπύλη (α) στο Σχήμα 1 αποτελεί το μοναδιαίο υδρογράφημα του Κηφισού ποταμού, η ύπαρξη σημαντικής έκτασης ταρατσόκηπων στην περιοχή θα αποκτήσει τη μορφή της καμπύλης (β). Η αιχμή της καμπύλης (α) όχι μόνο θα μειωθεί αλλά και θα υποστεί μια χρονική υστέρηση με ευνοϊκά σε όλες τις περιπτώσεις αποτελέσματα.

Η δημιουργία σημαντικής επιφάνειας ταρατσόκηπων σε στρατηγικής σημασίας σημεία της πόλης, είναι δυνατό να οδηγήσει τόσο στην αύξηση της αντιπλημμυρικής προστασίας όσο και στη μείωση της έντασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]. Osmundson, T., 1999. Roof Gardens: History, Design and Construction, New York: W. W. Norton & Company Inc. (Amazon.com).

[2] Jashemski, W., 1979. The Gardens of Pompeii: Herculaneum and the Villas Destroyed by Vesuvius. Aristide D. Caragzas, New Rochelle, NY, Volume I and II.

[3] Gorse, G. L., 1983. Genovese Renaissance Villas: A Typological Introduction in Journal of Garden History, Volume 3, No. 4, , pp. 255-289.

[4] North American Wetland Engineering, 1998. Ecology, Construction, and Benefits in ReNature/NAWE Green Roof Product Literature, Minnesota.

[5] Haines, W. B., 1930. Studies in the physical properties of soils. V. The hysteresis effect in capillary properties and the models of moisture distribution associated therewith. J. Agr. Sci., 20:97-116.

[6] Cristiansen, J.E., 1942. Irrigation by sprinkling, California Agr. Expt. Sta. Bull.

[7] Koutsoyiannis, D. and Baloutsos, G., 2000. Analysis of a Long Record of Annual Maximum Rainfall in Athens, Greece, and Design Rainfall Inferences, Natural Hazards 29: 29-48, Kluwer Academic Publishers.

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ G.P.S. ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ

Ε. Καραγιάννης*, Π. Καραρίζος*, Β. Δρόσος και Β. Γιαννούλας***
*Α.Π.Θ.-Τμήμα Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος, 54124 Θεσ/νίκη
** Δ.Π.Θ.-Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανταζίδου 193, 68200 Ορεστιάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η ακρίβεια ενός χαμηλού κόστους G.P.S. (χειρός) κατά την υψομετρική αποτύπωση ενός δασικού δρόμου. Για τους σκοπούς της έρευνας έγιναν επίσης μετρήσεις με το αλτίμετρο Thommen, με το κλισίμετρο Meridian και το γεωδαιτικό σταθμό, οι τιμές του οποίου πάρθηκαν σαν αληθείς τιμές. Από τη στατιστική ανάλυση των διαφορών υπολογίσθηκαν το μέσο αριθμητικό σφάλμα, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου, προέκυψαν συμπεράσματα για την ακρίβεια των μετρήσεων και τέλος έγιναν οι σχετικές προτάσεις.
Λέξεις κλειδιά: Υψομετρική αποτύπωση, δασικός δρόμος, G.P.S.

THE CAPABILITIES OF THE GPS SYSTEM'S APPLICATION IN THE FOREST'S OPENING-UP WORKS

E. Karagiannis*, P. Kararizos*, V. Drosos and V. Giannoulas ***
* School of Forestry and Natural Environment,Aristotle University of Thessaloniki, 54124
** School of Forestry and Management of Environment and Natural Resources, Democritus University of Thrace, Orestiada 68200

ABSTRACT

In this paper the accuracy of a low-cost G.P.S. (handy) is researched during the hypsometrical surveying of a forest road. For the research's aims measurings were done with altimeter Thommen, clinometer Meridian and the total station, the values of which have been taken as true values. From the statistical analysis are calculated the mean arithmetical error, the mean square error and the mean square error of average, conclusions have come for the measurings' accuracy and finally became the relative suggestions.
Keywords: Hypsometrical surveying, forest road, G.P.S.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS = Global Positioning System) είναι το πιο πρόσφατο σύστημα και βασίζεται στις παρατηρήσεις δορυφόρων. Ο βασικός στόχος του GPS είναι να παρέχει υπηρεσίες ραδιεντοπισμού υψηλής ακρίβειας, με παγκόσμια κάλυψη σε 24ωρη βάση, κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες σε επίγειες, θαλάσσιες και εναέριες μονάδες των ΗΠΑ και του ΝΑΤΟ. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια αποδείχθηκε ένα χρήσιμο εργαλείο και σε μη στρατιωτικές εφαρμογές [6].

Το GPS βασίζεται στην εύρεση της απόστασης μεταξύ δορυφόρων, στον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στο δέκτη και τρεις ή περισσότερους (4 ή περισσότερους αν χρειάζεται και το υψόμετρο) και στην εφαρμογή απλών μαθηματικών.

Οι θέσεις των δορυφόρων είναι γνωστές κάθε στιγμή και είναι αποθηκευμένες στους δέκτες GPS. Ο εντοπισμός της θέσης του δέκτη ανάγεται στην εύρεση ενός γεωμετρικού τόπου, δηλαδή στην τομή τριών ή περισσοτέρων σφαιρών, που κάθε μία έχει ως ακτίνα την απόσταση κάθε δορυφόρου από το δέκτη.

Το GPS υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα στο δορυφόρο και στο δέκτη, μετρώντας το χρόνο που απαιτείται για να φθάσει το σήμα του δορυφόρου στο δέκτη [14].

Ενώ το GPS σχεδιάστηκε αρχικά για στρατιωτική χρήση, σύντομα, μετά τη διατύπωση των αρχικών προτάσεων, έγινε σαφές ότι το GPS θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και από τους πολίτες και όχι μόνο για τον ατομικό προσδιορισμό θέσης (όπως προοριζόταν για το στρατό). Οι πρώτες δύο μεγάλες εφαρμογές για τους πολίτες ήταν η ναυσιπλοΐα και η τοπογραφία. Σήμερα οι εφαρμογές του GPS ποικίλλουν καθώς χρησιμοποιείται σε γεωδυναμικές, γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές [9],[16], στη διαχείριση στόλων αυτοκινήτων σε συνδυασμό με ηλεκτρονικούς χάρτες για την επίτευξη της συντομότερης διαδρομής, ειδικά σε έκτακτες ανάγκες, [18], στις εργασίες κτηματολογίου σε συνδυασμό με τα GIS [5], στη λεπτομερή και ακριβή απογραφή της υπάρχουσας διάνοιξης των δασών [10],[11], στη σύνταξη της προμελέτης και της μελέτης δρόμων [1], στην καθοδήγηση χωματουργικών μηχανημάτων σε συνδυασμό με το ψηφιακό μοντέλο του εδάφους, στον υπολογισμό της παραγωγικότητας των δασικών μηχανημάτων [12],[17].

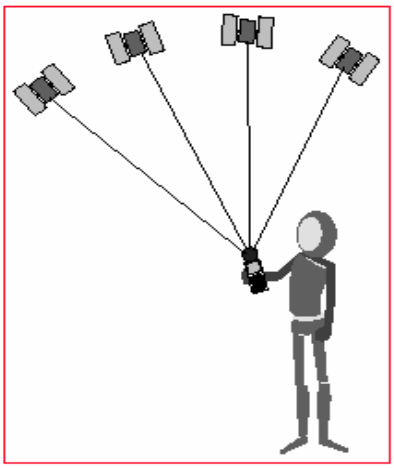
Η συνολική διαμόρφωση του GPS αποτελείται από τρία ξεχωριστά τμήματα:

- *Το Τμήμα Διαστήματος* (Δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη).
- *Το Λειτουργικό Τμήμα Εδάφους* (Σταθμοί τοποθετημένοι γύρω από τον ισημερινό της γης ώστε να ελέγχουν τους δορυφόρους).
- *Το Τμήμα Χρηστών* (Οποιοσδήποτε λαμβάνει και χρησιμοποιεί το σήμα του GPS).

Για τις τοπογραφικές εργασίες υπάρχουν δύο κατηγορίες δεκτών στην αγορά:

1. Γεωδαιτικοί δέκτες ακριβείας, διπλής συχνότητας με προστατευμένους κωδικούς και ακρίβεια ± 1 m.
2. Δέκτες χαμηλού κόστους (χειρός), μίας συχνότητας, που ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης η ακρίβεια κυμαίνεται από 0,60 – 50 m.

Το υψηλό κόστος των οργάνων της πρώτης κατηγορίας, πάνω από 30.000 €, τα καθιστά απαγορευτικά για χρήση σε γεωδαιτικές εφαρμογές, ενώ αντίθετα το σχετικά χαμηλό κόστος των οργάνων της δεύτερης κατηγορίας, μικρότερο από 300 €, τα καθιστά ελκυστικά για τις γεωτεχνικές εφαρμογές (Σχήμα 1).



Σχήμα 1**.** G.P.S. χειρός.

Η ακρίβεια των G.P.S., σε δασικό περιβάλλον, είναι ένα μειονέκτημα για πολλές εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια, ιδιαίτερα μέσα σε κλειστό από το φύλλωμα ουρανό. Μετά τη λήξη της επιλεκτικής διαθεσιμότητας βελτιώθηκε η ακρίβεια των μικρού κόστους G.P.S. [2], [5], [15]. Τα μικρά φορητά G.P.S είναι πιο εργονομικά στη δασική πράξη, συνδυάζονται και με πυξίδα και με αλτίμετρο και έτσι έχουν μια σίγουρη βασική ακρίβεια, όταν οι μετρήσεις γίνονται σε ανοικτό ουρανό και από εκεί οι διευθύνσεις μετρούνται με την πυξίδα σε σημεία κάτω από φύλλωμα [3], [13].
Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση του βαθμού αξιοπιστίας κατά την υψομετρική αποτύπωση ενός δασικού οδικού δικτύου, με τη χρήση ελαφρών φορητών δεκτών G.P.S. και η σύγκριση των μετρήσεων με αυτές που προέκυψαν από αλτίμετρο, από κλισίμετρο και από γεωδαιτικό σταθμό.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1. Περιοχή έρευνας

Για τους σκοπούς της έρευνας, αποτυπώθηκε υψομετρικά δασικός δρόμος μήκους 2.049 μέτρων, που βρίσκεται στα όρια των δασικών τμημάτων 16 και 53 του Πανεπιστημιακού δάσους Ταξιάρχη – Βραστάμων Χαλκιδικής και αποδόθηκε υψομετρικά με G.P.S χειρός, με αλτίμετρο, με κλισίμετρο και με γεωδαιτικό σταθμό.
Η περιοχή έρευνας βρίσκεται νοτιοδυτικά του Δασαρχείου, καλύπτεται σε ποσοστό 96% από Πλατύφυλλο Δρυ (*Quercus conferta*) και άτομα Χνοώδους Δρυός (*Quercus pubescens*), επίσης υπάρχει Οξιά (*Fagus moesiaca*),καθώς και λόχμη από Τραχεία Πεύκη (Pinus brutia) και Μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*). Η περιοχή έχει υπερθαλάσσιο ύψος που κυμαίνεται από 700 – 890 μέτρα. Οι εγκάρσιες κλίσεις ξεπερνούν το 45%, το πλάτος του δρόμου που μετρήθηκε κυμαίνεται από 4 – 5 m, ενώ ο δρόμος ήταν περιτρυγιρισμένος από βελανιδιές ύψους 15 – 25 m [4].

2.2. Εκλογή οργάνων

Τα όργανα, που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των διαφόρων χαρακτηριστικών σημείων του δρόμου υψομετρικά, ήταν ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TC805/L, το αλτίμετρο Thommen, το κλισίμετρο Meridian, καθώς και το G.P.S χειρός eTrex Legend της GARMIN (Σχήμα 2).
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του G.P.S χειρός eTrex Legend της GARMIN παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά του G.P.S χειρός eTrex Legend της GARMIN

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Τιμή
Δέκτης	12 κανάλια
Αριθμός Σημείων	500
Ενσωματωμένη μνήμη	8 MB
Χρόνος ζωής μπαταρίας	22 ώρες
Διαστάσεις Οθόνης	2,1 x 1,1
Pixels (H x W)	288 x 160
Standard GPS Κεραία	Ενσωματωμένη
Βάρος	150 γραμμάρια
Διαστάσεις (Υ x Π x Β) σε cm	11,2 x 5,1 x 3,1
Ενσωματωμένη Ηλεκτρονική Πυξίδα	Όχι
Ενσωματωμένο Βαρόμετρο-Αλτίμετρο	Όχι
Θερμοκρασία λειτουργίας	-15 έως 70° C
Χρόνος απόκτησης σήματος	Περίπου 15 sec / Πρώτη φορά 5 min
Ρυθμός ενημέρωσης	Συνεχής κάθε 1 sec
Ακρίβεια στίγματος	15m
Ακρίβεια ταχύτητας	0,1 κόμβοι

2.3. Μέθοδος εργασίας

Οι μετρήσεις έγιναν τον Οκτώβριο του 2004, δηλ. μετά τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας, για τα χαμηλού κόστους (χειρός) G.P.S.
Για τη στατιστική ανάλυση οι τιμές του γεωδαιτικού σταθμού πάρθηκαν σαν αληθείς τιμές. Για τον έλεγχο του σφάλματος των μετρήσεων υπολογίσθηκε:

Σχήμα 2. Το G.P.S χειρός eTrex Legend της GARMIN.

α. Ο μέσος όρος των αποκλίσεων των μετρήσεων από την αληθή τιμή, από τον τύπο του **μέσου αριθμητικού σφάλματος**:

$$\mu_{\alpha} = \pm (\delta) / n$$

όπου:

μ_{α} = μέσο αριθμητικό σφάλμα.

(δ) = το άθροισμα των απολύτων τιμών των αληθινών διαφορών (σφαλμάτων) δ_1, δ_2, ..., δ_n.

n = το πλήθος των παρατηρήσεων.

β. **Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα** των μετρήσεων:

$$\mu_{\tau} = \pm ((\delta\delta) / n)^{0,5}$$

όπου:

μ_{τ} = μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

$\delta\delta = E_t - E_G$.

E_t = το αληθές υψόμετρο από τον γεωδαιτικό σταθμό.

E_G = το υψόμετρο που μετρήθηκε με G.P.S, με αλτίμετρο ή με κλισίμετρο.

n = ο αριθμός των μετρήσεων.

γ. Το κριτήριο του **μέσου τετραγωνικού σφάλματος του μέσου όρου**:
Τα προηγούμενα σφάλματα καθόριζαν το σφάλμα κάθε μίας μέτρησης της σειράς και όχι της πιθανής τιμής (μέσου όρου). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_M = \pm ((\delta\delta) / (n \times (n - 1))^{0,5} = \pm \mu_{\tau} / (n)^{0,5}$$

όπου:

μ_M = το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου.

$\delta\delta = (E_t - E_G)^2$.

E_t = το αληθές υψόμετρο από τον γεωδαιτικό σταθμό.

E_G = το υψόμετρο που μετρήθηκε με G.P.S, με αλτίμετρο ή με κλισίμετρο.

n = ο αριθμός των μετρήσεων.

δηλαδή η αληθής τιμή X βρίσκεται μεταξύ των ορίων $(L + \mu_M)$, $(L - \mu_M)$,
όπου:

L = ο μέσος όρος της αληθούς τιμής X.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον πίνακα 2 φαίνονται οι διαφορές των μετρήσεων των υψομέτρων με G.P.S., με αλτίμετρο και με κλισιμέτρο, σε σχέση με αυτά που μετρήθηκαν με το γεωδαιτικό σταθμό.

Από την έρευνα και τη μελέτη των στοιχείων της τοπογραφικής και της βαρομετρικής υψομετρικής απόδοσης με G.P.S., με αλτίμετρο και με κλισίμετρο στην περιοχή έρευνας προέκυψαν, με βάση τη θεωρία των σφαλμάτων, στοιχεία που περιέχονται στον πίνακα 3.

Το μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_o) του απόλυτου υψομέτρου Η υπολογίσθηκε σε ± 11,3318 για το G.P.S., σε ± 4,9627 για το αλτίμετρο και ± 1,5994 για το κλισίμετρο. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ($\mu_τ$) του απόλυτου υψομέτρου Η υπολογίσθηκε σε ± 12,4237 για το G.P.S., σε ± 5,4038 για το αλτίμετρο και ± 1,7070 για το κλισίμετρο . Τελικά το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου ανέρχεται σε ± 1,7397 για το G.P.S., σε ± 0,7567 για το αλτίμετρο και σε ± 0,2390 για το κλισίμετρο .

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, κατά τη διάρκεια της υψομετρικής αποτύπωσης του δασικού δρόμου με το G.P.S, απορρίφθηκαν 12 μετρήσεις (ποσοστό 19%), που παρουσίαζαν μεγάλο σφάλμα, επειδή εμποδίζονταν από δένδρα στο κράσπεδο του δρόμου.

Το μέσο αριθμητικό και τετραγωνικό σφάλμα των μετρήσεων των υψομέτρων με G.P.S αποκλίνει κατά 129% σε σχέση με τις μετρήσεις των υψομέτρων με αλτίμετρο και κατά 628% σε σχέση με τις μετρήσεις των υψομέτρων με κλισίμετρο.

Έρευνες που έγιναν στο παρελθόν και αφορούσαν την υψομέτρηση με G.P.S.χειρός υπολόγισαν μέσο αριθμητικό και μέσο τετραγωνικό σφάλμα ± 11,199 και ± 11,6148 [5], καθώς και ± 14,856 και ± 19,786 αντίστοιχα [7].

Η υψομέτρηση με τα χαμηλού κόστους G.P.S. χειρός παρουσιάζει σημαντική ανακρίβεια που οφείλεται τόσο στη διαφορετική θέση του ελλειψοειδούς αναφοράς του WRS ‘84 σε σχέση με το ΕΓΣΑ ’87, όσο και στη θέση του δέκτη (υψομετρικού σημείου), σε σχέση με τους δορυφόρους, που όπως είναι φυσικό βλέπουν από πάνω και όχι κάτω από το δέκτη.

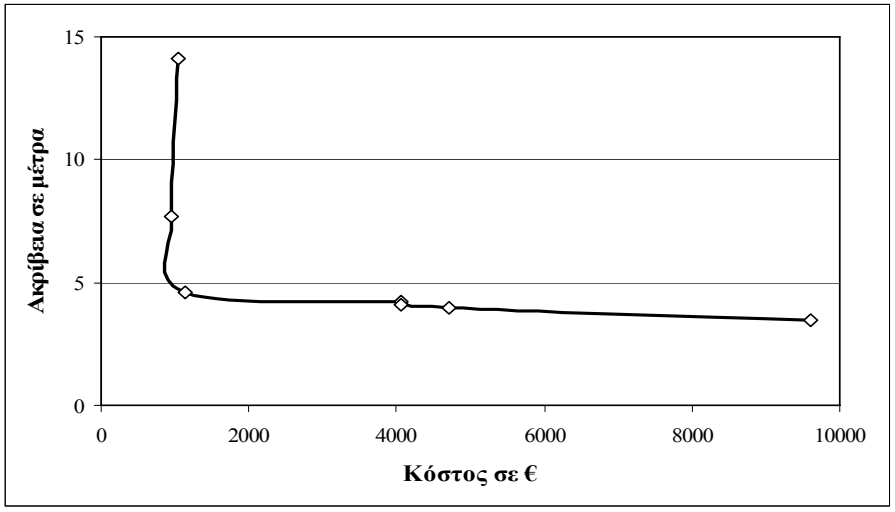
Η σημαντική αυτή ανακρίβεια θα έχει σαν αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικά σφάλματα κατά την υψομετρική αποτύπωση, με χαμηλού κόστους G.P.S. χειρός, οδικών δικτύων και κατά την προμελέτη χάραξης ενός δασικού δρόμου. Για τις εργασίες αυτές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται G.P.S. με μεγαλύτερη ακρίβεια. Στο σχήμα 3 δίνεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ της ακρίβειας και του κόστους αγοράς του G.P.S [8].

Πίνακας 2. Διαφορές μετρήσεων υψομέτρων με διάφορα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν

Διαφορές μετρήσεων υψομέτρων							
α/α	G.P.S.	Αλτίμε-τρο	Κλισί-μετρο	α/α	G.P.S.	Αλτίμε-τρο	Κλισί-μετρο
1	-10,416	-9,416	0	27	-17,982	-4,482	-1,775
2	-14,783	3,217	-0,476	28	-17,393	-5,393	-1,266
3	-14,879	4,121	--0,394	29	-17,760	-5,760	-1,753
4	-15,263	2,737	-0,973	30	-17,841	-5,841	-1,797
5	-15,343	2,657	-1,315	31	-18,539	-6,539	-1,660
6	-15,421	1,779	-0,246	32	-18,522	-6,522	-1,752
7	-15,501	1,999	-0,994	33	-18,575	-6,575	-1,946
8	-15,516	1,984	-1,304	34	-19,685	-6,685	-1,913
9	-15,507	1,993	-0,163	35	-7,387	-6,387	-1,478
10	-8,964	-1,964	-0,931	36	-7,402	-6,402	-1,386
11	-12,560	-2,560	-1,346	37	-4,219	-6,719	-1,999
12	-12,694	-2,694	-1,591	38	-4,222	-6,722	-2,095
13	-11,705	-3,705	-1,392	39	-4,221	-6,721	-2,290
14	-11,788	-3,788	-1,348	40	-5,501	-7,001	-2,130
15	-11,774	-2,774	-1,634	41	-5,455	-7,455	-2,156
16	-11,598	-2,598	-1,416	42	-5,378	-7,378	-2,256
17	-11,693	-2,693	-1,399	43	-4,504	-7,504	-2,236
18	-11,765	-2,765	-1,651	44	-4,608	-7,608	-2,430
19	-10,537	-3,037	-1,463	45	-4,462	-7,462	-2,340
20	-10,529	-3,029	-1,379	46	-4,384	-7,684	-2,304
21	-10,536	-2,536	-1,611	47	-4,033	-7,333	2,170
22	-10,020	-3,020	-1,297	48	-4,011	-7,311	-2,126
23	-17,581	-3,581	-1,717	49	-3,833	-7,333	-2,345
25	-17,442	-3,442	-1,747	50	-3,842	-7,342	-2,061
25	-18,171	-4,671	-1,856	51	-4,034	-7,534	-2,521
26	-18,143	-4,643	-1,742				
Άθροι-σμα					-595,914	-269,088	-81,570

Πίνακας 3. Ακρίβεια έρευνας

Όργανο	Μέγεθος δείγματος n	Μέσο αριθμητικό σφάλμα μα (m)	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα μ_τ (m)	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου μ_M (m)
G.P.S	51	11,3318	12,4237	1,7397
Αλτίμετρο	51	4,9627	5,4038	0,7567
Κλισίμετρο	51	1,5994	1,7070	0,2390



Σχήμα 3. Σχέση μεταξύ της ακρίβειας των μετρήσεων και του κόστους αγοράς του G.P.S

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Η υψομετρική αποτύπωση, με χαμηλού κόστους G.P.S. χειρός, οδικών δικτύων στερείται αρκετά, από πλευράς αξιοπιστίας, σε σχέση με τις κλασικές τοπογραφικές μεθόδους. Ακριβέστερη ανεύρεση των υψομέτρων μπορεί να γίνει αν η όλη εργασία συνδυασθεί με αλτίμετρο. Υπάρχουν ήδη στην αγορά G.P.S. με ενσωματωμένο αλτίμετρο (GARMIN Samit).
2. Ο χρόνος διεξαγωγής των μετρήσεων με G.P.S. χειρός είναι ασύγκριτα μικρότερος από οποιαδήποτε άλλη κλασική τοπογραφική μέθοδο, χωρίς να απαιτείται ορατότητα μεταξύ των σημείων που αποτυπώνονται. Το σύστημα λειτουργεί κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες, όλο το 24ωρο, με την απασχόληση ενός μόνο ατόμου χωρίς εξειδικευμένες γνώσεις.
3. Η αξιοποίηση του G.P.S. μέσα στο δάσος, παρουσιάζει προβλήματα στη λήψη του σήματος. Έτσι σε μια λωρίδα δρόμου πλάτους 5 μέτρων, μπορεί να προσδιοριστεί η θέση μόνο του 44 % των σημείων, ενώ σε ελεύθερο πεδίο το 89 %. Η ακρίβεια εξαρτάται από τη διαχειριστική μορφή της συστάδας, το δασοπονικό είδος και το φύλλωμα των δένδρων, καθώς και τον αριθμό και τη θέση των δορυφόρων που είναι στη διάθεσή μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαρβάνης Α., Βασιλειάδης Θ.. 1996. Εφαρμογές του GPS στην Οδοποιία. Διπλωματική εργασία. Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας. Θεσσαλονίκη.
2. Γιαννίου Μ.. 2000. Τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στο G.P.S. ΑΤΜ, τεύχος 147, 46-55, Αθήνα.
3. Gzaja Jens, München & Marco Heurich. 2003. GPS für Waldinventur im Nationalpark Bayerischer Wald. Österreichische Forstzeitung, Heft 10, 31-32.
4. Διαχειριστικό σχέδιο Πανεπιστημιακού Δάσους Ταξιάρχη – Βραστάμων περιόδου 2002-2011. ΤΔΔΠΔ. Θεσσαλονίκη.

5. Δούκας Κ., Δρόσος Β. και Β. Γιαννούλας. 2002. GPS χαμηλού κόστους στη δασική πράξη. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, τιμητικός τόμος Λ. Αρβανίτη (υπό έκδοση).
6. Δούκας Α. Κ.. 2004. Τοπογραφία αγροτικών και δασικών περιοχών. Εκδόσεις Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη.
7. Δρόσος Β.. 2005. G.P.S. χειρός στις αποτυπώσεις δασικών και αγροτοδασικών περιοχών. Ημερίδα με θέμα «Αναμόρφωση προγράμματος προπτυχιακών σπουδών-Νέες τεχνολογίες στην Τοπογραφία και το Κτηματολόγιο», που διοργανώθηκε από το Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ. (Πρακτικά ημερίδας υπό έκδοση).
8. Hamberger J..2002. G.P.S. in der Forstwirtschaft. Österreichische Forstzeitung, Heft 10, 36-37.
9. Jing Li et al. 2005. Computers and Geosciences. 31, 241-251.
10. Καραγιάννης Ε.. 1991. Διάνοιξη δάσους με τη μέθοδο της Δικτυωτής Ανάλυσης σε συνδυασμό με την οικονομικοτεχνική μετατόπιση του ξύλου και με άλλες δασοπονικές δραστηριότητες σε ορεινά δάσης της Ελλάδος. Διδακτορική διατριβή. Επισ. Επετ. Τμημ. Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ., Παράρτημα αριθ. 5 του ΛΓ' Τόμου. Θεσσαλονίκη.
11. Καραγιάννης Ε.. 2004. Παραδόσεις Διάνοιξης Δάσους και Μεταφοράς ξύλου. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
12. Καραρίζος Π.. 1996. Σημειώσεις Εφαρμογών Μηχανημάτων Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
13. NWF Nordwest-Funk GmbH. 2002. GPS mit Kompass und Höhenmesser. AVN, Heft 8-9, 322.
14. Πριόβολος Γ.Δ.. 2000. GPS Τεχνολογία αιχμής στην παραγωγή των αντικειμένων του ΑΤΜ. Τεχνικά Χρονικά. Τεύχος 3.
15. Resnik B..2002. Praktische Untersuchungen zur Genauigkeit von Flächenermittlungen mit Handheld-GPS-Empfangern. AVN, Heft 10, 346-351.
16. Σάκκος Λ., Βορριάς Ε.. 1998. Παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων του στερεού φλοιού στη σεισμική περιοχή της λεκάνης της Μυγδονίας από δύο σειρές παρατηρήσεων GPS. Διπλωματική εργασία. Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας. Θεσσαλονίκη.
17. Taylor S.E., McDonald T.P., Veal M.W., Grift T.E.. 2001. Using GPS to evaluate productivity and performance of forest machine systems. Auburn University, Auburn.
18. Wells D.. 1987. Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates. Fredericton, N.B., Canada.

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ

Ε. Ράππος , Α. Αγγελοπούλου , Ι. Παπαθανασίου , Θ.Α Γέμτος και Γ. Δ. Νάνος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446 Ν.Ιωνία Μαγνησίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη χαρτογράφηση της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε καλλιέργεια μηλιάς στη Βόρεια Ελλάδα. Ο αγρός είχε δύο ποικιλίες μήλων, τις ποικ. Red Chief και Fuji. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική παραλλακτικότητα στον αγρό και στην παραγωγή και στην ποιότητα, ενώ συχνά βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και μερικών ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η ποικιλία Fuji ήταν πιο παραγωγική και είχε καλύτερη ποιότητα καρπών από την ποικιλία Red Chief.

PRECISION FARMING IN APPLE ORCHARD: CORRELATING YIELD MAPS AND QUALITY

E. Rappos , A. Aggelopoulou , I. Papathanasiou, T.A. Gemtos and G. D. Nanos

University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production & Agricultural Environment, Fytoko Street, N. Ionia, Magnesia, 38446, Greece

ABSTRACT

In this study, the results of yield and quality mapping are presented, for an apple orchard in Northern Greece. The field was planted with two apple cvs, “Red Chief” and “Fuji”. The results showed that there is significant variability across the field both in yield and quality characteristics, while there is negative correlation between yield and some quality traits. Cv. Fuji was more productive and the fruit had better quality from cv. Red Chief.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργία ακριβείας (precision farming) είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών σύμφωνα με την οποία μπορεί να εφαρμοστούν διαφορετικά επίπεδα εισροών σε περιοχές του αγρού ανάλογα με το δυναμικό παραγωγής της κάθε περιοχής. Τα πιθανά πλεονεκτήματα είναι: α) αύξηση του οικονομικού αποτελέσματος η οποία μπορεί να προκύψει είτε από την αύξηση της παραγωγής είτε από την μείωση των εισροών, β) μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τα αγροχημικά, επειδή εφαρμόζεται όση ακριβώς ποσότητα είναι απαραίτητη και γ) καλύτερη ιχνηλασιμότητα των προϊόντων επειδή γίνεται ακριβής καταγραφή όλων των επεμβάσεων στον αγρό [1].

Η γεωργία ακριβείας χρησιμοποιεί διάφορες τεχνολογίες όπως είναι το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης (Global Positioning System), τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Geographical Information Systems), οι αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής (yield monitors), η εφαρμογή εισροών με μεταβλητό ρυθμό (Variable Rate Technology), η τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) κ.α. Η πρόοδος που έχει συντελεστεί τα τελευταία χρόνια στις παραπάνω τεχνολογίες έδωσε τη δυνατότητα για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας σε διάφορες καλλιέργειες.

Η εφαρμογή ενός συστήματος γεωργίας ακριβείας περιλαμβάνει τρεις φάσεις [2]:

1. Συλλογή δεδομένων (Data Acquisition). Τα δεδομένα περιλαμβάνουν χάρτες παραγωγής, αναλύσεις εδάφους, μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα τηλεπισκόπησης, ποιοτικά χαρακτηριστικά, παρατηρήσεις στον αγρό για ασθένειες, ζιζάνια και οτιδήποτε άλλο μπορεί να επηρεάσει την απόδοση μιας καλλιέργειας. Τα δεδομένα συλλέγονται από τον αγρό με ταυτόχρονη καταγραφή της γεωγραφικής θέσης από την οποία λήφθηκαν με την χρήση ενός GPS. Στην συνέχεια με τη βοήθεια ενός προγράμματος GIS γίνεται η αποτύπωση της χωρικής παραλλακτικότητάς τους στον αγρό.
2. Επεξεργασία δεδομένων (Data Processing). Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται με διάφορες στατιστικές μεθόδους και οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την πιο σωστή μέθοδο διαχείρισης της παραλλακτικότητας του αγρού.
3. Εφαρμογή αποτελεσμάτων (Application). Από τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την ανάλυση των δεδομένων ο αγρός μπορεί να χωριστεί σε ζώνες διαχείρισης (management zones). Στις ζώνες αυτές, μπορούμε να εφαρμόσουμε τις εισροές σε μεταβλητές δόσεις (VRT), ανάλογα με το δυναμικό παραγωγής της καλλιέργειας στην κάθε ζώνη. Με τον τρόπο αυτό εφαρμόζεται η κατάλληλη ποσότητα εισροών στην κάθε περιοχή του αγρού και δεν γίνεται σπατάλη σε περιοχές που δεν μπορούν να παράγουν ούτε εφαρμογή μικρότερης ποσότητας εισροών σε περιοχές που έχουν τη δυνατότητα να παράγουν περισσότερο. Έτσι επιτυγχάνονται οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη με την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση των εισροών.

Τα συστήματα γεωργίας ακριβείας εφαρμόζονται σήμερα στις Η.Π.Α, στον Καναδά, σε χώρες της Ευρώπης (Γερμανία, Δανία, Αγγλία, Σουηδία), στην Αργεντινή, Αυστραλία και σε άλλες σε μικρότερες εκτάσεις [3]. Οι περισσότερες εφαρμογές αναφέρονται σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπως είναι τα σιτηρά [4,5,6], τα ζαχαρότευτλα [7], η σόγια [8], το βαμβάκι [9], ο ηλίανθος [10], η αραχίδα [11]. Επίσης υπάρχουν εφαρμογές σε λαχανικά [12, 13, 14] και σε φρούτα [15, 16, 17, 18, 19].

Στην Νότια Ευρώπη και στη χώρα μας η εφαρμογή των συστημάτων αυτών έχει καθυστερήσει. Οι λόγοι αυτής της καθυστέρησης είναι σύμφωνα με τους Γέμτο και άλλους [20] οι εξής: α) το μικρό μέγεθος των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, β) το χαμηλό μορφωτικό επίπεδο των αγροτών, γ) το γεγονός ότι οι γεωργοί είναι προσκολλημένοι σε παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής, δ) οι επιδοτήσεις των αγροτικών προϊόντων από την Ε.Ε. και στ) ότι δεν υπάρχει

τεχνολογία εφαρμογής των μεθόδων της γεωργίας ακριβείας για τις καλλιέργειες αυτών των χωρών και κυρίως για τα φρούτα και τα λαχανικά.

Στην Ελλάδα η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας ξεκίνησε το έτος 2001 σε καλλιέργεια βαμβακιού [2, 21]. Όμως δεν έχει διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής αυτών των συστημάτων σε οπωρώνες που είναι από τους πιο δυναμικούς τομείς αγροτικής παραγωγής στη χώρα μας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα από τη χαρτογράφηση παραγωγής σε καλλιέργεια μηλιάς στην Β. Ελλάδα. Παράλληλα με την παραγωγή μετρήθηκαν και ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών στη συγκομιδή και δημιουργήθηκαν χάρτες ποιότητας ενώ έγινε συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργεια μηλιάς στην περιοχή Πύργων Πτολεμαΐδας, σε ένα αγροτεμάχιο έκτασης 8 στρ. Η καλλιέργεια είχε διαμόρφωση παλμέτας, αποτελούνταν από 15 γραμμές δέντρων και περιλάμβανε 11 γραμμές της ποικιλίας Red Chief και 4 της ποικιλίας Fuji. Οι αποστάσεις φύτευσης των δέντρων ήταν 4Χ2,5 m.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής πραγματοποιήθηκε μετρώντας τη μέση παραγωγή ανά πέντε δένδρα και καταγράφοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένων στο κέντρο των πέντε δένδρων με τη χρήση ενός GPS χειρός. Επίσης μετρήθηκε η διάμετρος του κορμού κάθε δέντρου και υπολογίσθηκε η επιφάνεια διατομής του κορμού. Στην συνέχεια υπολογίστηκε η παραγωγικότητα του κάθε δένδρου ως πηλίκο του βάρους των καρπών του δένδρου προς την επιφάνεια διατομής του κορμού σε $g\ cm^{-2}$

Η ποιότητα των μήλων εκτιμήθηκε με 6 τυχαίους καρπούς σε κάθε σημείο μέτρησης. Για την ποικιλία Red Chief χρησιμοποιήθηκαν 30 σημεία μετρησης και για την Fuji 20. Μετρήθηκαν τα εξής ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών:

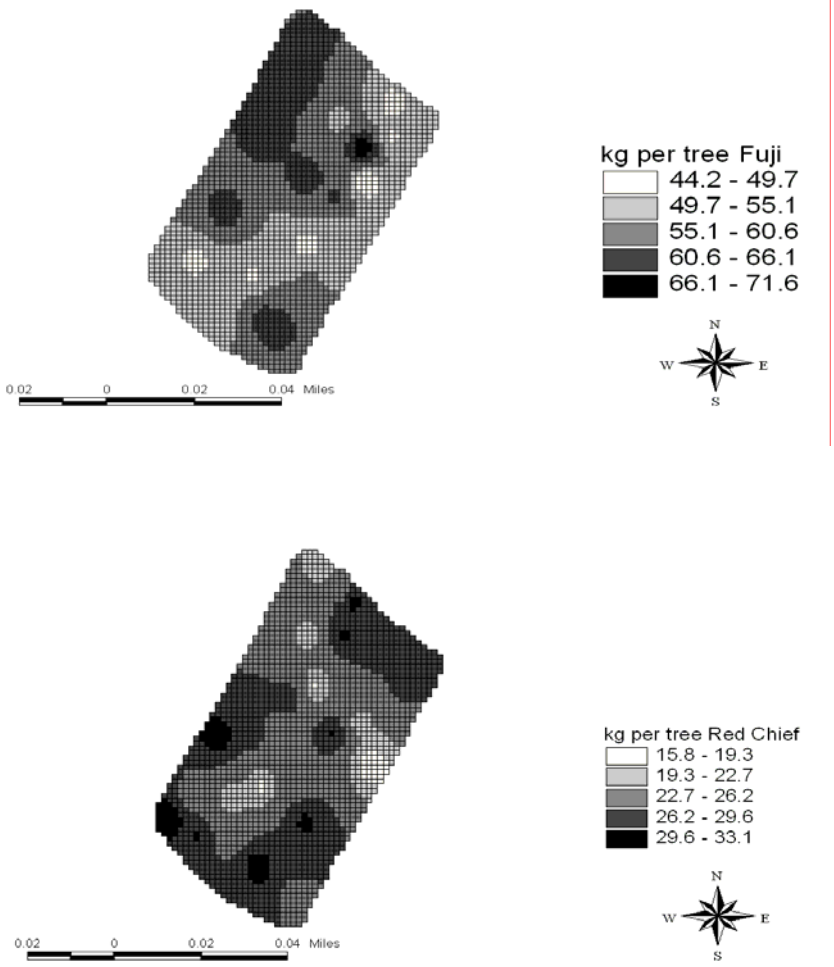
1. Μέσο βάρος καρπού σε g
2. Χρώμα φλοιού του καρπού. Η μέτρηση έγινε με χρωματόμετρο Hunter LAB, model Miniscan XE plus. Πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις στον ισημερινό του κάθε καρπού για τις παραμέτρους L*, a* και b*, και υπολογίστηκε ο μέσος όρος (εδώ μετρήθηκαν 4 μόνο καρποί ανά επανάληψη). Ακολούθησε υπολογισμός των παραμέτρων C* και hue angle σε μοίρες
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 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.

Από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν χάρτες παραγωγής και χάρτες ποιοτικών χαρακτηριστικών ανά ποικιλία και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας. Οι χάρτες παραγωγής δημιουργήθηκαν με το G.I.S. πρόγραμμα SSToolbox 3.5 και ο υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης έγινε με το Excel. Επίσης ελέγχθηκε η σημαντικότητα των συντελεστών συσχέτισης με το t-κριτήριο.

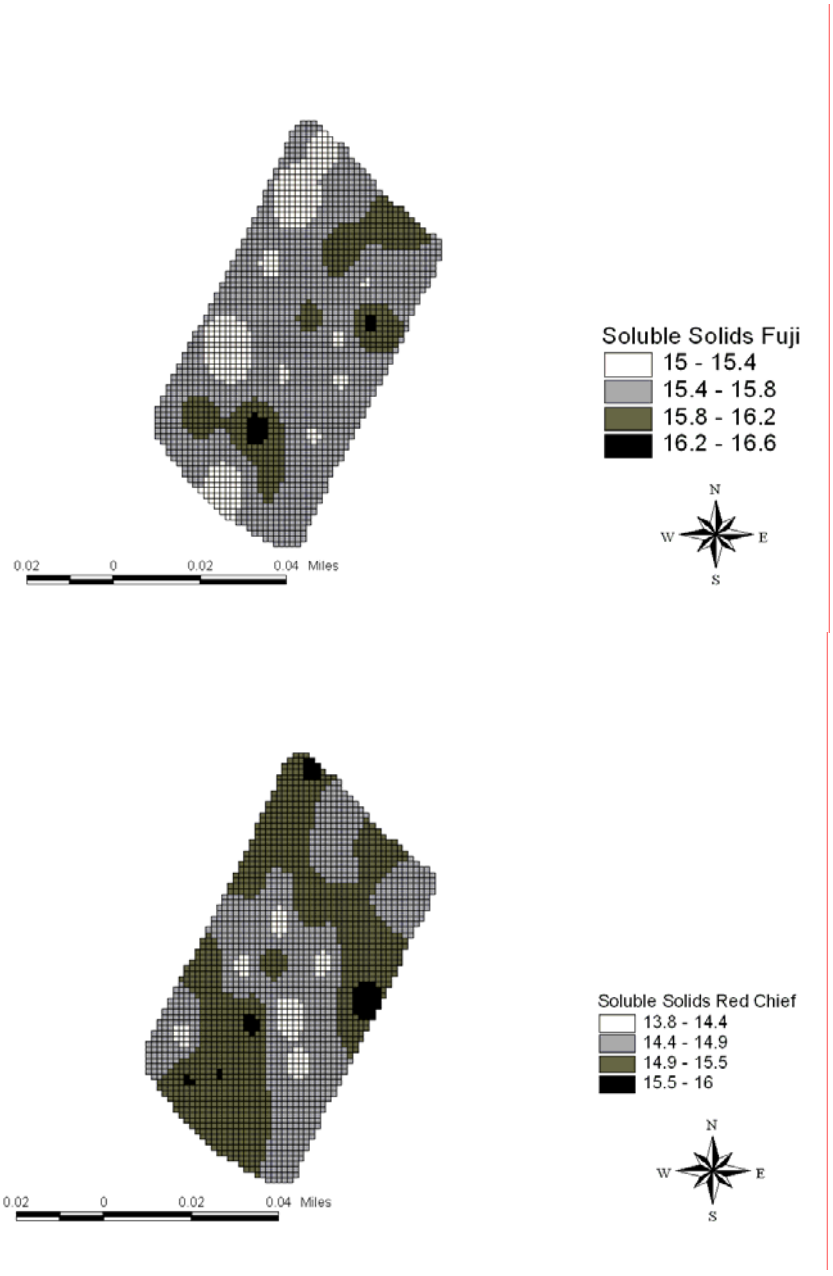
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Στους χάρτες παραγωγής (Σχήμα 1) φαίνεται ότι η ποικιλία Fuji είχε περίπου διπλάσια παραγωγή ανά δένδρο από την ποικιλία Red Chief.

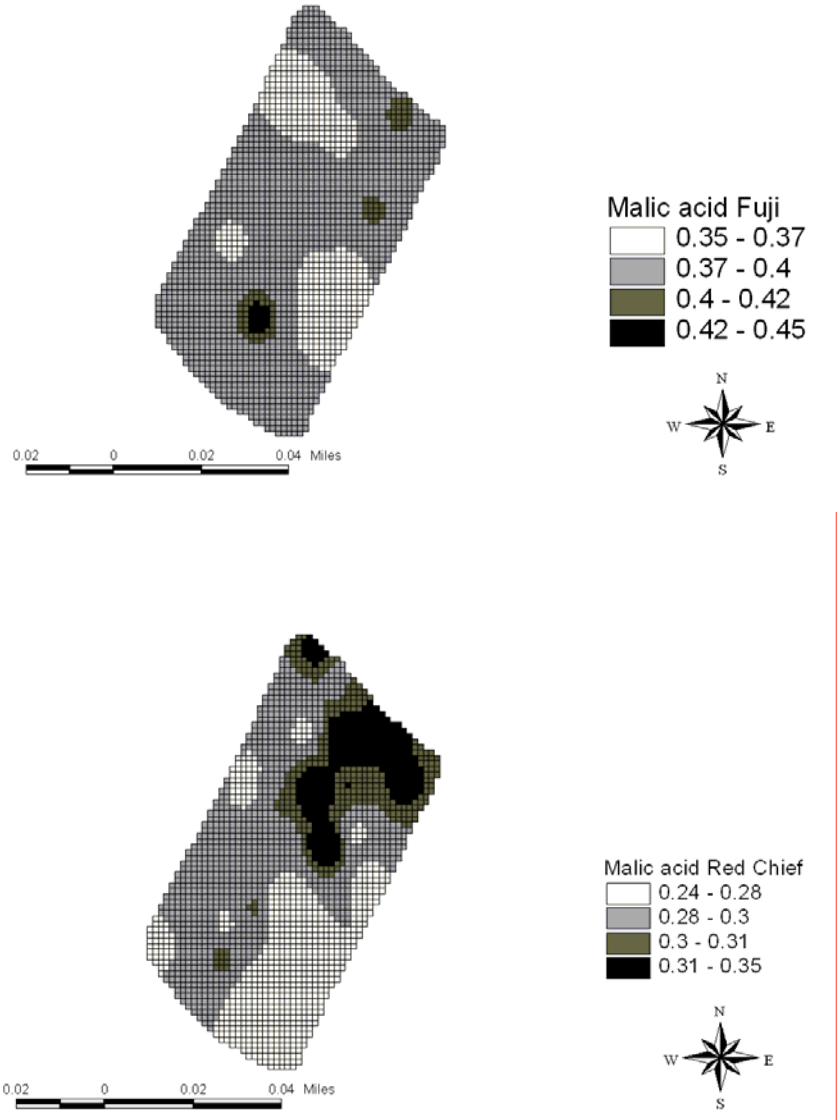
Επίσης είχε καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά (υψηλότερη περιεκτικότητα σε μηλικό οξύ και σε διαλυτά στερεά), όπως φαίνεται από τους χάρτες ποιότητας (Σχήματα 2, 3).



Σχήμα 1. Χάρτες παραγωγής ανά δένδρο σε kg για την ποικιλία Fuji (πάνω) και για την ποικιλία Red Chief (κάτω).



Σχήμα 2. Χάρτες ποιότητας που αφορούν την περιεκτικότητα του χυμού (%) σε διαλυτά στερεά για την ποικιλία Fuji (πάνω) και για την ποικιλία Red Chief (κάτω).



Σχήμα 3. Χάρτες ποιότητας που αφορούν την οξύτητα του χυμού του καρπού εκφρασμένη σε περιεκτικότητα (%)σε μηλικό οξύ για την ποικιλία Fuji (πάνω) και για την ποικιλία Red Chief (κάτω).

Και στις δύο ποικιλίες με μεγάλη απόδοση ανά δέντρο φαίνεται ότι υποβαθμίζεται η ποιότητα καρπού όσον αφορά τα διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ) και το pH ή την οξύτητα. Τέλος, το pH και η οξύτητα χυμού δεν συσχετίζονται μεταξύ τους.

Στην ποικ. Red Chief (Πίνακας 1), καθώς το βάρος καρπού αυξήθηκε, μειώθηκαν το μηλικό οξύ και η σκληρότητα σάρκας. Επίσης βρέθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ μηλικού οξέος και σκληρότητας σάρκας. Αυτά τα δύο πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω ως οι καλύτεροι δείκτες εκτίμησης της ποιότητας των μήλων της ποικιλίας Red Chief. Όλοι οι δείκτες χρώματος βρέθηκαν να σχετίζονται θετικά μεταξύ τους. Συνήθως με την ωρίμανση στο χωράφι, τα L*, Chroma και hue μειώνονται, ώστε να έχουμε πιο στιλπνό σκούρο κόκκινο χρώμα. Η υψηλή παραγωγικότητα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας σε μηλικό οξύ, ΔΣΣ και σκληρότητα σάρκας (υποβάθμιση ποιότητας καρπού).

Πίνακας 1. Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ απόδοσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών για την ποικιλία Red Chief.

	Παραγωγικότητα	Μηλικό οξύ	pH χυμού	Διαλυτά στερεά	Σκληρότητα σάρκας	Hue	Chroma	L*	Βάρος καρπού	Απόδοση δένδρου
Παραγωγικότητα	1									
Μηλικό οξύ	-0,47*	1								
pH χυμού	0,00	-0,22	1							
Διαλυτά στερεά	-0,44*	0,08	0,26	1						
Σκληρότητα σάρκας	-0,48*	0,29	0,01	0,24	1					
Hue	-0,08	0,10	-0,37*	-0,12	0,01	1				
Chroma	0,10	0,11	-0,35	-0,26	-0,20	0,71*	1			
L*	-0,10	0,19	-0,43*	-0,13	-0,08	0,91*	0,74*	1		
Βάρος καρπού	0,23	-0,22	0,05	-0,04	-0,78*	-0,01	0,14	0,05	1	
Απόδοση δένδρου	0,24	-0,04	-0,30	-0,44*	-0,16	0,23	0,20	0,12	0,13	1

* Στατιστικώς σημαντικές διαφορές για p=0,05

Στην ποικ. Fuji (Πίνακας 2), φαίνεται ότι όσο πιο υψηλά είναι τα ΔΣΣ χυμού, τόσο πιο υψηλό είναι το μηλικό οξύ και χαμηλό το pH. Αυτό δείχνει την άριστη ποιότητα αυτής της ποικιλίας.

Πίνακας 2. Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ απόδοσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών για την ποικιλία Fuji

	Παραγωγι-κότητα	Μηλικό οξύ	pH χυμού	Διαλυτά στερεά	Σκληρότητα σάρκας	Βάρος καρπού	Απόδοση δένδρου
Παραγωγικότητα	1						
Μηλικό οξύ	-0,18	1					
pH χυμού	-0,19	-0,32	1				
Διαλυτά στερεά	-0,18	0,61*	-0,55*	1			
Σκληρόττητα σάρκας	0,26	0,29	-0,37	0,43	1		
Βάρος καρπού	0,23	-0,16	0,16	-0,07	0,09	1	
Απόδοση δένδρου	0,38	-0,26	0,13	-0,49*	-0,25	-0,03	1

* Στατιστικώς σημαντικές διαφορές για p=0,05

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Ο αγρός έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα στην απόδοση και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και στις δύο ποικιλίες.
2. Η ποικιλία Fuji είχε μεγαλύτερη απόδοση ανά δένδρο και είχε καλύτερη ποιότητα καρπών από την ποικιλία Red Chief.
3. Η απόδοση είχε αρνητική συσχέτιση με μερικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και στις δύο ποικιλίες.
4. Πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση και άλλων παραγόντων στην απόδοση και την ποιότητα όπως είναι το έδαφος έτσι ώστε να δοθεί η δυνατότητα υποβοήθησης του παραγωγού για σωστότερη διαχείριση του αγρού.

5. 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. Markinos A., Gemtos T. A., Toulios L.,. Pateras D and Zerva G. (2002). Yield mapping cotton in Greece. 1st HAICTA Conference Proceedings, p 56-62, Athens .
3. Griffin, T. W., J. Lowenbeerg-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.
4. Godwin, R. J., Wood, G. A., Taylor, J. C., Knight, S. M and Welsh, J. P. (2003). Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to develop Management Guidelines. Biosystems Engineering, 84(4), 375-391.
5. Roel, A. and Plant R. E. (2004). Factors Underlying Yield Variability in Two California Rice Fields. Agronomy Journal, 96, 1481-1494.
6. Caspar, T. C., Colvin, T. S., Jaynes, D. B., Karlen, D. L., James, D. E., Meek, D. W., Pulido D. and Butler H. (2003). Relationship Between Six Years of Corn Yields and Terrain Attributes. Precision Agriculture, 4, 87-101.

7. Hofman A. R., Penigrahi, S., Gregor, B. and Walker J. (1995). In field Monitoring Sugar Beets. ASAE paper, 95-2114, ASAE, St Joseph Michigan.
8. Dobermann A. and Ping J. L. (2004). Geostatistical Integration of Yield Monitor Data Remote Sensing Improves Yield Maps. Agronomy Journal, 96, 285-297.
9. 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.
10. Jurado-Exposito, M., Lopez-Granados, F., Garcia-Torres, L., Garcia- Ferrer, A., Sandez de la Orden, M., Atenciano, S. (2003). Multi-species weed spatial variability and site specific management maps in cultivated sunflower. Weed Science., 51, 319-328.
11. Velidis, G., Perry, C. D., Durrence, J. S., Thomas, D. L., Hill, R. W., Kwien, C. K., Rains, G. (2001). Field testing the peanut yield monitoring. In: Robert, P.C., Rust, R. H., Larson, W. E (Eds). Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, USA, pp. 835-844.
12. Pelletier G., Upadyaya S. K. (1999). Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Elecronics in Agriculture, 23, 103-107.
13. Campbell R. H., S. L. Rawlings, S. Han (1994). Monitoring methods for potato yield mapping. ASAE paper 94-1584, ASAE, St Joseph Michigan.
14. Qiao J., Sasao A., Shibusawa S., Kondo N., Morimoto E. (2005). Mapping Yield and Quality using the Mobile Fruit Grading Robot. Biosystems Engineering, 90(2), 135-142.
15. Schueller, J. K., Whitney, J. D., Wheaton, T. A., Miller, W. M., Turner, A.E. (1999). Low-cost automatic yield mapping in hand harvested citrus. Computers and Electronics in Agriculture, 23, 145-153.
16. Stoorvogel, J. J., Orlich, R. A. (2000) An integrated system for precision agriculture in banana. Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, USA. Proceedings in CD_182.pdf
17. Pozdnyakova, L., Gimenez, D., Oudemans P. V. (2005). Spatial analysis of cranberry yield at three scales. Agronomy Journal, 97, 49-57.
18. 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.
19. Cortell, J. M., Bracham J., Connelly A., Gallagher, A. V., Halbleib, J. N., Pinkerton, J. N., Righetti, T. L., Schreiner, R. P., Watson, B. T., Kennedy, J.A. (2004). Spatial variability of grape phenolics: using precision viticulture tools to optimise wine phenolic composition. American Journal of Enology and Viticulture 55(3), 297A. Abstracts: papers presented at the ASEV Eastern Section Technical Program, 14-16 July 2004, Roanoke, Virginia.
20. Γέμτος Θ. Α., Σ. Φουντάς, Α. Μαρκινός, S. Blackmore (2003). Γεωργία Ακριβείας. Προοπτικές Εφαρμογής στην Ελλάδα και στη Νότια Ευρώπη. Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη 29-31 Μαΐου 2003, σελ. 230-237.
21. Gemtos T. A., A. Markinos, L. Toulios, D. Pateras and G. Zerva. (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.

ΑΚΡΙΒΗΣ ΚΑΙ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΟΥ KALMAN

Ι.Γ. Αμπατζίδης[1], Σ.Γ. Βουγιούκας[1] και B.S. Blackmore[2]
[1] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη, Email: iampatzi@agro.auth.gr
[2] The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL), Denmark, Departemt of AgroTechnology. Email: Simon.Blackmore@kvl.dk

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την πλοήγηση (ημι)-αυτόνομων οχημάτων στις σύγχρονες εφαρμογές γεωργίας ακριβείας απαιτείται ιδιαίτερα ακριβής και αδιάλειπτος προσδιορισμός της γεωγραφικής θέσης των εμπλεκόμενων οχημάτων. Στην εργασία αυτή περιγράφεται η σχεδίαση και υλοποίηση ενός διακριτού γραμμικού φίλτρου Kalman, το οποίο συνδυάζει δεδομένα (data fusion) από διαφορετικούς αισθητήρες ώστε να υπολογίσει μία βέλτιστη εκτίμηση θέσης και προσανατολισμού. Το φίλτρο εφαρμόστηκε σε ένα ερευνητικό αυτόνομο όχημα (iRobot), και τα αρχικά πειράματα έδειξαν ότι βελτιώθηκε η ακρίβεια και η αξιοπιστία του προσδιορισμού της θέσης του οχήματος.

Λέξεις κλειδιά: Προσδιορισμός θέσης οχήματος, φίλτρο Kalman , γεωργία ακριβείας

PRECISE AND UNFAILING POSITIONING OF AUTONOMOUS AGRICULTURAL VEHICLES USING KALMAN FILTERING

I.G. Ampatzidis[1], S.G. Vougioukas[1] and B.S. Blackmore[2]
[1] Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agricultural Engineering, 54124 Thessaloniki, Box 275. Email: iampatzi@agro.auth.gr
[2] The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL), Denmark, Departemt of AgroTechnology. Email: Simon.Blackmore@kvl.dk

ABSTRACT

The navigation of (semi) autonomous vehicles in modern precision farming applications requires very accurate and unfailing estimation of vehicle positioning. In this paper a linear discrete Kalman filter is developed, which combines measurements from different sensors, in order to get an optimal estimate - in a statistical sense – of a vehicle's position and orientation. The filter was applied to a research autonomous vehicle (iRobot), and early experiments showed that it increased the precision and reliability of its positioning.

Keywords: Vehicle Positioning, Kalman Filtering, Precision Farming

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία του διαφορικού GPS (DGPS) και του κινηματικού GPS (RTK-GPS) καθιστούν εφικτό τον σχεδόν συνεχή (> 10 Hz) προσδιορισμό της θέσης με ακρίβεια λίγων εκατοστών. Αρκετά συχνά όμως το σήμα θέσης που λαμβάνει ο δέκτης GPS που βρίσκεται επάνω στο όχημα υποβαθμίζεται σε ακρίβεια ή εξαφανίζεται εντελώς για σύντομα χρονικά διαστήματα λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών, υψηλής βλάστησης, παρεμβολών, τεχνικών προβλημάτων κ.λ.π. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτούνται επιπλέον μηχανισμοί υπολογισμού της θέσης του οχήματος. Για παράδειγμα, αισθητήρες επιτάχυνσης ή ταχύτητας μπορούν μέσω κατάλληλων υπολογισμών να δώσουν για σύντομα χρονικά διαστήματα μια αρκετά ακριβή εκτίμηση της τρέχουσας θέσης του οχήματος. Βέβαια, και αυτοί οι αισθητήρες εμπεριέχουν θόρυβο στις μετρήσεις τους και μπορεί να δυσλειτουργήσουν. Επιπλέον, επειδή ο δέκτης GPS είναι συνήθως τοποθετημένος σε κάποιο σημείο αρκετά πιο ψηλά από το σημείο αναφοράς του οχήματος (π.χ. κέντρο βάρους) για τον υπολογισμό της θέσης είναι απαραίτητη η μέτρηση της κλίσης του ελκυστήρα σε τρεις διαστάσεις (roll, pitch, yaw) με κατάλληλους αισθητήρες. Επομένως, ο συνδυασμός (data fusion) και η επεξεργασία δεδομένων από διαφορετικούς αισθητήρες, είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό της ακριβούς γεωγραφικής θέσης και του προσανατολισμού του οχήματος.

Η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον συνδυασμό αισθητήρων στις εφαρμογές των αυτόνομων οχημάτων είναι το φίλτρο Kalman. Αυτό το φίλτρο δύναται να συνδυάζει σε πραγματικό χρόνο τις μετρήσεις από διαφορετικούς αισθητήρες και σε συνδυασμό με ένα μοντέλο κίνησης του οχήματος να υπολογίζει μια βέλτιστη εκτίμηση (ελάχιστου τετραγωνικού σφάλματος) γεωγραφικής θέσης και προσανατολισμού. Το φίλτρο έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας για βελτίωση προσδιορισμού θέσης [1], [2], [3].

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής ενός διακριτού γραμμικού φίλτρου Kalman σε ένα ερευνητικό αυτόνομο όχημα, γνωστό ως iRobot (ATRV-Jr), που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο AgroTechnology του βασιλικού κτηνιατρικού και γεωπονικού πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης (KVL), στη Δανία.

2. ΤΟ ΔΙΑΚΡΙΤΟ ΦΙΛΤΡΟ KALMAN

Το 1960, ο R. E. Kalman δημοσίευσε τη διάσημη εργασία του που περιέγραφε μια περιοδικά επαναλαμβανόμενη λύση στο γραμμικό πρόβλημα φιλτραρίσματος με διακριτά δεδομένα [4]. Έκτοτε, λόγω κυρίως των εξελίξεων στους ψηφιακούς υπολογισμούς, το φίλτρο Kalman έχει γίνει αντικείμενο εκτεταμένων ερευνών και εφαρμογών, ιδίως στον τομέα της αυτόνομης ή βοηθούμενης πλοήγησης. Μια πολύ «φιλική» εισαγωγή στις γενικές έννοιες του φίλτρου Kalman βρίσκεται στο Κεφάλαιο 1 της [5], με μια πληρέστερη εισαγωγική εξέταση στην αναφορά [6], η οποία επίσης περιέχει κάποια ενδιαφέρουσα ιστορική αφήγηση. Πιο εκτεταμένες αναφορές είναι μεταξύ άλλων οι ([7], [8], [9], [10]).

Το φίλτρο Kalman παρέχει την αποδεδειγμένα καταλληλότερη μέθοδο (με την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων) για τη συγχώνευση των δεδομένων, αν η διαδικασία μέτρησης ικανοποιεί κάποιες ιδιότητες, όπως το μηδενικό μέσο σφάλμα. Ειδικότερα, σε εφαρμογές οχημάτων, το φίλτρο Kalman χρησιμοποιείται για τη διατήρηση μιας συνεχούς εκτίμησης της θέσης και του προσανατολισμού ενός οχήματος. Το φίλτρο Kalman επιτρέπει το συνδυασμό μιας υφιστάμενης συνεχούς εκτίμησης της θέσης του ρομπότ με πληροφορίες θέσης που προέρχονται από έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό του φιλτραρίσματος Kalman είναι το γεγονός ότι επιτρέπει

και απαιτεί όχι μόνο τη συνεχή εκτίμηση μιας ποικιλίας παραμέτρων, αλλά και την εμπιστοσύνη σε αυτές τις εκτιμήσεις με τη μορφή ενός πίνακα συνδιασποράς. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, το φίλτρο Kalman επιτυγχάνει αυτή την ενημέρωση με τον καταλληλότερο τρόπο, έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί το αναμενόμενο σφάλμα στην εκτίμηση. Οι υποθέσεις που γίνονται από το φίλτρο είναι ότι το μοντέλο πρέπει να είναι γραμμικό και ότι ο θόρυβος πρέπει να έχει μηδενικό μέσο όρο.

Δυστυχώς, σπάνια ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις σε οποιαδήποτε πρακτική εφαρμογή. Αν δεν ισχύουν οι υποθέσεις, το φίλτρο μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί, αλλά οι διαβεβαιώσεις της βέλτιστης κατάστασης δεν ισχύουν. Αν οι υποθέσεις παραβιάζονται με αρκετά σοβαρό τρόπο, τότε το φίλτρο μπορεί, πράγματι, να οδηγήσει σε πολύ ανεπαρκή αποτελέσματα.

2.1 Διακριτό μοντέλο

Το φίλτρο Kalman αντιμετωπίζει το γενικότερο πρόβλημα της εκτίμησης του διανύσματος κατάστασης x μιας ελεγχόμενης διαδικασίας σε διακριτό χρόνο, από το διάνυσμα μετρήσεων z. Υποθέτουμε ότι η διαδικασία διέπεται από τις γραμμικές στοχαστικές διαφορικές εξισώσεις [11]:

$$\overline{X}_{k+1} = \Phi_k \cdot \overline{X}_k + \Gamma_k \cdot \overline{W}_k$$

$$\overline{Z}_k = \mathrm{H}_k \cdot \overline{X}_k + \overline{V}_k$$

όπου τα ονόματα και τα μεγέθη των ανυσμάτων και των πινάκων είναι τα εξής:

$\overline{\mathrm{X}}_{\mathbf{k}}$ είναι το άνυσμα κατάστασης του συστήματος (n×1) τη χρονική στιγμή t_k

Φ_k είναι ο πίνακας (n×n) μετάβασης που συνδέει το $\overline{\mathrm{X}}_k$ με το $\overline{\mathrm{X}}_{k+1}$ κατά την απουσία μιας λειτουργικής συνάρτησης

Γ_k είναι ο πίνακας (n×n) κατανομής θορύβου της διαδικασίας, ο οποίος μετατρέπει το άνυσμα $\overline{\mathrm{W}}_k$ στις συντεταγμένες του $\overline{\mathrm{X}}_k$

$\overline{\mathrm{W}}_{\mathbf{k}}$ είναι μια ακολουθία λευκής διαταραχής (n×1) ή ακολουθία θορύβου της διαδικασίας με γνωστή δομή συνδιασποράς

$\overline{\mathrm{Z}}_k$ είναι μια μέτρηση (m×1) σε χρόνο t_k

H_k είναι ένας πίνακας (m×n) μέτρησης ή παρατήρησης που συνδέει το $\overline{\mathrm{X}}_k$ με το $\overline{\mathrm{Z}}_k$ κατά την απουσία θορύβου μέτρησης

Το μοντέλο του συστήματος είναι βασικά μια γραμμική διαφορική εξίσωση. Ένα τέτοιο μοντέλο θεωρεί ότι η διαδικασία είναι το αποτέλεσμα της διέλευσης θορύβου μικτής συχνότητας μέσω ενός συστήματος με γραμμική δυναμική. Οι πίνακες συνδιασποράς για τις λευκές ακολουθίες είναι:

$$E(\overline{w}_k \cdot \overline{w}_i^T) = \delta_{ik} \cdot Q_k \quad E(\overline{w}_k \cdot \overline{w}_i^T) = \delta_{ik} \cdot Q_k \quad E(\overline{w}_k \cdot \overline{w}_i^T) = 0, \forall (i,k)$$

όπου δ_{ik} είναι το δέλτα του Kronecker, Q η συνδιασπορά διαταραχής που αντιπροσωπεύει το κινηματικό λάθος, δηλαδή την αβεβαιότητα στη πρόβλεψη της κίνηση και R η συνδιασπορά ακολουθίας που αντιπροσωπεύει το λάθος των αισθητήρων (θόρυβος στις μετρήσεις των αισθητήρων).

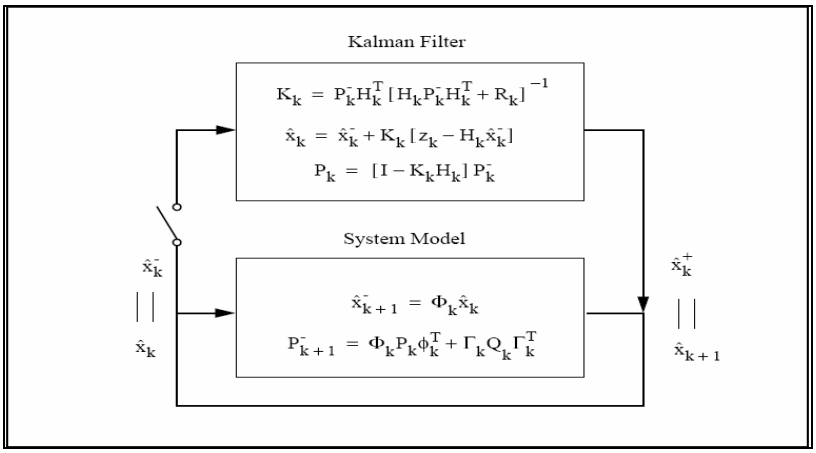
Έτσι, για ένα όχημα το διάνυσμα $\overline{X}$ μπορεί να περιέχει τις γεωγραφικές συντεταγμένες (x, y, z), στις οποίες βρίσκεται το όχημα, τη γραμμική (V) και γωνιακή

(β) ταχύτητα του οχήματος καθώς και τις γωνίες που περιγράφουν τη θέση του οχήματος ως προς το επίπεδο (roll, pitch, yaw). Επίσης, το διάνυσμα $\overline{Z}$ σχηματίζεται από τις μετρήσεις των αισθητήρων, που μπορεί να είναι: ένα GPS, που μας δίνει τις γεωγραφικές συντεταγμένες και ίσως την ταχύτητα του οχήματος, μία πυξίδα, κάποια κλισίμετρα και αισθητήρες μέτρησης ταχυτήτων και επιταχύνσεων (π.χ IMU).

2.2 Εξισώσεις Διακριτού Φίλτρου

Το φίλτρο Kalman υπολογίζει την κατάσταση και τη συνδιασπορά της την επόμενη χρονική στιγμή t_{k+1}, με δεδομένη μια αρχική εκτίμηση της κατάστασης. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η εκτίμηση της κατάστασης πριν την ενσωμάτωση οποιωνδήποτε νέων μετρήσεων σημειώνεται με $\overline{X}^-$, όπου το καπελάκι συμβολίζει μια εκτίμηση και το μείον στον εκθέτη συμβολίζει την εκτίμηση πριν την ενσωμάτωση των μετρήσεων (με μια επανάληψη των εξισώσεων του φίλτρου).

Οι εξισώσεις του φίλτρου Kalman επαναλαμβάνονται κυκλικά και συνέχεια, και κάθε φορά που υπάρχει μια διαθέσιμη μέτρηση, ο διακόπτης κλείνει *μετά την πρόβλεψη της κατάστασης για αυτόν τον κύκλο* από το μοντέλο του συστήματος, και εκτελείται το φίλτρο αυτό καθαυτό. Οι δύο τελευταίες εξισώσεις αποτελούν την πρόβλεψη για την νέα κατάσταση του οχήματος (π.χ. τη νέα θέση του οχήματος). Η πρώτη ανανεώνει τον πίνακα κέρδους Kalman, ο οποίος δίνει το «βάρος» που δίνουμε είτε στη πρόβλεψη του φίλτρου $H_k \cdot \overline{x_k}^-$,είτε στις νέες μετρήσεις των αισθητήρων Z_k. Η δεύτερη και η τρίτη εξίσωση ανανεώνουν το διάνυσμα $\overline{X}$ και την αβεβαιότητα P αντίστοιχα, βάση το κέρδος Kalman. Ο κύκλος συνεχίζεται και οι δύο πίνακες $\overline{X}$ και P χρησιμοποιούνται, σαν προηγούμενες γνώσεις, για τη νέα πρόβλεψη στις δύο τελευταίες εξισώσεις.



Η απόδειξη ότι οι εξισώσεις αυτές συνιστούν ένα βέλτιστο παρέχεται στην αναφορά [3]. Στην ψηφιακή υλοποίησή τους, *οι εξισώσεις δεν υπολογίζονται όλες ταυτόχρονα*. Οι δύο τελευταίες πραγματοποιούνται σε υψηλή συχνότητα και οι τρεις πρώτες πραγματοποιούνται όταν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις. Για τις τρεις πρώτες, η διαδικασία αρχίζει με την εισαγωγή της προηγούμενης εκτίμησης $\overline{X}$ και της συνδιασποράς της P^-. Για κάθε κύκλο του μοντέλου του συστήματος, ο πίνακας μετάβασης της κατάστασης Φ_k, και η συνδιασπορά διαταραχής Q_k πρέπει να είναι

δεδομένοι. Για κάθε κύκλο των εξισώσεων του φίλτρου Kalman, ο πίνακας μέτρησης H_k και η συνδιασπορά ακολουθίας R_k πρέπει να είναι δεδομένα εκ των προτέρων ή να υπολογίζονται με βάση τις μετρήσεις και τις επιμέρους προηγούμενες γνώσεις.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το παραπάνω φίλτρο αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στο αυτοκινούμενο όχημα *ATRV-Jr* (σχήμα 1). Με το όχημα αυτό έγιναν διάφορα πειράματα ώστε να αξιολογηθεί η ακρίβεια του φίλτρου και να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις με τις μετρήσεις των επιμέρους αισθητήρων, σε πραγματικό χρόνο.

Το όχημα *ATRV-Jr* έχει κίνηση και στους τέσσερις τροχούς, διαφορική οδήγηση, πνευματικές Knobby ρόδες των 30 cm και ανθεκτικό στον καιρό κάλυμμα. Το ρομπότ περιέχει μία πληθώρα αισθητήρων όπως υπερηχητικούς, laser κ.λ.π. Εντούτοις, για τους σκοπούς αυτής της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν μόνον οι αισθητήρες που δίνουν έμμεση ή άμεση εκτίμηση θέσης και προσανατολισμού. Αυτοί είναι: το πλήρες αδρανειακό σύστημα ναυσιπλοΐας IMU, το οποίο είναι ένας συνδυασμός επιταχυνσιόμετρων και γυροσκοπίων που δίνει εκτίμηση των γωνιών roll-pitch-yaw καθώς και κάποιων επιταχύνσεων του οχήματος, η ψηφιακή πυξίδα, το RTK-GPS, και το οδόμετρο ή ταχύμετρο (μέτρηση της ταχύτητας) .

Σχήμα 1: Το ATRV-Jr^{TM} αυτόματο ρομπότ

Το ATRV είναι ευκίνητο και έχει χαμηλό κέντρο βάρους, κατάλληλο για εργασίες τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

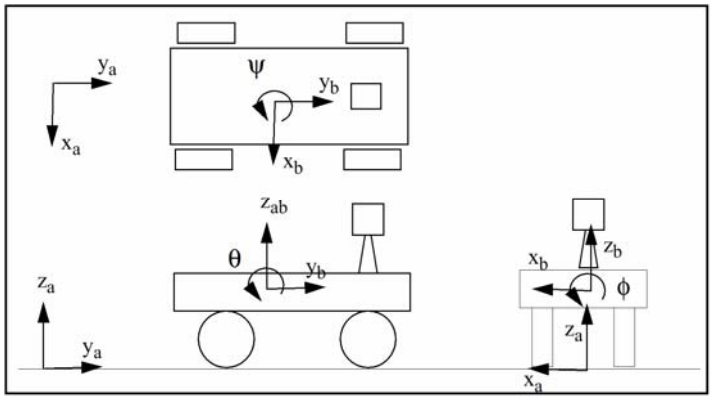
Ένα φορητός Η/Υ με λειτουργικό σύστημα Linux χρησιμοποιείται ως βάση για την ανάπτυξη του απαραίτητου λογισμικού για την εκτέλεση διάφορων εργασιών. Μία σύνδεση ασύρματου Ethernet βοηθάει στην επικοινωνία με άλλα κομπιούτερ.

Οι κύριες προδιαγραφές του ATRV συνοψίζονται παρακάτω ως εξής:

Πίνακας 1: Προδιαγραφές του αυτόνομου ATRV-Jr

ATVR-Jr Αυτοκινούμενο Ρομπότ	
Σόναρ	17(5 με θετικό προσανατολισμό, 10 με πλευρικό και δύο με αρνητικό προσανατολισμό)
CPU's	Pentium based ATX computer system
Σύστημα Επικοινωνίας	Ασύρματο Ethernet
Κινητήρας	2 υψηλής ροπής, 24V DC σερβοκινητήρες
Οδήγηση	4 τροχοί με διαφορική οδήγηση
Μήκος / Διάμετρος Τροχών	58 cm / 30 cm
Ακτίνα Στροφής	Μηδέν (Στροφή με γλίστρημα των τροχών)
Γραμμική Ταχύτητα	1 m/sec
Γωνιακή Ταχύτητα	120°/sec
Βάρος , Ωφέλιμο Φορτίο	50 kg , 100 kg
Ύψος χ Μήκος χ Πλάτος	55 χ 77.5 χ 62.2 cm

Σε αυτή την εφαρμογή θεωρείται ότι ο ευαίσθητος άξονας του επιταχυνσιόμετρων και γυροσκοπίων συμπίπτει με το σώμα του άξονα. Το σχήμα 2 παρουσιάζει το σύστημα συντεταγμένων του σώματος του iRobot *και τις γωνίες roll φ, pitch θ, yaw ψ.*



Σχήμα 2: Οι *γωνίες roll φ, pitch θ, yaw ψ*

Επίσης, για τον υπολογισμό του διαγώνιου πίνακα Q (συνδιασπορά διαταραχής), ο οποίος αντιπροσωπεύει την αβεβαιότητα στη πρόβλεψη της κίνησης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που περιγράφεται στην αναφορά [6].

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί, ότι το λογισμικό που χρησιμοποιείται στο iRobot είναι το αντικειμενοστραφές λογισμικό "Mobility" και ότι η υλοποίηση του φίλτρου Kalman έγινε σε γλώσσα προγραμματισμού C++.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την υλοποίηση του διακριτού φίλτρου Kalman στο ATVR-Jr δεν χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι διαθέσιμοι αισθητήρες του ρομπότ, αλλά το πλήρες αδρανειακό σύστημα ναυσιπλοΐας (IMU), η πυξίδα, το RTK-GPS και το οδόμετρο ή

ταχύμετρο. Έτσι, από το GPS χρησιμοποιήθηκαν οι απόλυτες συντεταγμένες *x, y, z* και το *DOP* (το οποίο δίνει την ποιότητα του σήματος των δορυφόρων ανάλογα με την μεταξύ τους γωνία, μικρή γωνία μεγάλο λάθος και αντίστροφα), από το IMU οι γωνίες *roll, pitch, yaw* (*φ, θ* και *ψ* αντίστοιχα), καθώς και *η γωνιακή ταχύτητα β*, από την πυξίδα η γωνία *yaw* (*ψ*) και τέλος από τον οδόμετρο *η γραμμική V και η γωνιακή ταχύτητα β*.

Γνωρίζουμε ότι στις μετρήσεις κάθε αισθητήρα υπεισέρχεται θόρυβος. Ο θόρυβος αυτός υπολογίστηκε, πειραματικά και σχηματίστηκε ο διαγώνιος πίνακας R, βάση των τετραγώνων της τυπικής απόκλισης κάθε αισθητήρα. Έτσι, για το GPS υπολογίστηκε τυπική απόκλιση ίση με 0.02*DOP, για την πυξίδα και το IMU ίση με 0.04 (m) και για το οδόμετρο ίση με 0.05 (m).

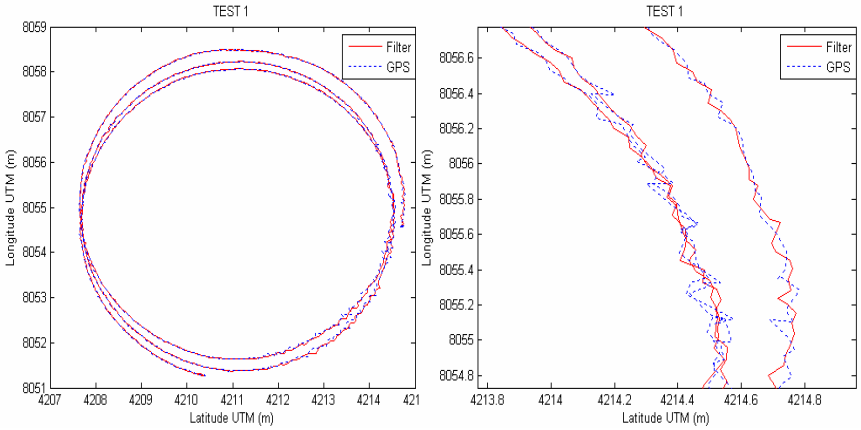
Βάση αυτών των αισθητήρων, εφαρμόστηκε το φίλτρο Kalman στο iRobot και δοκιμάστηκε η συμπεριφορά του, ώστε να γίνει σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων των μεμονωμένων αισθητήρων (π.χ. των συντεταγμένων x, y, z από το GPS) και των αντίστοιχων τιμών του φίλτρου στον ίδιο χρόνο.

Παρακάτω παρουσιάζονται τρία αντιπροσωπευτικά πειράματα, στα οποία δόθηκε στο ρομπότ μία σταθερή γραμμική και γωνιακή ταχύτητα (V=0.6 m/sec και β=0.2 m/sec αντιστοίχως), ώστε να διαγράφει σταθερούς κύκλους διαμέτρου 3 m. Στην πράξη οι κύκλοι δεν ήταν απολύτως σταθεροί, λόγω της ολίσθησης των τροχών, επειδή τα πειράματα έγιναν σε ανώμαλο έδαφος. Τέλος, καταγράφηκαν οι τιμές των αισθητήρων και του φίλτρου. Σε κάποια σημεία της πορείας του οχήματος υπήρχαν διάφορα εμπόδια (όπως δέντρα, κτήρια κ.τ.λ.) όπου το σήμα από τους δορυφόρους (GPS) δεν ήταν τόσο ακριβές όσο στα άλλα σημεία, όπου η ακρίβεια του σήματος ήταν πολύ μεγάλη (περίπου 2 cm).

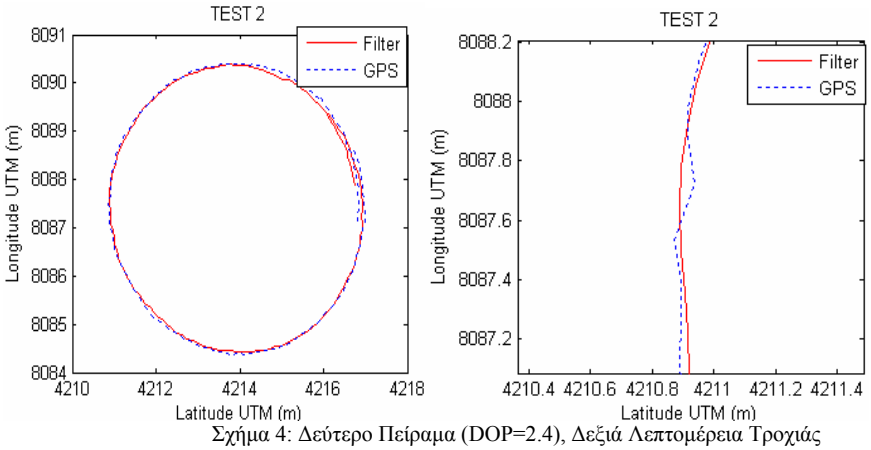
Στα τρία αυτά πειράματα, οι τιμές του DOP (κριτήριο ποιότητας σήματος του GPS) δεν παρέμεναν σταθερές, αλλά μεταβάλλονταν ως εξής :

- Στο πρώτο πείραμα 2.6<DOP<6.6
- Στο δεύτερο μεταξύ DOP=2.4
- Στο τρίτο μεταξύ 10.0<DOP<10.3

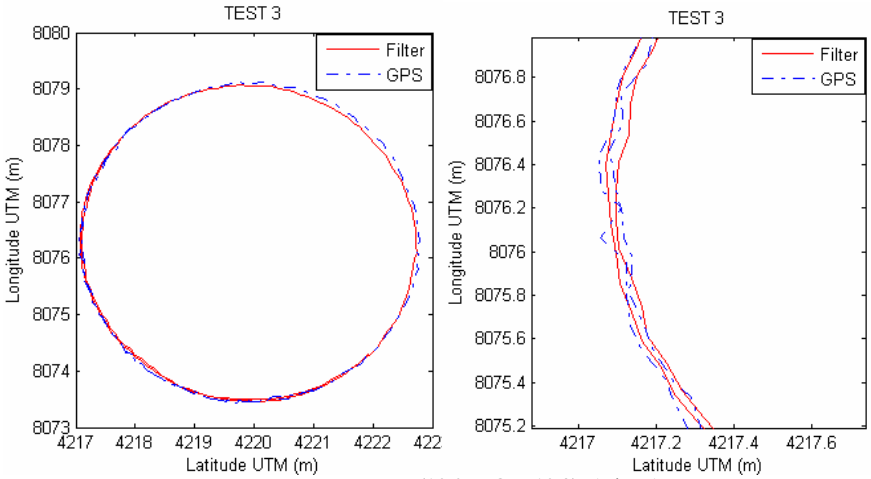
Στα σχήματα 3-5 σχεδιάστηκαν οι συντεταγμένες του ρομπότ (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), μέσω του υπολογιστικού πακέτου Matlab. Με στικτή μπλε γραμμή είναι οι τιμές από το GPS και με συνεχή κόκκινη οι τιμές από το φίλτρο Kalman. Επίσης, δίνονται και μεγεθύνσεις σε διάφορα σημεία των γραφημάτων για την ευκολότερη ανάλυση και κατανόησή τους.



Σχήμα 3: Πρώτο Πείραμα (2.6<DOP<6.6), Δεξιά Λεπτομέρεια Τροχιάς



Σχήμα 4: Δεύτερο Πείραμα (DOP=2.4), Δεξιά Λεπτομέρεια Τροχιάς



Σχήμα 5: Τρίτο Πείραμα (10.0<DOP<10.3), Δεξιά Λεπτομέρεια Τροχιάς

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω σχήματα συμπεραίνεται ότι το φίλτρο Kalman έδωσε σαφώς καλύτερα αποτελέσματα και υπολόγισε με μεγαλύτερη ακρίβεια την θέση του οχήματος, ιδιαίτερα όταν το όχημα βρισκόταν κοντά σε υψηλή βλάστηση, κτήρια ή όταν ο δέκτης του GPS είχε παρεμβολές (λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών, τεχνικών προβλημάτων κ.λ.π.). Στις τελευταίες περιπτώσεις μάλιστα, οι μετρήσεις του GPS ήταν πολύ διαφορετικές από τις πραγματικές.

Επίσης, συγκρίνοντας τα γραφήματα παρατηρείται ότι η χρησιμοποίηση του DOP, ως κριτήριο της ποιότητας του σήματος του GPS, δεν είναι απολύτως ασφαλής αφού ενώ στα τρία παραπάνω πειράματα είχαμε μεγάλη διακύμανση της τιμής του DOP (από 2.6 έως 10.3) δεν παρατηρήθηκε ανάλογη διαφοροποίηση της ακρίβειας (ποιότητας) του σήματος του GPS.

Έτσι, είναι φανερό ότι στις εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας καθώς και για την πλοήγηση των αυτόνομων οχημάτων δεν επαρκεί η χρησιμοποίηση ενός μόνο αισθητήρα, όπως το GPS έστω και εάν είναι μεγάλης ακρίβειας (π.χ. 2 cm), διότι πολλές φορές το σήμα υποβαθμίζεται σε ακρίβεια ή εξαφανίζεται εντελώς για σύντομα χρονικά διαστήματα. Οπότε, απαιτείται η χρησιμοποίηση και άλλων αισθητήρων για τον ακριβέστερο έλεγχο της θέσης του οχήματος. Για παράδειγμα, ένα ραντάρ Doppler, για τον υπολογισμό της πραγματικής ταχύτητας του οχήματος, ή ένα ταχύμετρο καθώς και ένα σύστημα μέτρησης των κλίσεων του οχήματος (όπως το IMU, η πυξίδα ή κλισίμετρα), μπορούν να επιτύχουν το σκοπό αυτό, με σχετικά χαμηλό κόστος.

Βέβαια για την σωστή εφαρμογή του φίλτρου, ο υπολογισμός των δύο πινάκων, συνδιασπορά διαταραχής Q (κινηματικό λάθος - αβεβαιότητα στη κίνηση) και συνδιασπορά ακολουθίας R (λάθος των αισθητήρων - θόρυβος των αισθητήρων) πρέπει να είναι ακριβής. Αυτό είναι αρκετά δύσκολο και απαιτεί προσοχή στον καθορισμό των σωστών τιμών. Πολλές φορές μάλιστα ο πίνακας Q μπορεί να εξαρτάται από τις συνθήκες του εδάφους, στο οποίο κινείται το όχημα (άσφαλτος ή ανώμαλο έδαφος). Ένα μικρό λάθος στον υπολογισμό αυτών των πινάκων μπορεί να οδηγήσει σε πολύ ανεπαρκή αποτελέσματα.

Τέλος, πρόβλημα μπορεί να δημιουργηθεί όταν υπεισέρχεται μεγάλος θόρυβος σε έναν αισθητήρα ή όταν παύει να λειτουργεί για ορισμένο χρονικό διάστημα. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να μην χρησιμοποιείται από το φίλτρο καθόλου ο αισθητήρας αυτός και να τρέχουν οι εξισώσεις με βάση τους άλλους αισθητήρες ή μόνο με βάση την πρόβλεψη που δίνει το φίλτρο.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hague T., Marchant J. A., Tillett N. D. *Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles*, Computers and Electronics in Agriculture v.25 (2000), pp. 11–28
2. Han, S., Zhang, Q., Noh, H., 2002. *Kalman filtering of DGPS position for a parallel tracking application*. Transaction of ASAE 45 (3), 553–559.
3. Noguchi, N., J.F. Reid, E.Benson, J. Will, amd T. Stombaugh. 1998a. *Vehicle automation system based on multisensor integration*. ASAE Paper 83111. St. Joseph, MI.
4. Kalman R. E., 1960. A *New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*, Trans. ASME J. of Basic Engineering, 35-45.
5. Maybeck P. S., 1979. *Stochastic Models, Estimation, and Control*. Vol. 1, Academic Press, Inc.
6. Sorenson H. W., 1970. *Least-Squares Estimation: from Gauss to Kalman*. IEEE Spectrum, vol. 7, pp. 63-68.
7. Welch G. and Bishop G., 1995. *An Introduction to the Kalman Filter*. Technical Report, University of North Carolina at Chapel Hill.
8. Grewal M. S. and Andrews A. P., 1993. *Kalman Filtering Theory and Practice*. Upper Saddle River, NJ USA, Prentice Hall.
9. Lewis R., 1886. Optimal *Estimation with an Introduction to Stochastic Control Theory*. John Wiley & Sons, Inc.
10. Brown R. G. and Hwang P. Y. C., 1992. *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
11. Kelly A. J., 1994. *A 3D State Formulation of a Navigation Kalman Filter for Autonomous Vehicles*. CMU Robotics Institute Technical Report CMU-RI-TR-94-19.

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ

Καραρίζος Πλούταρχος*, Καραγιάννης Ευάγγελος*, Δρόσος Βασίλειος, Γιαννούλας Βασίλειος***

*Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, ΤΚ 541 24, Θεσσαλονίκη

** Δ.Π.Θ.-Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανταζίδου 193, 68200 Ορεστιάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την εκτέλεση των απαιτούμενων έργων διάνοιξης του δάσους πρέπει να διατίθενται τα κατάλληλα μηχανήματα, το απαραίτητο δυναμικό και τα απαιτούμενα υλικά και μέσα. Η επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας των παραπάνω στοιχείων απαιτεί την συνεχή παραγωγική απασχόληση του δυναμικού και των μηχανημάτων με ορθολογικό προγραμματισμό, οργάνωση και διαχείριση όλων των εργασιών.

Στην εργασία αυτή εφαρμόζεται η τεχνική προγραμματισμού των διαγραμμάτων Gantt καθώς και η Δικτυωτή Ανάλυση για τον ετήσιο προγραμματισμό των έργων διάνοιξης, σ' ένα τυπικό ορεινό δάσος της χώρας μας.

Λέξεις κλειδιά: οργάνωση, διαχείριση, μηχανήματα, προγραμματισμός.

ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF MACHINES IN FOREST OPENING-UP WORKS

P. Kararizos*, E. Karayannis*, V. Drosos, V. Giannoulas***

* School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, 541 24

** School of Forestry and Management of Environment and Natural Resources, Democritus University of Thrace, Orestiada 68200

ABSTRACT

For carrying out the required forest opening-up works there should be made available the appropriate machines, the required working force and the required materials and means. For achieving high productivity of the above means it is required the continuous productive employment of the working force and the machines with a rational programming, organization and management of all works.

In this paper is applied the technique of programming the diagrams Gantt and the Network Analysis for the annual programming of opening-up works in a typical mountain forest of our country.

Keywords: Organization, management, machines, programming

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οργάνωση και διαχείριση των Κατασκευών, αντίθετα προς την παλιά συμβατική θεώρηση ποιοτικού κυρίως περιεχομένου, διαμορφώνεται σήμερα ως ένα ταχύτατα εξελισσόμενο λειτουργικό σύστημα, το οποίο με ποσοτικά, και επομένως αντικειμενικά κριτήρια, δίνει τις βάσεις για τη βέλτιστη επιτυχία των στόχων του έργου, οι οποίοι είναι: Να τελειώσει το έργο στο προγραμματισμένο κόστος, χρόνο και ποιότητα. Η αναμόρφωση αυτή της έννοιας και του περιεχομένου της Διαχείρισης των Κατασκευών στα πλαίσια της Διαχείρισης του Έργου είναι μια αναγκαία προσαρμογή στις νέες απαιτήσεις της παραγωγής και στη βελτίωση της τεχνολογίας των κατασκευών στα τεχνικά έργα.

Η οργάνωση των μηχανημάτων αναφέρεται στην επιτυχία των μεθόδων οργάνωσης τόσο στη φάση του σχεδιασμού, όσο και κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου και είναι συνάρτηση μια συνεχούς κίνησης εντολών και αναφορών μεταξύ των τμημάτων του κατασκευαστικού φορέα. Οι εντολές και αναφορές ονομάζονται πληροφορίες και το σύστημα διακίνησής τους πληροφορική. Σε σύνθετες διαδικασίες οι πληροφορίες για την επεξεργασία αποφάσεων αξιοποιούνται καλύτερα (ταχύτερα) με την εφαρμογή κατάλληλου προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σε περίπτωση αποκλίσεων από τις αρχικές τιμές προγραμματισμού, οι πληροφορίες ελέγχου μετά από κατάλληλη επεξεργασία από την ομάδα σχεδιασμού κα με την υποστήριξη ηλεκτρονικού υπολογιστή δίνουν τις βέλτιστες λύσεις για τη διόρθωση της πορείας του έργου.

Η διαχείριση των μηχανημάτων ορίζεται ως η ορθολογική εκλογή και χρησιμοποίηση τους για την επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας, ποιότητας και άριστου χρόνου κατασκευής [8].

Ουσιαστικά η οργάνωση και η διαχείριση των μηχανημάτων είναι ο ορθολογικός προγραμματισμός των εργασιών με κατάλληλες μεθόδους και μηχανήματα έτσι ώστε να μη υπάρχουν περίοδοι ακινησίας τους ή υποαπασχόλησής τους λόγω ελλείψεως εργασίας ή κακής χρονικής και τοπικής κατανομής τους στα διάφορα έργα. Αυτή η τεχνική του προγραμματισμού μπορεί να εφαρμοστεί στις εργασίες διάνοιξης του δάσους με το διάγραμμα του Gantt καθώς και με τη δικτυωτή ανάλυση.

Το διάγραμμα Gantt αναπτύχθηκε κατά την εποχή του Α' παγκόσμιου Πολέμου από το μηχανικό Henry L. Gantt, του οποίου φέρει και το όνομα και εφαρμόστηκε από τότε ευρέως για τον προγραμματισμό κάθε παραγωγικής δραστηριότητας.

Η ιστορία της δικτυωτής ανάλυσης αρχίζει από τα έτη 1957/58 και εξελίχθηκε με τη μορφή των δύο κλασικών μεθόδων CPM (Critical Path method) και PERT (Programm Evaluation and Review Technique), οι οποίες αναπτύχθηκαν στην Αμερική. Το ίδιο έτος αναπτύχθηκε στη Γαλλία η μέθοδος MPM (Metra Potential Methode). Αργότερα αναπτύχθηκαν και άλλες πολλές, ο αριθμός των οποίων ξεπερνάει τις 50 και οι οποίες είναι απλές παραλλαγές των παραπάνω μεθόδων.

Η δικτυωτή ανάλυση θεωρείται εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε δραστηριότητα του ανθρώπου.

Η εφαρμογή της μεθόδου σε επιχειρήσεις κατασκευών στις Η.Π.Α., όπως αναφέρει ο Ταμπακάκης [1970], επέτρεψε την ελάττωση του χρόνου κατά μέσο σε ποσοστό πάνω από 20% και του κόστους σε ποσοστό πάνω από 15%, ανάλογα με την περίπτωση.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτουν οι παρακάτω περιπτώσεις εφαρμογής της δικτυωτής ανάλυσης στη δασοπονία:

Η πρώτη ένδειξη για τη χρήση της δικτυωτής ανάλυσης στη Δασοπονία έγινε από τον G. Kaminski (1966) δίνοντας ένα παράδειγμα εφαρμογής της στην κατασκευή μιας πρόχειρης περίφραξης από ξύλινους πασσάλους και συρματόπλεγμα.

Ο E. Klein (1971) τη χρησιμοποιεί για την κατασκευή ενός δασικού δρόμου.

Ο B. Bitting (1971) αναφέρει, ότι πρακτικά όλα τα σχέδια που αφορούν την κατασκευή εθνικών δρόμων στην Ελβετία εκτελούνται με τη βοήθεια της δικτυωτής ανάλυσης και προτείνει την εφαρμογή της και στην κατασκευή των δασικών δρόμων
Ο H. J. Weimann (1974) χρησιμοποιεί τη δικτυωτή ανάλυση για τη σύνταξη του διαχειριστικού σχεδίου μιας δασικής περιοχής.
Ο N. Stamou (1974), στη διδακτορική του διατριβή χρησιμοποιεί τη δικτυωτή ανάλυση ως βοηθητικό μέσο για τον ετήσιο σχεδιασμό των εργασιών στη δασική εκμετάλλευση.
Ο Ε. Καραγιάννης (1990) στη διδακτορική του διατριβή χρησιμοποιεί τη μέθοδο της δικτυωτής ανάλυσης σε συνδυασμό με την οικονομικοτεχνική μετατόπιση του ξύλου στη διάνοιξη του δάσους.
Ο W. Linder (1971) αναφέρει, ότι η εφαρμογή της δικτυωτής ανάλυσης στη δασική επιχείρηση επιτρέπει να αναμένονται πλεονεκτήματα μόνο για βραχυχρόνια σχέδια, ενώ δεν είναι κατάλληλη για εργασίες, οι οποίες αφορούν τη Δασοκομία, τη συγκομιδή του ξύλου, τη δασική Οδοποιία, την προστασία των δασών, τη δασική διαχειριστική, την οικονομική των δασικών επιχειρήσεων, το εμπόριο δασικών προϊόντων και οι οποίες μπορούν να σχεδιασθούν με τη βοήθεια της δικτυωτής ανάλυσης.
Στην εργασία αυτή εφαρμόζεται η τεχνική προγραμματισμού των διαγραμμάτων Gantt καθώς και η δικτυωτή ανάλυση για τον προγραμματισμό των έργων κατασκευής του δασικού δρόμου που ξεκινά από τη θέση Ταξιάρχης και καταλήγει στη θέση Άγιος Γεώργιος στο παν/κό δάσος Ταξιάρχη Χαλκιδικής.

ΙΙ. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Στην εργασία αυτή έχει επιλεγεί ως περιοχή έρευνας το παν/κό δάσος Ταξιάρχη Χαλκιδικής και συγκεκριμένα ο δασικός δρόμος «Ταξιάρχης – Άγιος Γεώργιος», όπου προγραμματίστηκαν έργα βελτίωσης.
Με βάση το ετήσιο πρόγραμμα συντήρησης – βελτίωσης των δρόμων στο παν/κό δάσος Ταξιάρχη, που σκοπό έχει να εξασφαλίσει τη λειτουργικότητά τους ο συγκεκριμένος προς βελτίωση δρόμος συνολικού μήκους 4210 μ έπρεπε να έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

1. Μέσο πάχος συμπιεσμένης υπόβασης σε 8 μ. πλάτος: 0,15 μ.
2. Μέσο πάχος συμπιεσμένης βάσης σε 8 μ. πλάτος : 0,15 μ

Οι εργασίες βελτίωσης του δρόμου αφορούν τη μεταφορά και διάστρωση υλικού 5.800 τόνων για την υπόβαση και 16.100 τόνων για τη βάση. Η παραλαβή του υλικού θα γίνει από δύο θέσεις Α1 και Α2. Το έργο αρχίζει με τη μεταφορά στο εργοτάξιο ενός ερπυστριοφόρου προωθητή D8G ισχύος 320 PS με διάταξη αναμόχλευσης για τη χαλάρωση του εδάφους και ωθητικό κοπτήρα μορφής C, ενός Grader “G 716 VHP” της Volvo, ενός εκσκαφέα ανεστραμμένου πτύου τύπου LIEBHER A308 καθώς και τριών φορτηγών οχημάτων (το ένα με υδροφόρα). Η μεταφορά των μηχανημάτων (προωθητή D8G και εκσκαφέα) γίνεται με δύο μεταφορικές μονάδες και η δραστηριότητα της μεταφοράς έχει τον κωδικό αριθμό 101. Ακολουθεί η μεταφορά του Grader με τα μεταφορικά μέσα της προηγούμενης δραστηριότητας, κωδικός 102. Με την άφιξη των μηχανημάτων αρχίζουν οι εργασίες του προωθητή D8G (διαπλατύνσεις κ.λ.π.), δραστηριότητα 201 και συγχρόνως η εργασία του εκσκαφέα (διαμόρφωση πρανών και τάφρων), δραστηριότητα 202. Όταν τελειώσουν οι δραστηριότητες αυτές αρχίζουν οι εργασίες της διάστρωσης του υλικού βάσης, δραστηριότητα 301 και υπόβασης, δραστηριότητα 302.
Με βάση την τεχνική περιγραφή των εργασιών βελτίωσης του δρόμου «Ταξιάρχης – Άγιος Γεώργιος» συντάχθηκαν:

- ο πίνακας με τα χρονικά στοιχεία και τις αλληλουχίες των δραστηριοτήτων (ο πίνακας αυτός έχει σχέση με παλαιότερες παρατηρήσεις και στοιχεία που πάρθηκαν στην περιοχή που εργάστηκαν μηχανήματα)
- σχεδιάστηκε, σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα δραστηριοτήτων, το δικτυωτό γράφημα
- συντάχτηκε ο πίνακας χρονικών στοιχείων δραστηριοτήτων
- σχεδιάστηκε το ευθύγραμμο πρόγραμμα των κατασκευών.

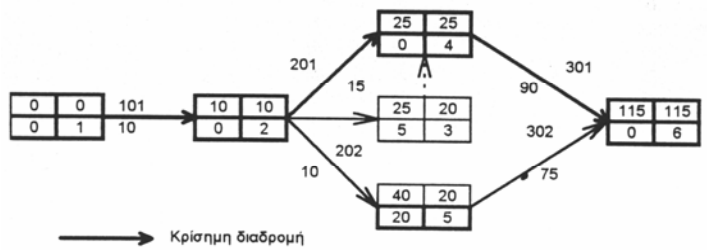
ΙΙΙ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την καταγραφή και την επεξεργασία όλων των στοιχείων προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες και τα σχήματα

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.Χρονικά στοιχεία και αλληλουχίες των δραστηριοτήτων

Κωδικός αριθμός δραστηρ.	Περιγραφή δραστηριότητας	Διάρκεια ώρες	Αλληλουχία προηγείται των
101	Μεταφορά προωθητή D8G και του εκσκαφέα	10	201,102,202
201	Διαπλάτυνση με D8G	15	301
102	Μεταφορά Grader	10	301
202	Διαμόρφωση πρανών και τάφρων	10	302
301	Διάστρωση υπόβασης 5800 τόνων	90	Τελική
302	Διάστρωση βάσης 1610 τόνων	70	Τελική

Σύμφωνα με στοιχεία του πίνακα 1 σχεδιάστηκαν το δικτυωτό γράφημα (σχ. 1).
Το δικτυωτό διάγραμμα σχεδιάστηκε σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 1 των δραστηριοτήτων. ο κωδικός αριθμός ή ο ονομασία της δραστηριότητας γράφτηκε πάνω και η διάρκεια κάτω από το βέλος. Στον κόμβο του γεγονότος έναρξης του έργου (κόμβος 1) γράφεται FZ = 0. Η δραστηριότητα 101, η οποία αρχίζει στο χρόνο 0, τελειώνει μετά 10 ώρες στο γεγονός 2. Ο χρόνος FZ στο γεγονός 2 είναι FZ = 0+10 = 10. Ο χρόνος αυτός, ο οποίος αναγράφεται στο άνω δεξιό τμήμα του κόμβου 2 είναι ο ενωρίτερος δυνατός χρόνος περάτωσης της δραστηριότητας 101 ή έναρξης των δραστηριοτήτων, οι οποίες έχουν αρχή το γεγονός 2. Στο γεγονός 2 αρχίζουν οι δραστηριότητες 201, 102 και 202. Στο πεδίο FZ του γεγονότος 5 αναγράφεται αμέσως ο χρόνος FZ = 10 + 10 = 20, εφόσον στο γεγονός αυτό καταλήγει μόνο μία δραστηριότητα. Επειδή στο γεγονός 4 καταλήγουν περισσότερες από μία δραστηριότητες, λαμβάνεται ως χρόνος FZ του γεγονότος ο μεγαλύτερος. Η περίπτωση αυτή εμφανίστηκε στο γεγονός 4. Από τη διαδρομή 2-4 προκύπτει χρόνος 10+15=25 και από τη διαδρομή 2-3-4 (δραστηριότητα 3-4 πλασματική με μηδενική διάρκεια) προκύπτει χρόνος 10+10=20. Επομένως στο πεδίο του γεγονότος 4 γράφτηκε ο μεγαλύτερος χρόνος FZ = 25.
Η ίδια τεχνική εφαρμόστηκε και για τον κόμβο 6 πέρατος του έργου. Από τη διαδρομή 4-6 προκύπτει 25+90= 115 και από τη διαδρομή 5-6 κατά την ίδια μέθοδο 20+75=95. Στο πεδίο 6 αναγράφεται επομένως ο χρόνος 115, ο οποίος είναι ο ενωρίτερος δυνατός χρόνος περατώσεως του έργου και συγχρόνως ο βραδύτερος επιτρεπόμενος.
Η πλασματική δραστηριότητα μεταξύ των κόμβων 3 και 4 σημαίνει, ότι δεν είναι δυνατόν να αρχίσει η δραστηριότητα 301 (διάστρωσης 5800 τόνων της υπόβασης) αν δεν ολοκληρωθεί η δραστηριότητα 102 του Grader.



Σχήμα 1. Δικτυωτό γράφημα των δραστηριοτήτων

Από τα αποτελέσματα της επίλυσης του δικτυωτού γραφήματος των δραστηριοτήτων του σχήματος 1προέκυψε ο πίνακας 2 με τα χρονικά στοιχεία των δραστηριοτήτων. Ο πίνακας 2 περιέχει τα παρακάτω χρονικά στοιχεία, τα οποία θεωρούνται απαραίτητα για την εκτέλεση των εργασιών της βελτίωσης του συγκεκριμένου δρόμου:

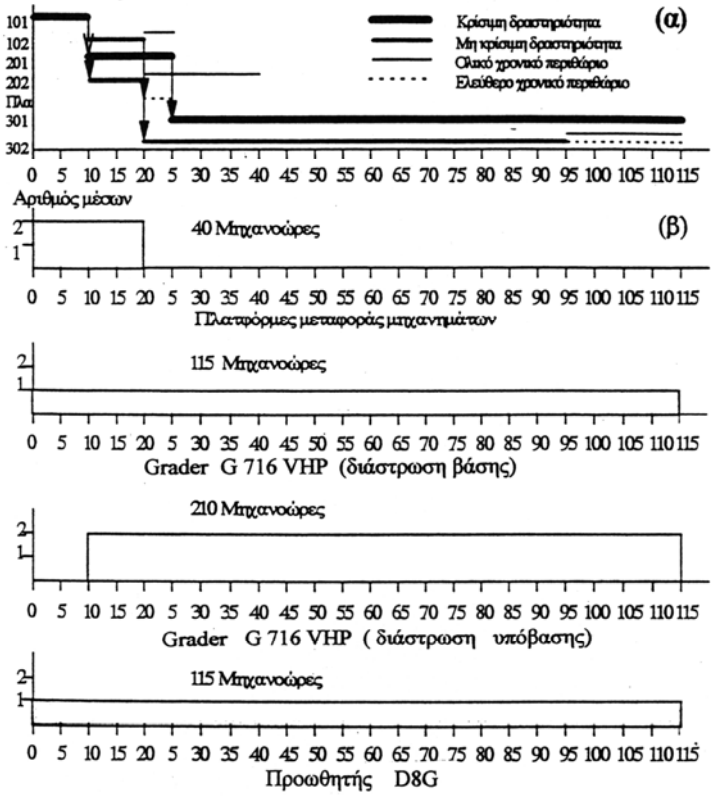
Αύξων αριθμός δραστηριότητας	
Κωδικός ή περιγραφή δραστηριότητας	
Διάρκεια	Tij
Ενωρίτερος χρόνος έναρξης	FZi
Ενωρίτερος χρόνος πέρατος	FZi + Tij
Βραδύτερος χρόνος έναρξης	SZj – Ti
Βραδύτερος χρόνος πέρατος	Szj
Ολικό χρονικό περιθώριο	Rt
Ελεύθερο χρονικό περιθώριο	Rf
Αλληλουχία κόμβων	i-j

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Χρονικά στοιχεία δραστηριοτήτων

α/α	Δραστηριότητα	Διάρκεια ώρες	Ενωρίτ. χρόνος αρχής	Ενωρίτ. χρόνος πέρατος	Βραδύτ. χρόνος αρχής	Βραδύτ. χρόνος πέρατος	Ολικό περιθ. Rt	Ελεύθ. περιθ. Rf
1	101. Μετ. D8G και του εκσκαφέα	10	0	10	0	10	0	0
2	102. Μετ. με Grader	10	10	20	15	25	5	0
3	201. Διαπλάτυνση με D8G	15	10	25	10	25	0	0
4	202. Διαμόρφωση πρανών	10	10	20	30	40	20	0
5	Πλασματική	0	20	20	25	25	5	5
6	301. Διάσ-τρωση 5800 τόνων	90	25	115	25	115	0	0
7	302. Διάστρωση 16100 τόνων	75	20	95	40	115	20	20
	Κρίσιμη δραστηριότητα							

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 2 σχεδιάστηκε το ευθύγραμμο πρόγραμμα κατασκευών (σχ. 2). Το πρόγραμμα δείχνει με κατακόρυφα βέλη και αριθμούς των γεγονότων την αλληλουχία των δραστηριοτήτων, την κρίσιμη διαδρομή και τα χρονικά περιθώρια, έτσι ώστε να είναι άμεση η εποπτεία προόδου του έργου. Κάτω από το πρόγραμμα κατασκευών σχεδιάστηκε το πρόγραμμα κατανομής των μέσων παραγωγής, για την ενωρίτερη και για την

βραδύτερη έναρξη των δραστηριοτήτων. Ο συνδυασμός των δύο αυτών διαγραμμάτων δίνει, με την εφαρμογή του κατάλληλου αλγορίθμου, ο οποίος αξιοποιεί τα χρονικά περιθώρια των δραστηριοτήτων, τη βέλτιστη διάθεση των μέσων παραγωγής. Για κάθε μέσο παραγωγής σχεδιάστηκε χωριστό διάγραμμα κατανομής, όπου οι μηχανοώρες είναι το εμβαδόν του κάθε ορθογωνίου.



Σχήμα. 2. (α) Ευθύγραμμο πρόγραμμα κατασκευών
(β) Ιστογράμματα κατανομής των μέσων παραγωγής.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτουν τα παρακάτω:
Η οργάνωση και η διαχείριση των μηχανημάτων στις εργασίες διάνοιξης του δάσους, λόγω των σημαντικών κεφαλαίων που επενδύονται αλλά και εξαιτίας του περιορισμένου χρόνου εκτέλεσης των εργασιών, δεν μπορεί να βασίζεται στην εμπειρικότητα και τους αυτοσχεδιασμούς του εκάστοτε υπεύθυνου, αλλά να στηρίζεται σε επιστημονικές και δοκιμασμένες μεθόδους.

Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η μέθοδος της δικτυωτής ανάλυσης, η εφαρμογή της οποίας βοήθησε σημαντικά στην εκτέλεση των εργασιών βελτίωσης του δρόμου «Ταξιάρχη – Άγιος Γεώργιος» στο παν/κό δάσος Ταξιάρχη Χαλκιδικής.

Η εφαρμογή της μεθόδου σε επιχειρήσεις κατασκευών στις ΗΠΑ επέτρεψε την ελάττωση του χρόνου κατά μέσο όρο σε ποσοστό πάνω από 20% και του κόστους σε ποσοστά πάνω από 15% ανάλογα με την περίπτωση (Ταμπακάκης, 1970).

Από την εφαρμογή της μεθόδους της δικτυωτής ανάλυσης κατά την οργάνωση και τη διαχείριση των μηχανημάτων σε εργασίες διάνοιξης του δάσους προκύπτουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- επιτυγχάνεται ουσιαστική εξοικονόμηση χρόνου και εξόδων με τη συνεχή απασχόληση των μηχανημάτων
- όλες τις εργασίες των έργων είναι γνωστές εκ των προτέρων στον υπεύθυνο του έργου και παριστάνονται με γραφική μορφή με όλες τις σχέσεις και αλληλεξαρτήσεις τους
- το δικτυωτό αποτελεί ένα αξιόλογο μέσο πληροφοριών για κάθε ενδιαφερόμενο. Ο υπολογισμός της διάρκειας των δραστηριοτήτων μπορεί να υποβοηθήσει στη σύνταξη παρόμοιων δικτυωτών
- επιτυγχάνεται η έγκαιρη και οικονομική προμήθεια των απαραίτητων και κατάλληλων μηχανημάτων
- είναι δυνατή η διάθεση των μηχανημάτων, όταν δεν εργάζονται (κενοί χρόνοι) σε γειτονικά δασικά συμπλέγματα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεράσματα προτείνονται τα παρακάτω:

1. Στην οργάνωση και το σχεδιασμό της χρησιμοποίησης των μηχανημάτων στις εργασίες διάνοιξης του δάσους θα πρέπει να εφαρμόζεται η μέθοδος της δικτυωτής ανάλυσης, λόγω της ευχρηστότητας, των σημαντικών πλεονεκτημάτων και της επιτυχημένης εφαρμογής της σε πολλούς άλλους τομείς
2. Η εισαγωγή της δικτυωτής ανάλυσης στη δασική επιχείρηση πρέπει να γίνει ύστερα από κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού στη συστάδα και στη χρήση των δικτυωτών σε ειδικά σεμινάρια
3. Μέσα στα γραφεία δασοτεχνικών έργων θα πρέπει να ιδρυθεί ένα ειδικό τμήμα, το οποίο θα ασχολείται, με συνεργασία με τους υπεύθυνους των δασικών συμπλεγμάτων, με τη συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών που αφορούν την οργάνωση και τη διαχείριση των μηχανημάτων. Το τμήμα αυτό έχοντας στη διάθεσή του όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και την ανάλογη εμπειρία θα οργανώνει και θα προγραμματίζει όλες τις εργασίες των μηχανημάτων με τη σύνταξη διαγραμμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bittig B.. 1971. Anwendung der Netzplantechnik im forstlichen Strassenbau. Büdnerwald, 24(5-6), S. 222-226, Chur.
2. Τσατσαρέλης, Κ..1995. Διαχείριση γεωργικών μηχανημάτων. Διδακτικό βιβλίο, Τμήμα Γεωπονίας, Θεσσαλονίκη.
3. Klein R.. 1971. Netzplantechnik als Hilfsmittel zur Lösung der Organisationsfragen in der Forstwirtschaft. Allgemeine Forstzeitschrift, 26(6), S. 106-112, München.
4. Kaminsky G. – Heigenhauser B.. 1970. Grundlagen der arbeitsorganisatorischen Fertigungssteurung und Fertigungs-überwachung in hohen Mechanisierungsstufen. Holz als Roh- und Werkstoff, 28(10), S. 397-402, München.
5. Καραγιάννης, Ε.Α.. 1990. Διάνοιξη δάσους με τη μέθοδο της Δικτυωτής Ανάλυσης σε συνδυασμό με την οικονομικοτεχνική μετατόπιση του ξύλου και άλλες δασοπονικές δραστηριότητες σε ορεινά δάση της Ελλάδος. Διδακτορική διατριβή. Επιστημονική

Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, παράρτημα αριθ. 5 του τόμου ΛΓ, σελ. 348, Θεσσαλονίκη.

6. Linder W.Q..1971. Bietet die Netzplantechnik Vorteile im Forstbetrieb ausser bei Grossinvestionen? Bündnerwald, 24(56), S. 215-221, Chur.
7. Stamou, N.I..1974. Die Netzplantechnik als Hilfsmittel der Jahresplanung im Forstbetrieb. Dissertation, Freibung.
8. Ταμπακάκης, Σ.. 1970. Χρονικό προγραμματισμός των κατασκευών. Μέθοδος Δικτυωτής Αναλύσεως «PERT-CPM». Έκδοσις Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας, Αθήναι.
9. Weinmann H.J.. 1974. Netzplantechniken in forstlicher Anwendung. Forstarchiv, 45 (5), S. 882-88, Hannover.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ - ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΔΡΟΜΩΝ

Β. Δρόσος*, Β. Γιαννούλας, Ε. Καραγιάννης** και Π. Καραρίζος****
* Δ.Π.Θ., Τμήμα Δ.&Δ.Π.&Φ.Π., Πανταζίδου 193 -682 00, Ν. Ορεστιάδα
**Α.Π.Θ., Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, 540 06 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι ακρίβειες των μετρητικών αποκλίσεων των μεθόδων μέτρησης των ιδιοκτησιών στις δασικές περιοχές, που έγιναν με παλαιότερες τοπογραφικές μεθόδους, οι οποίες δεν συμβιβάζονται με τις σύγχρονες ψηφιακές φωτογραμμετρικές και τοπογραφικές μεθόδους. Παρουσιάζεται επίσης η σύγκριση μεταξύ τους και η δυνατότητα εναρμόνισης των παλαιοτέρων με τις νεότερες μεθόδους χαρτογράφησης, γιατί η διαχείριση των πληροφοριών που έχουμε με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας συμβάλλει στη χάραξη καλύτερης πολιτικής αγροτικής και δασικής γης και στην οικολογική διαχείριση, ανάπτυξη και προστασία των αγρών και των δασών.

PROBLEMS OF SETTING THE BOUNDARIES OF RURAL PROPERTIES WITHIN FOREST AREAS

V. Drosos*, V. Giannoulas, E. Karagiannis** and P. Kararizos****
* Democritus University of Thrace, Department of Forestry & Management of the Environment & Natural Resources, 193 Pantazidou Str – 682 00 N. Orestiada, Greece
** Aristotle University of Thessaloniki, School of Forestry and Natural Environment, 540 06 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

In this paper I will present the accuracy of metric deviations of the properties measurement methods within forest areas. These methods have taken place without the use of out-dated topographical methods as these methods are not compatible with up-to-date digital photogrammetric and topographical methods. I will also discuss the comparison between the methods and the possibility of harmonizing the old methods of mapping along with the contemporary methods. I will do this in order to show that the management of the information we possess along with the aid of modern technology contributes to the planning of improved rural and forest land policy. I will also analyze how these methods contribute to ecological management, development and the protection of fields and forests.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η κατάρτιση του Εθνικού Κτηματολογίου συμβάλλει στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το Ν. 2664/1998, υποβάλλονται σχετικές δηλώσεις από τους ενδιαφερόμενους, στα αρμόδια όργανα του κτηματολογίου, με τη θέση, τα όρια και το εμβαδόν της ιδιοκτησίας τους.
Το κτηματολόγιο δίνει μία τριπλή απάντηση που αναφέρεται:
- Στην τεχνική περιγραφή του κτήματος, με την οποία καθορίζεται το είδος και οι διακρίσεις του (δάσος, αγρός, βοσκότοπος, οικόπεδο κ.ά.), το σχήμα του, η μορφή του, η έκτασή του και η θέση του στο χώρο ή πιο συγκεκριμένα η σύνδεσή του με το χαρτογραφικό ή το τριγωνομετρικό δίκτυο της χώρας.
- Στη νομική κατοχύρωσή του, με τη διερεύνηση της ιδιοκτησιακής κατάστασης του κτήματος, τόσο της σημερινής όσο και της προγενέστερης και τον καθορισμό της μορφής ιδιοκτησίας, η οποία παίρνει τη συγκεκριμένη της υπόσταση με την έκδοση ενός νομικά θεμελιωμένου τίτλου, σε συνδυασμό και με την προηγούμενη τεχνική περιγραφή.
- Στην οικονομική αξιολόγηση του κτήματος, που συνιστά το συμπλήρωμα των δύο προηγουμένων εννοιών. Στην οικονομική αξιολόγηση χρειάζονται οι ειδικές γνώσεις εκτιμητικής κάθε κλάδου για την κατάρτιση των ειδικών κτηματολογίων, όπως του αμπελουργικού, δασικού κ.ά.
Το τριαδικό αυτό σύστημα: τεχνική περιγραφή – νομική αποσαφήνιση τίτλων ιδιοκτησίας – εκτίμηση της έγγειας αξίας κάθε κτήματος, συνιστά μία πηγή λεπτομερειακών και αξιόπιστων πληροφοριών που αναφέρονται, αναλυτικά και συγκεντρωτικά, στη μορφή (δημόσιες, κοινοτικές, ιδιωτικές κ.ά.), στο είδος (δασικές, αγροτικές, λιβαδικές κ.ά.), στην έκταση και στο πλήθος των ιδιοκτητών κατά μορφή, είδος και έκταση.
Τα αναλυτικά στοιχεία φθάνουν μέχρι το σημείο της πλήρους εξατομίκευσης κάθε ιδιοκτησίας με τον προσδιορισμό της ταυτότητάς της και το χαρακτηρισμό της με ένα κωδικό αριθμό, που δηλώνει τη θέση του κτήματος στη χώρα.
Είναι γεγονός ότι το Εθνικό Κτηματολόγιο αποτελεί βασικό έργο υποδομής αμέσου προτεραιότητας που αφορά:
1. Στο σχεδιασμό της ανάπτυξης και τη διεκπεραίωση του έργου της δημόσιας διοίκησης.
2. Στην προστασία, αξιοποίηση και διαχείριση της δημόσιας και ιδιωτικής περιουσίας.
3. Στη δικαιότερη κατανομή των φορολογικών βαρών, μιας και το κτηματολόγιο ως θεσμός οφείλει σε αυτόν ακριβώς το λόγο, την αιτία της ύπαρξής του.
4. Στη χάραξη και εφαρμογή πολιτικής γης.
5. Στην προστασία των δασών και δασικών εκτάσεων.
Η εθνική σημασία του άλλωστε έχει κατοχυρωθεί και επισημανθεί από την ίδια την κοινωνία και ως επιστέγασμα όλων αυτών έρχεται η αναθεωρημένη διατύπωση του άρθρου 24 του Συντάγματος που προβλέπει ως υποχρέωση της Πολιτείας την ολοκλήρωση του Εθνικού Κτηματολογίου.
Στις δασικές περιοχές ο αποτερματισμός έγινε με παλαιότερες τοπογραφικές μεθόδους, δηλαδή πυξίδα και μετροταινία, οι οποίες δε συμβιβάζονται με τις σύγχρονες ψηφιακές φωτογραμμετρικές και τοπογραφικές μεθόδους, σύμφωνα με την απόφαση του Υπουργείου Γεωργίας 99580/506 από 1 Ιουλίου 1999.
Οι μετρήσεις με την πυξίδα μειονεκτούν γιατί αναφέρονται στο μαγνητικό βορρά (μεσημβρινό) σε αντίθεση με τους χάρτες που αναφέρονται στο βορρά (μεσημβρινό) του χάρτη [1]. Η διαφορά μεταξύ του μαγνητικού αζιμούθιου και της γωνίας διεύθυνσης ονομάζεται ολική μαγνητική απόκλιση της πυξίδας δ. Η τιμή της μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο, αλλά και στον ίδιο τόπο δε διατηρείται σταθερή αλλά μεταβάλλεται αργά από έτος σε έτος.

Με βάση την παραπάνω απόφαση παραδίνονται δασικοί χάρτες με τα πολύγωνα φυτοκάλυψης, ψηφιακοί κτηματικοί πίνακες κατά κατηγορία φυτοκάλυψης και Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (Ψ.Μ.Ε.), που θα αποτελέσουν το ψηφιακό κτηματικό αρχείο των κτηματικών γραφείων, που θα αντικαταστήσουν τα σημερινά υποθηκοφυλακεία. Η σύγχρονη τεχνολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.), η όλο και ευρύτερη χρήση των Ψ.Μ.Ε. και η ανάπτυξη καλύτερων γραφικών αποδόσεων έχουν δώσει νέες διαστάσεις, νέα μέσα και εργαλεία στους επιστήμονες που ασχολούνται με το τοπίο και το περιβάλλον [2]. Η διαχείριση των παραπάνω ψηφιοποιημένων πληροφοριών, με τη βοήθεια και της σύγχρονης τεχνολογίας, μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη οικολογική διαχείριση και προστασία των δασών και των γεωργικών εκτάσεων [3].

Η σύγχρονη τεχνολογία της πληροφορικής δίνει νέες δυνατότητες, γιατί συνδυάζει το γραφείο όπου επεξεργάζονται τα στοιχεία με τις υπαίθριες εργασίες, με τη βοήθεια ψηφιακών χαρτών και αμφίδρομης επικοινωνίας με υπολογιστές χειρός και Global Positioning System (G.P.S.) [4], [5].

Οι δέκτες του G.P.S. ποικίλουν με χαρακτηριστικές δυνατότητες και χρησιμότητα. Οι πιο ακριβοί G.P.S. δέκτες (για γεωδαιτικές εφαρμογές) κοστίζουν πάνω από 29.400 €, και για μετρήσεις ακρίβειας, όπως ήδη προαναφέρθηκε, απαιτούνται δύο τουλάχιστον δέκτες. Αυτές οι μονάδες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά λειτουργίας από τους δέκτες χειρός και μπορούν να προσδιορίζουν τις σχετικές θέσεις μεταξύ σημείων με υψηλές ακρίβειες, της τάξης των χιλιοστών ανά χιλιόμετρο (1 ppm).

Μια εναλλακτική λύση αποτελεί η χρήση ελαφρών φορητών δεκτών G.P.S. Σε αυτήν την περίπτωση, το κόστος και ο χρόνος αποτύπωσης ελαττώνονται σημαντικά. Οι παρατηρητές καλύπτουν γρήγορα την προς αποτύπωση περιοχή, μια που για κάθε σημείο το μόνο που χρειάζεται είναι η συλλογή G.P.S. παρατηρήσεων για μερικά λεπτά. Η θέση προσδιορίζεται αυτόματα με βάση τα σήματα που λαμβάνει ο δέκτης από τους πολλαπλούς G.P.S. δορυφόρους. Με τους σημερινούς ελαφρούς δέκτες χειρός, που κοστίζουν λιγότερο από 300 €, ακρίβειες μικρότερες της τάξης των 15 m είναι εφικτές ανά προσδιορισμό σημείου σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους, οι εφικτές σχετικές ακρίβειες είναι της τάξης των 3-5 m (επίσης σε πραγματικό χρόνο) και κάτω από 1 m αν γίνει χρήση του φέροντος κύματος των σημάτων του G.P.S. και μετεπεξεργασία των παρατηρήσεων φάσης. Οι ακρίβειες αυτές συνήθως καλύπτουν τις ανάγκες του 90% των εφαρμογών Ψ.Μ.Ε.

Η ευρεία χρήση του G.P.S. για πολιτικές εφαρμογές ελέγχεται με μια τεχνική γνωστή σαν Επιλεκτική Διαθεσιμότητα (Selective Availability), που αλλοιώνει εσκεμμένα τα εκπεμπόμενα σήματα των δορυφόρων του συστήματος G.P.S. Η κατάργησή της οδηγεί και με απλούς δέκτες σε ακρίβειες μέχρι 5 μέτρα στην οριζοντιογραφική και υψομετρική θέση χωρίς δηλαδή τη χρήση του σχετικού προσδιορισμού με δύο δέκτες.

Η ακρίβεια των G.P.S. σε δασικό περιβάλλον είναι ένα μειονέκτημα για πολλές εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια, ιδιαίτερα μέσα σε κλειστό από το φύλλωμα ουρανό. Μετά τη λήξη της επιλεκτικής διαθεσιμότητας βελτιώθηκε η ακρίβεια των μικρού κόστους G.P.S. [6], [7]. Τα μικρά είναι πιο εργονομικά στη δασική πράξη, συνδυάζονται και με πυξίδα και με αλτίμετρο και έτσι έχουν μια σίγουρη βασική ακρίβεια, όταν οι μετρήσεις γίνονται σε ανοικτό ουρανό και από εκεί οι διευθύνσεις μετρούνται με την πυξίδα σε σημεία κάτω από φύλλωμα [8], [9].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξελισσόμενη τεχνολογία του συνδυασμού κινητών τηλεφώνων και G.P.S., που μπορεί να λειτουργεί και μέσα σε κλειστό ουρανό, όπως τα κτίρια και οι πυκνές φυλλωσιές. Βέβαια η ακρίβειά τους είναι 15-20 μέτρα απαγορευτική προς το παρόν για όλες τις αγροτικές και δασικές εφαρμογές [10].

Ανάμεσα στις μεθόδους συλλογής και ανάλυσης δεδομένων και πληροφοριών υπεισέρχεται η σχετικά νέα τεχνολογία της τηλεπισκόπισης, που στηρίζεται στην ανάλυση και επεξεργασία δορυφορικών και επίγειων χωρικών δεδομένων, κυρίως με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και κατάλληλου λογισμικού. Οι εφαρμογές της τηλεπισκόπισης στη γεωργία

αναφέρονται στην αναγνώριση ασθενειών, στην παρακολούθηση των σταδίων ανάπτυξης καλλιεργειών, δημιουργία αρχείου φασματικών ταυτοτήτων, στην εκτίμηση ζημιών στις γεωργικές καλλιέργειες, στην καταγραφή πλημμύρων και στη χαρτογράφηση των γεωργικών εδαφών [11].

Τα Ψ.Μ.Ε. ως καθαρά ψηφιακά προϊόντα, αποτελούν τη βάση για πολλές περαιτέρω διαδικασίες χαρτογραφικού περιεχομένου και παραγωγή δευτερογενούς πληροφορίας. Τα σφάλματα, που συσσωρεύονται κατά την πορεία της δημιουργίας τους, μεταδίδονται επαυξανόμενα στα προϊόντα τους, ενώ συνήθως αυτό δεν γίνεται αντιληπτό στο τελικό αποτέλεσμα [12]. Γι' αυτό ο προσδιορισμός των αρχικών δεδομένων πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή.

Στη σύγχρονη εποχή η εισαγωγή της πληροφορικής και των ηλεκτρονικών συστημάτων, κάνει πιο επιτακτική την ανάγκη χρησιμοποίησης σύγχρονων μηχανημάτων που είναι σε θέση να παρακολουθήσουν τις απαιτήσεις και την πειθαρχία της ηλεκτρονικής οργάνωσης [13].

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανεύρεση της ακρίβειας των μετρητικών αποκλίσεων των μεθόδων, η σύγκριση μεταξύ τους και η δυνατότητα εναρμόνισης των παλαιοτέρων με τις νεότερες μεθόδους χαρτογράφησης, γιατί η διαχείριση των πληροφοριών που έχουμε με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας συμβάλλει στη χάραξη καλύτερης πολιτικής αγροτικής και δασικής γης και στην οικολογική διαχείριση, ανάπτυξη και προστασία των αγρών, των δασών και δασικών εκτάσεων εν γένει. Τελικά έγινε η επιλογή των κατάλληλων για την περιοχή μηχανημάτων διάνοιξης δρόμων, με βάση τις επικρατούσες εδαφικές και κλιματικές συνθήκες.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.1 Περιοχή έρευνας

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού έγινε τοπογραφική αποτύπωση και ψηφιακή φωτογραμμετρική απόδοση του συγκροτήματος αγροτικών ιδιοκτησιών της δασικής περιοχής «Δαμασκηνιάς Λιβάδι» του Π.Δ. Ταξιάρχη με γεωγραφικό πλάτος από 40° 41΄ μέχρι 40° 51΄ και γεωγραφικό μήκος από 23° 30΄ μέχρι 23° 20΄ σε σχέση με το μεσημβρινό του Greenwich. Αυτό έγινε γιατί η περιοχή αυτή εμφανίζει όλα τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού δάσους της χώρας μας αφού το 76,1% των δασών της χώρας μας παρουσιάζει τις ίδιες παραπάνω αναφερθέντες συνθήκες και θεωρείται ως η πιο αντιπροσωπευτική περιοχή για τα ελληνικά δεδομένα. Η περιοχή «Δαμασκηνιάς Λιβάδι» βρίσκεται δυτικά του Δασαρχείου.

Η περιοχή καλύπτεται σε ποσοστό 63,52% από Πλατύφυλλο Δρυ (*Quercus Conferta*) και άτομα Χνοώδους Δρυός (*Quercus Pubescens*), Μοϊσιακή Οξιά (*Fagus Moesiaca*) και Μαύρη Πεύκη (*Pinus Nigra*). Η περιοχή έχει υπερθαλάσσσιο ύψος που κυμαίνεται από 610 – 900 μέτρα. Οι κλίσεις δεν ξεπερνούν το 25% ενώ σε μία μικρή περιοχή κυμαίνεται στο 45%. Το pH του εδάφους κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5, έχει πηλώδη ή αμμοπηλώδη υφή και είναι μέτρια εφοδιασμένο με N και P [14]. Βασικό πέτρωμα είναι ο *μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος*.

2.2 Εκλογή οργάνων

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την οριοθέτηση των ιδιοκτησιών με την ηλεκτροπτική τοπογραφική μέθοδο, ήταν ο ηλεκτροπτικός θεοδόλιχος Wild T2 με επιβατικό (DISTOMAT Wild DI 1000) ένα σχετικά σύγχρονο όργανο αποτύπωσης, που χρησιμοποιείται σα γεωδαιτικός σταθμός.

Για την εφαρμογή της ψηφιακής μεθόδου ο σταθμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Imagestation^{TM} ZII της Intergraph.

Κατά την αποτύπωση της περιοχής με την ψηφιακή φωτογραμμετρική μέθοδο σαρώθηκαν τα διαδοχικά διαθετικά που περιέχουν την εν λόγω περιοχή και εισήχθηκαν ως ψηφιακές εικόνες στο ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό.

Η αποτύπωση της περιοχής έγινε και με τη βοήθεια GPS. Για την αποτύπωση χρησιμοποιήθηκε το eTrex Legend της GARMIN (Σχήμα 1). Η αποτύπωση (αποτερματισμός) των αγροτεμαχίων από το οικείο Δασαρχείο έγινε με πυξίδα τύπου Meridian.

Σχήμα 1. eTrex Legend της GARMIN.

2.3 Μέθοδος εργασίας

Για την εξακρίβωση των μετρητικών αποκλίσεων των μεθόδων έγινε σύγκριση του ψηφιακού διαγράμματος και των αντίστοιχων τοπογραφικών διαγραμμάτων, με την ηλεκτροπτική και δορυφορική μέθοδο, της δασικής περιοχής «Δαμασκηνιάς Λιβάδι» και του σχεδιαγράμματος των αγρών της συγκεκριμένης περιοχής με πυξίδα. Η σύγκριση των τριών διαγραμμάτων έγινε με τη βοήθεια των συντεταγμένων των κορυφών των αγρών (πολυγώνων).

Τα στοιχεία που προέκυψαν επεξεργάστηκαν υπό το πρίσμα της ισοβαρούς παρατήρησης. Για τον έλεγχο του σφάλματος των μετρήσεων ως «αληθείς τιμές» θεωρήθηκαν το διάγραμμα και οι συντεταγμένες που προέκυψαν από την ηλεκτροπτική τοπογραφική μέθοδο.

Το σφάλμα είναι κριτήριο εκτίμησης του βαθμού ακρίβειας μίας σειράς μετρήσεων, δηλαδή αν μία σειρά μετρήσεων είναι ακριβέστερη της άλλης. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν τα εξής κριτήρια:

α. Το κριτήριο του μέσου αριθμητικού σφάλματος μ_α:

Το πηλίκο του αθροίσματος των απόλυτων τιμών των αποκλίσεων των μετρήσεων με τον αριθμό των μετρήσεων, που δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_a = \pm \sum_{j=1}^{n} \left| v_j - vm_j \right| \Big/ n$$

όπου:

μ_α = μέσο αριθμητικό σφάλμα.

$\sum_{j=1}^{n} \left| v_j - vm_j \right|$ = το άθροισμα των απολύτων τιμών των αληθινών διαφορών (σφαλμάτων).

v_j = είναι μία από τις συντεταγμένες Ε και Ν του σημείου *j*.

vm_j = είναι η αληθής τιμή της v_j.

n = το πλήθος των παρατηρήσεων.

β. Το κριτήριο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος των μετρήσεων (μ_τ) που δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_\tau = \sqrt{\pm \sum_{j=1}^{n} \left(v_j - vm_j \right)^2 \Big/ n}$$

όπου:

μ_τ = μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

$(v_j - vm_j)^2 = (E_t - E_G)^2$ ή $(E_t - E_\Pi)^2$ ή $(E_t - E_\Psi)^2$
E_t = η αληθής συντεταγμένη από τον ηλεκτροπτικό θεοδόλιχο.
E_G = η συντεταγμένη που μετρήθηκε με G.P.S.
E_Π = η συντεταγμένη που μετρήθηκε με πυξίδα.
E_Ψ = η συντεταγμένη που μετρήθηκε με ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό.
n = ο αριθμός των μετρήσεων.
γ. Το κριτήριο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος του μέσου όρου (μ_M):
Τα προηγούμενα σφάλματα καθόριζαν το σφάλμα κάθε μίας μέτρησης της σειράς και όχι της πιθανής τιμής (μέσου όρου). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_M = \pm \mu_\tau / (n)^{0,5}$$

όπου:
μ_M = το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου.
μ_τ = μέσο τετραγωνικό σφάλμα.
n = ο αριθμός των μετρήσεων.
δηλαδή η αληθής τιμή X βρίσκεται μεταξύ των αριθμών $(L + \mu_M)$, $(L - \mu_M)$,
όπου:L = ο μέσος όρος της αληθής τιμής X.
Κατά την κατασκευή του δρόμου όπως άλλωστε σε κάθε δομικό έργο, διακρίνονται τρεις κύριες φάσεις εργασίας: η εκσκαφή (χαλάρωση – φόρτωση), η μεταφορά και η διάστρωση (απόθεση – συμπύκνωση). Και στις τρεις φάσεις εργασίας, η αναγκαιότητα της βελτίωσης της ποιότητας των έργων μαζί με τη μείωση του κόστους, επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση σύγχρονων μηχανημάτων, ικανών να ανταποκριθούν στις τεχνικοοικονομικές και οικολογικές απαιτήσεις της εποχής [15].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την έρευνα και μελέτη των στοιχείων κατά την απόδοση της περιοχής έρευνας, με ηλεκτροπτικό θεοδόλιχο, με πυξίδα, με G.P.S. και με ψηφιακό φωτογραμμετρικό σταθμό, προέκυψαν, με βάση τη θεωρία των σφαλμάτων, τα στοιχεία που περιέχονται στον πίνακα 1.
Το μέγεθος του δείγματος ανέρχεται στα 37 σημεία ενώ για 10 σημεία η μέτρησή τους έγινε κάτω από πυκνή συγκόμωση γι' αυτό είναι ανακριβής και εξαιρέθηκαν.

Πίνακας 1. Ακρίβεια έρευνας

Μέθοδος απόδοσης της περιοχής έρευνας	**Μέσο αριθμητικό σφάλμα μ_α m**			**Μέσο τετραγωνικό σφάλμα μ_τ m**			**Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου ορού μ_M m**		
	E	**N**	**H**	**E**	**N**	**H**	**E**	**N**	**H**
Πυξίδα	8,899	6,420	9,245	11,124	8,025	11,657	1,829	1,055	1,916
G.P.S.	2,917	5,063	6,286	3,805	7,860	8,734	0,626	1,292	1,436
Ψηφιακή	0,345	0,345	0,243	0,431	0,475	0.304	0,071	0,078	0,050

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα αποτελέσματα της έρευνας συμπεραίνεται ότι:
- Για το κτηματολόγιο σε δασικές εκτάσεις είναι καλό να χρησιμοποιούνται οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί για την επίτευξη των απαιτούμενων ακριβειών, για τη δημιουργία βάσης δεδομένων με σκοπό τη χρησιμοποίησή της μελλοντικά σε τράπεζα πληροφοριών γης, αλλά και λόγω χρονικής συντομίας.

- Καλό θα είναι να αποφεύγεται η χρήση των πυξίδων σε μεταλλεία, δίπλα από κατασκευές με οπλισμένο σκυρόδεμα, συρματοπλέγματα και οχήματα και επίσης τα ακόντια στήριξης απαγορεύεται να είναι μεταλλικά.
- Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται με το θεοδόλιχο ή γεωδαιτικό σταθμό είναι πολύ καλές και ασύγκριτα μεγαλύτερες από οποιοδήποτε άλλο όργανο.
- Η υψομέτρηση παρουσιάζει μεγάλη ανακρίβεια (8,734 μέτρα) λόγω και της θέσης του δέκτη (Υψομετρικού σημείου) σε σχέση με τους δορυφόρους που όπως είναι φυσικό βλέπουν από πάνω και όχι κάτω από το δέκτη. Η ακριβέστερη ανεύρεση των υψομέτρων μπορεί να γίνει αν η όλη εργασία συνδυασθεί με αλτίμετρο. Υπάρχουν ήδη στην αγορά G.P.S. με ενσωματωμένο αλτίμετρο (GARMIN Samit).
- Στις τρεις φάσεις εργασίας που αναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά μηχανήματα, όπως είναι μηχανήματα εκσκαφής και φόρτωσης, μεταφορικά μηχανήματα και μηχανήματα διάστρωσης.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα προτείνονται:

- Οι μετρήσεις με πυξίδα μετά από τη διόρθωση της μαγνητικής απόκλισης, μπορούν να αξιοποιηθούν στην κατάρτιση Κτηματολογίου (Δασικού ή αμπελουργικού) με έλεγχο πάντοτε των μετρήσεων από γνωστά τριγωνομετρικά ή πολυγωνικά σημεία.
- Όταν αποτυπώνουμε αγρούς, δάσος ή δασικές εκτάσεις σε μικρή κλίμακα, καλό θα ήταν να υπάρχει μία συνεργασία μεταξύ G.P.S. και γεωδαιτικού σταθμού ή ηλεκτρονικού θεοδόλιχου, με απώτερο σκοπό το καλύτερο οικονομικοτεχνικό αποτέλεσμα. Πρώτον έχουμε πιο σύντομη αποτύπωση της περιοχής γιατί υπάρχει αλληλοσυμπλήρωση και αλληλοβοήθεια μεταξύ των οργάνων άρα οικονομία χρόνου και εξόδων και δεύτερον μετά τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένταξη σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), ως ψηφιακό αρχείο.
- Με την κατάργηση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας υποβοηθείται η αύξηση της ακρίβειας των δεκτών χειρός σε λίγα μέτρα. Προτείνεται η ανάπτυξη και υλοποίηση μιας εφαρμογής των υπηρεσιών αξιοποίησης της γεωγραφικής θέσης, σε palmtop (Υπολογιστής παλάμης), η οποία θα επιτρέπει μέσω της χρήσης ενός G.P.S. χειρός, να είναι γνωστή ανά πάσα χρονική στιγμή, βγαίνοντας στο πεδίο, η ακριβής θέση της συσκευής και στη συνέχεια να τεθούν κάποια ερωτήματα, είτε για τις υπηρεσίες που αφορούν τη συγκεκριμένη περιοχή, είτε δίνοντας έναν τελικό προορισμό να επιτευχθεί η πλοήγηση της συσκευής ως εκεί.
- Είναι γνωστό ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής στο δάσος και σε δασικές εκτάσεις παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, ενώ συγχρόνως η ανάγκη εφαρμογής σε τέτοιες εκτενείς εκτάσεις είναι πολύ αναγκαία. Απαιτείται ένα λογισμικό για P/C παλάμης, έτσι ώστε να μετατραπεί σε ένα ευπροσάρμοστο εργαλείο συλλογής δεδομένων, που απλοποιεί την απόκτηση, την οργάνωση και την επέκταση των εφαρμογών των υπηρεσιών αξιοποίησης της γεωγραφικής (οριζοντιογραφικής και υψομετρικής) θέσης. Η ευκολία κινητικότητας, η φιλική προς το χρήστη λειτουργία, η δυνατότητα χειρισμού υψηλού όγκου πληροφοριών και η δυνατότητα αναθεώρησης και ενημέρωσης στοιχείων οπουδήποτε και οποτεδήποτε, είναι απαραίτητη αποτελούν τα μεγάλα πλεονεκτήματα του.
- Η ανάπτυξη του λογισμικού τους, με την παράλληλη δυνατότητα ένδειξης των συντεταγμένων κατευθείαν σε ΕΓΣΑ ’87, η αγορά τους σε προσιτές τιμές, θα επιφέρει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εφαρμογών τους από τους γεωτεχνικούς.
- Η συνεχώς βελτιούμενη ακρίβεια των μετρήσεων σε συνδυασμό με κατάλληλα συστήματα λογισμικού ανάλυσης των παρατηρήσεων και με δυνατότητα μέτρησης χωρίς αμοιβαία ορατότητα των σημείων, με οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες, ημέρα και νύχτα, αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για μια σειρά από γεωδυναμικές, γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές:

- Συμπλήρωση εργασιών οδεύσεων, ταχυμετρίας, πυξίδας σε δύσβατες περιοχές με φτωχό κρατικό δίκτυο σημείων.
- Η σχετικά μικρή ακρίβεια (1 έως 8 μέτρα) στο υψόμετρο σε συνδυασμό με την προσιτή τιμή τους (περίπου 300 €), δεν είναι αποτρεπτική για τις περισσότερες εφαρμογές.
- Στις εκσκαφές, για να μειωθούν τα λάθη θα χρησιμοποιηθούν υδραυλικοί εκσκαφείς ανεστραμμένου πτύου εξοπλισμένοι με ηλεκτρονικά συστήματα καθοδήγησης του κάδου καθώς και για τις εργασίες ισοπέδωσης. Τα μηχανήματα αυτά έχουν την ικανότητα να εκτελούν εργασίες ακριβείας με ποιότητα δουλειάς, ταχύτητα εκτέλεσης και προπαντός με χαμηλό κόστος παραγωγής.

Αναφέρονται ενδεικτικά, μερικά πιθανά σενάρια υλοποίησης της συγκεκριμένης εφαρμογής στην πράξη, όπως η πλοήγηση δηλαδή η χρήση της εφαρμογής από έναν φυσιολάτρη που του αρέσει να πραγματοποιεί περιπάτους στην ύπαιθρο μέχρι την πλοήγηση πυροσβεστικών οχημάτων, ακόμη η χαρτογράφηση δασικών ή επαρχιακών δρόμων, ο έλεγχος των κτηματογραφήσεων του κτηματολογίου και των θεματικών χαρτών, η ενημέρωση βάσης δεδομένων. Οι γεωτεχνικές εφαρμογές αυτές από τις κατά τόπους υπηρεσίες έχουν ένα πεδίο σε έκταση όσο το 75 % της χώρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δούκας Κ. Γ.. 1991 Δυνατότητες αξιοποίησης δασικών πυξίδων στην αποτύπωση δασικών εκτάσεων. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος. Α.Π.Θ. Τόμος ΛΔ/1. 579-595.
2. Τσουχλαράκη Α.. 1996. Ψηφιακή Εικονική Αναπαράσταση Ανάγλυφου Στην Ανάλυση του Τοπίου. Τεχνικά Χρονικά Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Ι(3). 27 - 43.
3. Καρτέρης Μ. και Μελιάδης Ι.. 1992. Τηλεπισκόπιση φυσικών πόρων και Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Τόμος ΙΙ. Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
4. GPS GmbH 2003. GPS-Handy für Wasser und Berge. AVN. (8-9). 322.
5. Heiderbauer M.. 2003. AktueIIe Forstdaten mit IT. Frostzeitung. (4). 12.
6. Γιαννίου. Μ.. 2000. Τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στο G.P.S. ΑΤΜ. Αθήνα. (147). 46-55.
7. Resnik B.. 2002. Praktische Untersuchungen zur Genauigkeit von Flachenermittelungen mit Handheld-GPS-Empfangern. AVN. (10). 346-351.
8. Gzaja Jens., Munchen & Marco Heurich 2003. GPS für Waldinventur im Nationalpark Bayerischer Wald. Forstzeitung. (10). 31-32.
9. NWF Nordwest-Funk GmbH 2002. GPS mit Kompass und Höhenmesser. AVN. (8-9). 322.
10. Groten Er., Mathes An., Becker Mat., Sohne W.. 2002. Aktuelle Informationen zum Einsatz von Satelliten im Vermessungswesen und in der Navigation. AVN. (8-9). 311.
11. Συλλαίος Ν.. 2000. Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπιση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Τόμος Α΄. Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπιση. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
12. Αχιλλέως Γ.. 1997. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους: Υψομετρικό Σφάλμα. Το σφάλμα λόγω Εφαρμογής Ομοπαράλληλου Μετασχηματισμού στις Ψηφιακές καμπύλες. Τεχνικά Χρονικά Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, (Ι)3. 27 - 43.
13. Kararizos P. V., Karagiannis E. A.. 2001. Machines of forest opening-up construction works and protection of natural environment. (Μηχανήματα κατασκευής έργων διάνοιξης των δασών και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος). International Conference “Forest Research: a challeng for integrated European approach”. Proceedings. NAGREF. Thessaloniki. 849 – 854.

14. Μάτης Κ. Γ. και Αλιφραγκής Δ. Α.. 1984. Υπέργεια βιομάζα της δρυός (*Quercus Conferta Kit.*) στον Ταξιάρχη Χαλκιδικής. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος. Α.Π.Θ. Τόμος ΚΣΤ/ΚΖ. 397 – 517.
15. Καραρίζος Π. Β.. 1998. Σημειώσεις εφαρμογών μηχανημάτων στα Δασοτεχνικά και Υδρονομικά έργα. Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Βουγιούκας, Σ.[1], Blackmore, Σ.[2], Griepentrog, H.[2] και Φουντάς, Σ.[2]
[1]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονική Σχολή,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη, θυρίδα 275.
[2] The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL)
Denmark, Department of AgroTechnology

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αποδοτική εκτέλεση γεωργικών εργασιών ακριβείας από κατάλληλα εξοπλισμένα αυτόνομα οχήματα απαιτεί τον εκ των προτέρων βέλτιστο σχεδιασμό εκτέλεσης των εργασιών αυτών. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος σχεδιασμού βέλτιστης κίνησης γεωργικών οχημάτων, ο οποίος συνδυάζει στοχαστική αναζήτηση και βελτιστοποίηση. Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε, και σχεδιάσθηκαν και εκτελέστηκαν με επιτυχία κινήσεις για ένα αυτόνομο ερευνητικό όχημα ζιζανιοκτονίας. Τέτοιου είδους αλγόριθμοι αναμένεται να αποτελούν βασικό τμήμα των μελλοντικών συστημάτων λογισμικού για τον βέλτιστο προγραμματισμό εργασιών από αυτόνομες μηχανές σε μεγάλες γεωργικές εκμεταλλεύσεις.

Λέξεις κλειδιά: Σχεδιασμός κίνησης, βελτιστοποίηση , γεωργικά οχήματα

ROUTE PLANNING FOR AUTONOMOUS AGRICULTURAL VEHICLES

Vougioukas, S.[1], Blackmore, Σ.[2], Griepentrog, H.[2] και Fountas, S.[2]
[1]Agricultural Engineering Laboratory, School of Agriculture,
Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, P.O. Box 175
[2] The Royal Veterinary and Agricultural University (KVL)
Denmark, Department of AgroTechnology

ABSTRACT

The efficient execution of precision farming tasks by suitably equipped autonomous vehicles requires prior optimal planning of these tasks. This paper presents an optimal motion planning algorithm for agricultural vehicles, which combines stochastic search with numerical optimization. The algorithm was implemented and various motions were planned and executed for a research autonomous vehicle, developed for weeding. It is envisioned that such algorithms will constitute a major building block of future farm management software systems for the optimal mission planning of autonomous machines.

Keywords: Motion planning, optimization, agricultural vehicles

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

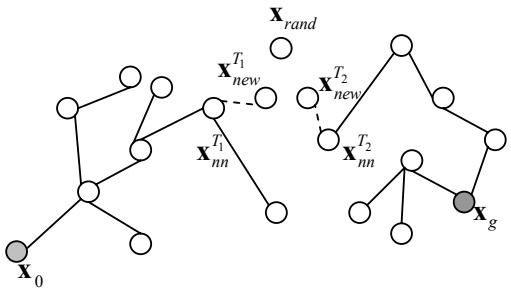
Στα πλαίσια της ερευνητικής δραστηριότητας στη γεωργία ακριβείας η έρευνα στην περιοχή της πλοήγησης αυτόνομων οχημάτων γεωργικών εφαρμογών έχει επικεντρωθεί στο πρόβλημα της παρακολούθησης από το όχημα μίας προκαθορισμένης τροχιάς με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Το πρόβλημα όμως του αυτόματου αλγοριθμικού σχεδιασμού της τροχιάς ενός οχήματος δεν έχει τύχει ανάλογη προσοχής, κυρίως διότι στις γραμμικές καλλιέργειες οι τροχιές είναι απλές και προκαθορισμένες. Όμως, υπάρχουν εφαρμογές με λιγότερο δομημένη γεωμετρία, οι οποίες απαιτούν πιο περίπλοκες κινήσεις. Για παράδειγμα, η κίνηση ενός αυτόνομου ελκυστήρα με παρελκόμενο από ένα χωράφι σε ένα άλλο με αποφυγή εμποδίων όπως δέντρα, αντλιοστάσια, φράκτες κ.λ.π., η λειτουργία ενός αυτόνομου οχήματος ψεκασμού στο εσωτερικό θερμοκηπίων, κ.λ.π.

Το γενικό πρόβλημα σχεδιασμού κίνησης γεωργικών οχημάτων από μία αρχική σε μία τελική θέση παρουσία εμποδίων αποτελεί πρόβλημα κίνησης μη-ολονομικών συστημάτων [8]. Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι επίλυσης τέτοιων προβλημάτων [7] εστιάζονται σε κίνηση σε επίπεδες επιφάνειες με παρουσία πολλών και πυκνών εμποδίων. Όμως, ο σχεδιασμός κίνησης για γεωργικές εφαρμογές δεν πρέπει να εστιάζεται τόσο στην αποφυγή εμποδίων, όσο στην απαίτηση για βέλτιστη κίνηση σε μη επίπεδες επιφάνειες [12]. Η υπολογιστική πολυπλοκότητα του προβλήματος σχεδιασμού κίνησης είναι μεγάλη και οι αλγόριθμοι που το επιλύουν με συστηματική έρευνα του χώρου δυνατών κινήσεων του συστήματος είναι πρακτικά εφαρμόσιμοι για απλά σχετικά προβλήματα. Πρόσφατα έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλείς στοχαστικοί αλγόριθμοι σχεδιασμού κίνησης, οι οποίοι έχουν επιλύσει δύσκολα προβλήματα [1],[3],[9]. Σε αντίθεση με τους αιτιοκρατικούς αλγορίθμους οι οποίοι εκτελούν συστηματική έρευνα στο χώρο κινήσεων του ρομπότ, οι στοχαστικοί αλγόριθμοι βασίζονται σε τυχαία δειγματοληψία του χώρου αυτού, προκειμένου να ανακαλύψουν μονοπάτια εφικτής κίνησης. Στο χώρο των γεωργικών εφαρμογών στοχαστικοί αλγόριθμοι έχουν προταθεί βασισμένοι σε γενετικούς αλγορίθμους [9] και τυχαία δέντρα [11]. Ανάμεσα στα πιο κοινά προβλήματα των στοχαστικών αλγορίθμων είναι ότι η διαδικασία αναζήτησης είναι αργή, ο χρόνος εκτέλεσης των υπολογισμών δεν είναι σταθερός και πολύ συχνά η κίνηση που υπολογίζουν δεν είναι ούτε βέλτιστη, ούτε ομαλή, εξαιτίας της τυχαιότητας κατά την παραγωγή της.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος υπολογισμού κινήσεων για αυτόνομα οχήματα γεωργικών εφαρμογών, ο οποίος υπολογίζει τοπικά βέλτιστες διαδρομές, με δεδομένο κάποιο επιθυμητό κριτήριο κόστους. Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, χρησιμοποιείται δειγματοληψία με τυχαία δέντρα για τον υπολογισμό εφικτών διαδρομών κίνησης μονοτονικά μειωμένου κόστους. Στο δεύτερο στάδιο η βελτιστοποίηση της διαδρομής εκφράζεται στο πλαίσιο της θεωρίας βέλτιστου ελέγχου και χρησιμοποιείται η αριθμητική μέθοδος της μέγιστης κλίσης για τη βελτιστοποίηση της κίνησης. Η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε όχημα ή συνδυασμό οχήματος με παρελκόμενο, αρκεί να είναι γνωστές οι εξισώσεις κίνησής του.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη αφορά ένα αυτόνομο όχημα το οποίο κινείται σε επίπεδη επιφάνεια παρουσία σταθερών εμποδίων. Έστω X ο n-διάστατος χώρος δυνατών καταστάσεων του οχήματος και U ο m-διάστατος χώρος εισόδων ελέγχου του οχήματος. Για παράδειγμα σε έναν ελκυστήρα το διάνυσμα κατάστασης $\mathbf{x}$ περιέχει γεωγραφικό πλάτος, μήκος και



Σχήμα 2. Στοχαστική αναζήτηση μονοπατιού με τυχαία δέντρα

προσανατολισμό, ενώ το διάνυσμα ελέγχου $\mathbf{u}$ τη γραμμική ταχύτητα του οχήματος και τη γωνία στροφής των μπροστά τροχών του σε σχέση με τον άξονα κίνησης. Έστω επίσης ότι η διακριτή εξίσωση κίνησης του οχήματος δίνεται από μία σχέση της μορφής:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k),\ k \geq 0 \tag{3}$$

όπου $\mathbf{x}_k \in X$ είναι το διάνυσμα κατάστασης, $\mathbf{u}_k \in U$ το διάνυσμα ελέγχου και $\mathbf{f}$ η εξίσωση κίνησης. Οι δυνατές θέσεις και είσοδοι είναι πεπερασμένες σε μέγεθος και συνεπώς υπόκεινται σε περιορισμούς της μορφής:

$$\mathbf{x}_{\min} \leq \mathbf{x}_k \leq \mathbf{x}_{\max},\ \mathbf{u}_{\min} \leq \mathbf{u}_k \leq \mathbf{u}_{\max} \tag{4}$$

Υποθέτουμε ότι η γεωμετρική περιγραφή των επιφανειών του οχήματος δίνεται από ένα σύνολο τριγώνων (π.χ. από αρχείο CAD) και ότι για κάθε κατάσταση $\mathbf{x}_k$ μπορεί να υπολογισθεί η ελάχιστη απόσταση του οχήματος από οποιοδήποτε εμπόδιο. Η απαίτηση αποφυγής εμποδίων εκφράζεται ως: $d(\mathbf{x}_k) > 0$. Με δεδομένες την αρχική και τελική κατάσταση για το όχημα $\mathbf{x}_0$ και $\mathbf{x}_g$ αντίστοιχα, καθώς και μία συνάρτηση κόστους $\phi(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k)$, ζητείται να υπολογισθεί μία ακολουθία εισόδων $\mathbf{u}$ μήκους N-1 σημείων, η οποία να οδηγεί το όχημα σε ένα μονοπάτι $\mathbf{x}$ μήκους N σημείων, χωρίς σύγκρουση με εμπόδια. Η συνάρτηση κόστους εκφράζει τα επιθυμητά κριτήρια βελτιστοποίησης, όπως π.χ., ελάχιστο μήκος, ελάχιστο χρόνο, ενέργεια κ.λ.π.

2.1 Πρώτο Στάδιο: Στοχαστική Αναζήτηση

Ο στοχαστικός αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί επέκταση του βασικού αλγορίθμου [9] "Rapidly-exploring Random Trees" (RRT) ο οποίος προσαρμόσθηκε στις απαιτήσεις των γεωργικών εφαρμογών [12]. Ο αλγόριθμος αυτός δημιουργεί τυχαίες καταστάσεις $\mathbf{x}_{rand}$ για το όχημα και προσπαθεί να δημιουργήσει μονοπάτι που ενώνει την αρχική και τελική κατάσταση μέσω της $\mathbf{x}_{rand}$. Αυτό το επιτυγχάνει δημιουργώντας δύο δενδρικές δομές δεδομένων και επεκτείνοντάς τις μέχρι ενώσεως μεταξύ τους (Σχήμα 2). Το δέντρο T_1 περιέχει στη ρίζα του την αρχική κατάσταση $\mathbf{x}_0$ και το T_2 την τελική κατάσταση $\mathbf{x}_g$. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου κάθε δέντρο επεκτείνεται προς την τυχαία κατάσταση μέσω χρήσης της εξίσωσης κίνησης του οχήματος. Μόλις ενωθούν τα δύο δέντρα υπολογίζεται ένα πλήρες μονοπάτι $\hat{\mathbf{x}}$

(και το αντίστοιχο $\hat{\mathbf{u}}$) από την ένωση των μονοπατιών κάθε δέντρου από τη ρίζα έως τον κοινό κόμβο. Αν δεν βρεθεί κοινός κόμβος μετά από έναν μέγιστο αριθμό επαναλήψεων, επιστρέφεται ένα άδειο μονοπάτι. Κάτι τέτοιο συμβαίνει σπάνια σε στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει εφικτή κίνηση (π.χ. πολλά πυκνά εμπόδια). Ο αλγόριθμος υπολογίζει περισσότερα από ένα πλήρη μονοπάτια, και κάθε μονοπάτι έχει μικρότερο κόστος από το προηγούμενο.

2.2 Δεύτερο Στάδιο: Αριθμητική Βελτιστοποίηση

Η έξοδος του στοχαστικού αλγορίθμου του πρώτου σταδίου είναι μία επιτρεπτή ακολουθία εισόδων $\hat{\mathbf{u}}$ μήκους *N*-1, η οποία παράγει ένα μονοπάτι $\hat{\mathbf{x}}$ μήκους *N,* ελεύθερο συγκρούσεων με εμπόδια. Το μονοπάτι αυτό δεν είναι βέλτιστο, ενώ σχεδόν πάντα περιέχει απότομες (μη ομαλές) και άσκοπες κινήσεις του οχήματος, οι οποίες είναι αποτέλεσμα του τυχαίου τρόπου υπολογισμού της κίνησης. Τέτοιες κινήσεις δεν είναι πρακτικά εκτελέσιμες γιατί θα απαιτούσαν συνεχείς απότομες μεταβολές ταχύτητας και κατεύθυνσης του οχήματος και θα οδηγούσαν σε καταπόνηση και πιθανή φθορά του. Για το λόγο αυτό, στο δεύτερο στάδιο χρησιμοποιείται η θεωρία βέλτιστου ελέγχου [4] προκειμένου να μετατραπεί η αρχική κίνηση $\hat{\mathbf{x}}$ σε ομαλή και βέλτιστη κίνηση με βάση το επιθυμητό κριτήριο βελτιστοποίησης. Γενικά η βέλτιστη κίνηση ελαχιστοποιεί μία συνάρτηση κόστους της μορφής:

$$J = \theta(\mathbf{x}_N) + \sum_{k=0}^{N-1} \phi(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \tag{5}$$

όπου θ είναι το κόστος της τελικής κατάστασης και φ το κόστος μετάβασης από μία κατάσταση στην επόμενη. Αυτά τα κόστη καθορίζουν τα κριτήρια βελτιστοποίησης αλλά χρησιμοποιούνται και για να επιβάλλουν περιορισμούς. Έτσι, επειδή η τελική επιθυμητή κατάσταση είναι δεδομένη, η συνάρτηση θ περιέχει έναν όρο ο οποίος προσθέτει κόστος σε οποιαδήποτε απόκλιση της τελικής θέσης από την επιθυμητή. Τέτοιος όρος είναι ο $(\mathbf{x}_N - \mathbf{x}_g)^T W (\mathbf{x}_N - \mathbf{x}_g)$, όπου W είναι ένας θετικός $n \times n$ πίνακας. Επιπλέον, η συνάρτηση φ περιέχει έναν θετικό όρο V ο οποίος αυξάνει το συνολικό κόστος του μονοπατιού κάθε φορά που η ελάχιστη απόσταση του οχήματος από τα εμπόδια είναι μηδενική, δηλαδή υπάρχει σύγκρουση. Ο όρος έχει τη μορφή

$$V(\mathbf{x}_k) = \left(\frac{C}{d(\mathbf{x}_k) + \varepsilon} \right)^{\rho} \tag{6}$$

όπου το ε είναι μία μικρή θετική σταθερά, και C>0 και ρ>1. Αν ορίσουμε τη Χαμιλτονιανή [4] του συστήματος ως:

$$H = \phi(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) + \boldsymbol{\lambda}_{k+1}^T \mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \tag{7}$$

αποδεικνύεται [4], [11] ότι αν τα $\boldsymbol{\lambda}_k$ ικανοποιούν την εξίσωση

$$\boldsymbol{\lambda}_k = \frac{\partial H}{\mathbf{x}_k} = \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{x}_k} + \frac{\partial \mathbf{f}^T}{\partial \mathbf{x}_k} \boldsymbol{\lambda}_{k+1}, k = 0, \ldots, \mathrm{N}-1, \ \boldsymbol{\lambda}_N = \frac{\partial \theta}{\partial \mathbf{x}_{\mathrm{N}}} \tag{8}$$

η μεταβολή του J ως προς τη μεταβολή της ακολουθία ελέγχου $\delta\mathbf{u}_k$ ισούται με

$$\delta J = \sum_{k=0}^{N}\left[\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}_k}\right]^T \delta\mathbf{u}_k \tag{9}$$

Ο όρος $\partial H / \partial \mathbf{u}_k$ δίνεται από την εξίσωση

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}_k} = \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{u}_k} + \frac{\partial \mathbf{f}^T}{\partial \mathbf{u}_k}\boldsymbol{\lambda}_{k+1} \tag{10}$$

Η βασική ιδέα για την ελαχιστοποίηση του κόστους είναι να επιλέγονται μεταβολές ελέγχου οι οποίες οδηγούν σε αρνητικό δJ. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταβολή της ακολουθίας ελέγχου σε αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της κλίσης της Χαμιλτονιανής. Ο αλγόριθμος έχει ως εξής. Ξεκινώντας από μία γνωστή ακολουθία ελέγχου $\mathbf{u}^1$ στην επανάληψη i υπολογίζεται το μονοπάτι $\mathbf{x}^1$ από την εξίσωση (3). Στη συνέχεια επιλύεται η εξίσωση (8) και επιλέγεται η μεταβολή της εισόδου από τη σχέση

$$\delta\mathbf{u}_k^i = -K\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}_k^i} \tag{11}$$

όπου K είναι ένα επαρκώς μικρό θετικό βήμα. Στην επόμενη επανάληψη η ακολουθία ελέγχου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\mathbf{u}_k^{i+1} = \mathbf{u}_k^i + \delta\mathbf{u}_k^i \tag{12}$$

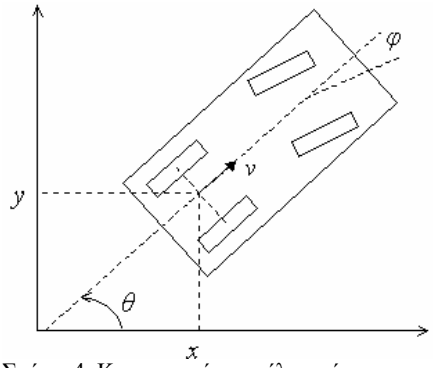
Προκειμένου να λυθεί η εξίσωση (8), πρέπει να υπολογισθούν οι όροι $\partial\phi/\partial\mathbf{x}_k$, $\partial\theta/\partial\mathbf{x}_k$, καθώς και ο όρος $\partial V/\partial\mathbf{x}_k$, ο οποίος εύκολα προκύπτει:

$$\frac{\partial V}{\partial \mathbf{x}_k} = \frac{-\rho C^{\rho}}{(d(\mathbf{x}_k)+\varepsilon)^{\rho+1}}\frac{\partial d}{\partial \mathbf{x}_k} \tag{13}$$

ο όρος $\partial d/\partial\mathbf{x}_k$ είναι η κλίση της ελάχιστης απόστασης από τα εμπόδια και δεν μπορεί να υπολογισθεί αναλυτικά, αλλά μόνον αριθμητικά. Προκειμένου να τηρούνται αυστηρά οι περιορισμοί του διανύσματος εισόδου (μέγιστη ταχύτητα και γωνία τροχών), χρησιμοποιείται η μέθοδος τελεστή προβολής [5]. Η εξίσωση (10) υπολογισμού της εισόδου στο επόμενο βήμα παίρνει τη μορφή:

$$\mathbf{u}_k^{i+1} = \Pi[\mathbf{u}_k^i + \delta\mathbf{u}_k^i] \tag{14}$$

Σχήμα 3. Το πειραματικό όχημα ACW



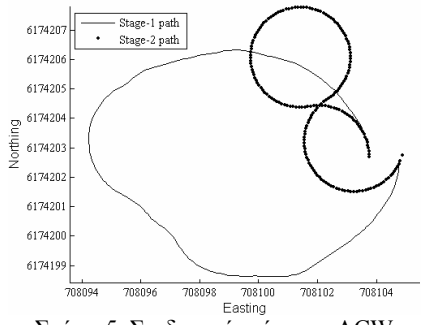
Σχήμα 4. Κινηματικό μοντέλο οχήματος

όπου Π είναι ένας τελεστής προβολής σημείων εκτός του χώρου που ορίζεται από τους περιορισμούς στο κοντινότερο σημείο εντός του συνόλου. Για το σύνολο που ορίζεται από την εξίσωση (4), ο τελεστής παίρνει τη μορφή:

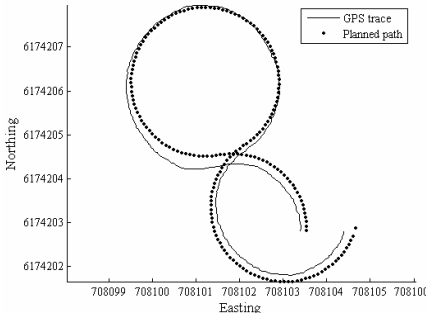
$$\left[\Pi[\mathbf{u}]\right]_j = \begin{cases} [\mathbf{u}_{\max}]_j \text{ ,αν } [\mathbf{u}]_j > [\mathbf{u}_{\max}]_j \\ [\mathbf{u}_{\min}]_j \text{ ,αν } [\mathbf{u}]_j < [\mathbf{u}_{\min}]_j \\ [\mathbf{u}]_j \quad \text{ ,αλλού} \end{cases} \tag{15}$$

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο στοχαστικός αλγόριθμος RRT και ο αλγόριθμος αριθμητικής βελτιστοποίησης υλοποιήθηκαν σε γλώσσα C++. Οι υπολογισμοί ελάχιστης απόστασης μεταξύ αντικειμένων και η ανίχνευση συγκρούσεων μεταξύ τους έγιναν μέσω της βιβλιοθήκης *PQP* [6]. Σχεδιασμός κίνησης έγινε για ένα αυτόνομο ερευνητικό όχημα το οποίο αναπτύχθηκε για ζιζανιοκτονία σε φυτώρια χριστουγεννιάτικων δέντρων. Το όχημα ACW (**A**utonomous **C**hristmas **W**eeder) φαίνεται στο Σχήμα 3. Το όχημα αναπτύχθηκε σε συνεργασία των τμημάτων Agricultural Sciences και Forestry and Landscape του Πανεπιστημίου Royal Veterinary και του Agricultural University in Copenhagen [2]. Οι διαστάσεις του οχήματος (m) είναι $1.53 \times 0.62 \times 0.7$ (Μ×Π×Υ) και η απόσταση μεταξύ πίσω και μπροστά άξονα είναι 0.98 (m). Το ACW έχει μέγιστη γωνία στρέψης έμπροσθεν τροχών (steering angle) 30°. Το κινηματικό μοντέλο του δίνεται στο Σχήμα 4. Οι συντεταγμένες x και y (Easting, Northing) αναφέρονται στη γεωγραφική θέση του κέντρου μάζας του πίσω άξονα $\mathbf{P} = [x\ y]^T$. Το μοναδιαίο διάνυσμα ταχύτητας **v** εδράζεται στο σημείο **P** και δίνει την κατεύθυνση κίνησης. Ο προσανατολισμός του οχήματος δίνεται από τη γωνία θ. Η γωνία των έμπροσθεν τροχών σε σχέση με την κατεύθυνση κίνησης είναι φ και το μέτρο της γραμμικής ταχύτητας v. Το διάνυσμα κατάστασης του οχήματος είναι το $\mathbf{x} = [x\ y\ \theta]^{\mathrm{T}}$ και το διάνυσμα ελέγχου του οχήματος το $\mathbf{u} = [v\ \phi]^{\mathrm{T}}$. Οι διακριτές κινηματικές εξισώσεις που περιγράφουν την κίνηση του οχήματος δίνονται από το παρακάτω σύστημα:



Σχήμα 5. Σχεδιασμός κίνησης ACW



Σχήμα 6. Εκτέλεση κίνησης ACW

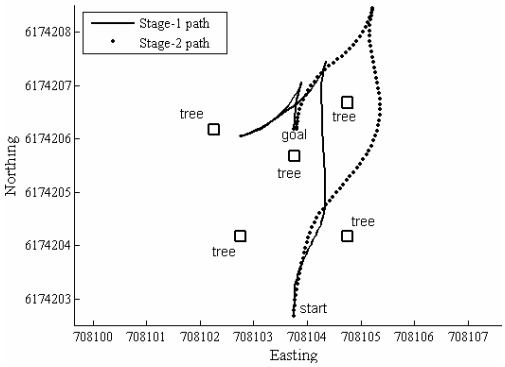
$$
\begin{aligned}
x_{k+1} &= x_k + \Delta \mathrm{T} v_k \cos\theta_k \\
y_{k+1} &= y_k + \Delta \mathrm{T} v_k \sin\theta_k \\
\theta_{k+1} &= \theta_k + \Delta \mathrm{T} v_k \tan\phi_k / L
\end{aligned} \tag{16}
$$

όπου L είναι η απόσταση μεταξύ πίσω και μπροστά άξονα, και ΔT το διάστημα διακριτοποίησης του συνεχούς κινηματικού μοντέλου Ως κριτήριο βελτιστοποίησης επιλέχθηκε η συνολική απόσταση *D* που θα διανύσει το όχημα., η οποία δίνεται από τη σχέση:

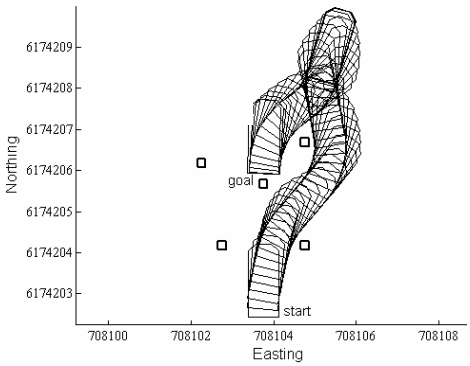
$$
D = \sum_{k=0}^{N-1} | v_k | \Delta T = \sum_{k=0}^{N-1} (\mathbf{u}_k^T \mathbf{Q} \mathbf{u}_k)^{1/2} \tag{17}
$$

Στο πρώτο σύνολο προσομοιώσεων το μοντέλο του ACW περιορίσθηκε σε κίνηση προς τα εμπρός. Ο λόγος ήταν ότι μηχανική βλάβη δεν επέτρεπε στο πραγματικό όχημα να κάνει όπισθεν. Η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα ορίσθηκε στα 1.0 m/s. Η αρχική θέση του οχήματος σε συντεταγμένες UTM (m) ήταν 6174202.677 (Northing), 708103.757 (Easting) και η κατεύθυνσή του προς βορρά. Η τελική επιθυμητή θέση ήταν ένα μέτρο προς τα δεξιά (παράλληλη μετατόπιση) με ίδιο προσανατολισμό. Η βέλτιστη κίνηση που υπολόγισε η πρώτη και δεύτερη φάση του αλγορίθμου δίνονται στο Σχήμα 5. Ο στοχαστικός αλγόριθμος υπολόγισε μονοπάτι μήκους 27.54 m, το οποίο μετά τη βελτιστοποίηση μειώθηκε στα 19.6 m. Το στίγμα του GPS από την εκτέλεση της τροχιάς από το αυτόνομο όχημα φαίνεται στο Σχήμα 6. Ο αλγόριθμος υπολόγισε ότι προκειμένου το μονοπάτι να είναι ελαχίστου μήκους, το όχημα έπρεπε στρίβει συνεχώς τους μπροστινούς τροχούς με τη μέγιστη γωνία στροφής. Όπως φαίνεται από το σχήμα, υπήρχε απόκλιση μεταξύ της κίνησης που σχεδίασε ο αλγόριθμος και αυτής που εκτέλεσε το όχημα, με μέγιστη τιμή 33 cm. Η απόκλιση αυτή οφείλεται μερικώς σε σφάλματα βαθμονόμησης (calibration) του συστήματος κατεύθυνσης, το οποίο δημιουργούσε σφάλματα ειδικά σε αριστερές στροφές, και στην υπάρχουσα υλοποίηση του αλγορίθμου παρακολούθησης τροχιάς (tracking controller) για το ACW, ο οποίος ήταν ρυθμισμένος να παρακολουθεί ευθείες γραμμές και όχι καμπύλες.

Σε ένα δεύτερο σύνολο προσομοιώσεων υπολογίσθηκε κίνηση για το όχημα ACW ανάμεσα σε κορμούς δέντρων, τα οποία βρίσκονται σε γνωστές θέσεις. Οι κορμοί είχαν διάμετρο 20cm. Η αρχική θέση του οχήματος ορίσθηκε ίδια με αυτή των πρώτων πειραμάτων, ενώ η τελική επιθυμητή θέση 3.5 m μπροστά, με ίδιο προσανατολισμό. Το όχημα μπορούσε να κινηθεί προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Ο στοχαστικός αλγόριθμος υπολόγισε μία ακολουθία μονοπατιών μήκους 16.7, 14.25, 12.67, 11.26 και



Σχήμα 7. Διαδρομές ανάμεσα σε δέντρα



Σχήμα 8. Προσομοίωση κίνησης ACW

9.82 (m). Το τελευταίο και πιο σύντομο μονοπάτι το επεξεργάστηκε ο αλγόριθμος της δεύτερης φάσης και προέκυψε το βέλτιστο με μήκος 9.03 (m). Και τα δύο φαίνονται στο Σχήμα 7. Η προσομοίωση της κίνησης του οχήματος ACW φαίνεται στο Σχήμα 8.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις παραπάνω προσομοιώσεις προκύπτει ότι ο συνδυασμός στοχαστικής αναζήτησης μονοπατιών κίνησης και η βελτιστοποίησή τους σε δεύτερη φάση προσφέρουν μία πρακτική και πολύ ισχυρή μέθοδο σχεδιασμού κίνησης για οχήματα. Ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου είναι της τάξης των λίγων λεπτών για κινήσεις μικρού μήκους (<100 σημεία) ενώ για μεγαλύτερες κινήσεις (>200 σημεία) ανέρχεται σε δεκάδες λεπτά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης μέγιστης κλίσης συγκλίνει αρκετά αργά. Αντικείμενο τρέχουσας έρευνας αποτελεί η χρήση πιο εξελιγμένων μεθόδων βελτιστοποίησης, όπως η μεταγραφή (transcription), η οποία μετατρέπει προβλήματα δυναμικής βελτιστοποίησης σε στατικά Non-Linear-Programming (NLP) προβλήματα. Επίσης διερευνάται η χρήση τεχνικών αραιών (sparse) πινάκων για την αποδοτική επίλυση προβλημάτων NLP. Ιδιαίτερο υπολογιστικό χρόνο απαιτούν και οι υπολογισμοί ελαχίστων αποστάσεων (έλεγχοι σύγκρουσης με εμπόδια). Όμως σε εφαρμογές γεωργικού ενδιαφέροντος αυτό δεν αναμένεται να αποτελέσει πρόβλημα μια και η γεωμετρία είναι απλούστερη με λιγότερα εμπόδια.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε σύστημα του οποίου η κίνηση μπορεί να περιγραφεί από κινηματικές ή δυναμικές εξισώσεις της μορφής (1). Έτσι, σε συνδυασμό με πληροφορία γεωμετρίας πεδίων από GIS και με γεωμετρικά, κινηματικά και δυναμικά χαρακτηριστικά από τους κατασκευαστές των οχημάτων, είναι δυνατός ο αυτόματος σχεδιασμός βέλτιστης κίνησης οχημάτων με παρελκόμενα μηχανήματα σε μη-επίπεδες επιφάνειες (off-road). Τέτοιου είδους αλγόριθμοι αναμένεται να αποτελούν βασικό τμήμα των μελλοντικών συστημάτων λογισμικού για τον βέλτιστο προγραμματισμό εργασιών από αυτόνομες μηχανές σε μεγάλες γεωργικές εκμεταλλεύσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barraquand, J. and Latombe, J.-C. 1990. A Monte-Carlo algorithm for path planning with many degrees of freedom. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, **3** 1712-1717.

2. Have, H., Blackmore, S.B., Keller, B., Fountas, S., Nielsen, H. and Theilby, F. 2002. Development of an autonomous Christmas tree weeder – a feasibility study. - Pesticide Research No. 59. Danish Environmental Protection Agency, 88p.
3. Kavraki, L., Svestka, P., Latombe, J.-C. and M. H. Overmars. 1996. Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces. IEEE Transactions on Robotics & Automation, **12**(4) 566-580.
4. Kirk, D.E. 1970. Optimal Control Theory: An Introduction. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
5. Kushner, H.J. and Yin, G.G. 1997. Stochastic Approximation Algorithms and Applications, New York: Springer-Verlag.
6. Larsen, E., Gottschalk, S., Lin, M. and Manocha, D. 1999. Fast Proximity Queries with Swept Sphere Volumes. Technical report TR99-018. Dept. of Computer Science, UNC Chapel Hill, NC, USA.
7. Latombe, J.C. 1991. "Robot Motion Plannning". Norwell:Kluwer,
8. Laumond, J.-P., Sekhavat S. and Lamiraux F. 1998. Guidelines in nonholonomic motion planning for mobile robots. In: Robot Motion Planning and Control, edited by J.-P. Laumond, Springer-Verlag, Berlin, pp.1-53.
9. LaValle, S.M. and Kuffner, J.J. 2001. Randomized kinodynamic planning. International Journal of Robotics Research **20**(5) 378–400.
10. Noguchi, N. and Terao H., 1997. Path planning of an agricultural mobile robot by neural network and genetic algorithm. Computers & Electronics in Agriculture. **18** 187–204.
11. Sage, A.P. and White, C.C. Optimum Systems Control. 1977. 2nd edition. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
12. Vougioukas, S.G. 2004. Near-Optimal Path Planning for Autonomous Tractors. In AgEng 2004: Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Leuven, Belgium. Paper No.355.

ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Ε. Μπαλτάς
Α.Π.Θ. – Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, 54006 Θεσσαλονίκη, e-mail:baltas@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη χωροχρονική εκτίμηση διαφόρων κλιματικών δεικτών οι οποίοι προσδιορίζουν την κλιματική κατάσταση μίας περιοχής. Οι κλιματικοί δείκτες που υπολογίστηκαν είναι ο δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson, ο δείκτης ξηρότητας de Martone, ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης Kerner και ο συνδυαστικός δείκτης Pinna. Επίσης, με βάση τις μηνιαίες τιμές της κατακρήμνισης και θερμοκρασίας καταρτίστηκαν τα θερμοϋετογραφήματα, τα οποία είναι χρήσιμα για τη μελέτη των διαφόρων βιολογικών φαινομένων. Μέθοδοι ΓΠΣ (Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων) χρησιμοποιήθηκαν για τη χωρική ολοκλήρωση των μετρήσεων των δεκαπέντε μετεωρολογικών σταθμών στη Βόρεια Ελλάδα και στο βόρειο τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας, τον υπολογισμό των επιφανειακών τιμών και τη χωροχρονική απεικόνιση των παραπάνω παραμέτρων.

TIME AND SPATIAL DISTRIBUTION OF CLIMATOLOGICAL INDEXES IN NORTHERN GREECE

E. Baltas

AUTH, Agricultural School, Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, 540 06 Thessaloniki, e-mail:baltas@agro.auth.gr

ABSTRACT

This work is concentrated in the time and spatial estimation of different climatological indexes, which assess the climate of a region. The climatic indexes that were calculated are the Johansson continental index, the De-Martone dry index, the Kerner thermoisodynamic index and the Pinna combination index. Also based on the monthly temperature and rainfall, the temperature-rainfall graphs were constructed, which are useful for the study of the biological phenomena. GIS techniques were used for the areal integration of the measurements of the fifteen stations in Northern Greece and the northern part of Central Greece, the calculation of the mean values and the visualization of the abovementioned parameters.

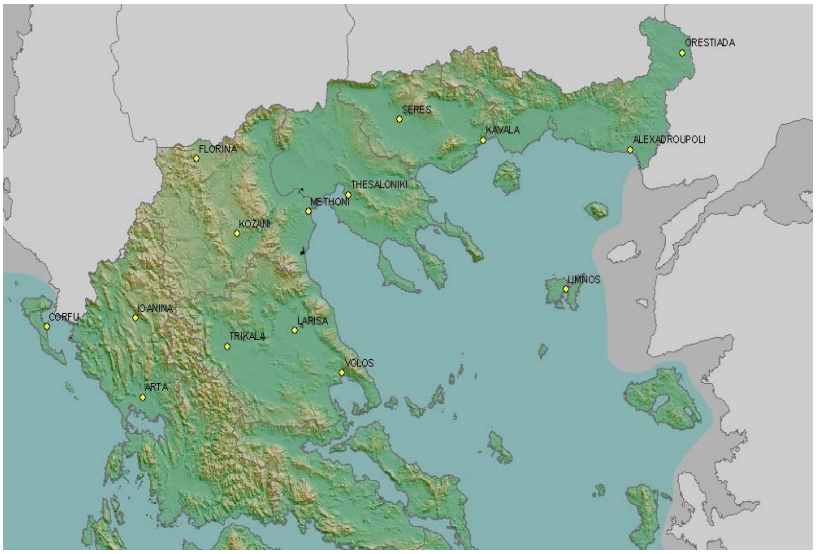
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι καιρικές συνθήκες και το κλίμα μίας περιοχής αποτελούν από τους πλέον βασικούς παράγοντες στην ανάπτυξη και εξέλιξη των φυτών. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες που εμπλέκονται στη διαμόρφωση του μικροκλίματος μίας περιοχής προσδιορίζουν χρονικά καθοριστικές φυσιολογικές διεργασίες που από τη φύση τους διακρίνονται μεταξύ τους και αποτελούν τα φαινολογικά στάδια. Μολονότι η προσέγγιση της συσχέτισης ανάπτυξης των σταδίων των φυτών με μετεωρολογικές παραμέτρους είναι εμπειρική, έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμη για την παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής [1], [2]. Οι αβιοτικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη σε φαινολογικές μελέτες είναι συνήθως κλιματικοί και ιδιαίτερα είναι η θερμοκρασία και η βροχόπτωση [3], [4]. Από πρακτική άποψη ο σπουδαιότερος αβιοτικός παράγοντας που επηρεάζει το χρόνο που εκδηλώνονται τα φαινολογικά στάδια των φυτών είναι η θερμοκρασία. Απώτερος και γενικότερος σκοπός μελετών είναι η εύρεση τρόπου σύνδεσης ορισμένων αβιοτικών παραγόντων όπως είναι οι μετεωρολογικοί και κλιματικοί παράγοντες με την τελική απόδοση της καλλιέργειας [5]. Ως εκ τούτου, το ζητούμενο είναι η δυνατότητα της εκτίμησης της τελικής παραγωγής όταν είναι γνωστές οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάποιο στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών.
Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην χωροχρονική εκτίμηση διαφόρων κλιματικών παραμέτρων, οι οποίες προσδιορίζουν την κλιματική κατάσταση μίας περιοχής. Οι παράμετροι αυτές προκύπτουν από την κατάλληλη ανάλυση και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων δεκαπέντε μετεωρολογικών σταθμών που βρίσκονται στη Βόρεια Ελλάδα και στο βόρειο τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας. Οι κλιματικοί δείκτες που υπολογίστηκαν είναι ο δείκτης ηπειρωτικότητας-ωκεανικότητας Johansson, ο δείκτης ξηρότητας-υγρασίας de Martone και ο συνδυαστικός δείκτης Pinna. Επίσης με βάση τις μηνιαίες τιμές της κατακρήμνισης και θερμοκρασίας καταρτίστηκαν τα θερμοϋετογραφήματα. Με τη σύγκριση όμοιων κλιματικών διαγραμμάτων διαφόρων περιοχών και με τον προσδιορισμό της χρονικής περιόδου επικάλυψης ή μη είναι δυνατόν να εξαχθούν πολύτιμα συγκριτικά συμπεράσματα για παράδειγμα ως προς το είδος της βλάστησης της κάθε περιοχής. Μέθοδοι ΓΠΣ χρησιμοποιήθηκαν για τον χωρική ολοκλήρωση των σημειακών μετρήσεων, τον υπολογισμό των επιφανειακών τιμών των προαναφερθεισών παραμέτρων και τη χωροχρονική απεικόνιση αυτών.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην εργασία αυτή πρωτογενή δεδομένα από δεκαπέντε μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται στη Βόρεια Ελλάδα και στο βόρειο τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας και αποτελούν την περιοχή μελέτης, υπέστησαν ανάλυση και επεξεργασία. Στο Σχήμα 1 φαίνονται οι θέσεις των δεκαπέντε αυτών σταθμών. Οι εν λόγω σταθμοί ανήκουν στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και τα πρωτογενή δεδομένα τους χρονικής διάρκειας 30 ετών, υπέστησαν ανάλυση και επεξεργασία για την εκτίμηση των μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Η περιοχή μελέτης είναι η πλέον παραγωγική περιοχή της χώρας, κυρίως στον πρωτογενή τομέα (γεωργία, κτηνοτροφία) και στηρίζει σημαντικά την οικονομία της χώρας. Οι γεωμορφολογικές και κλιματολογικές συνθήκες παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες μεταξύ τους και στην περιοχή αυτή βρίσκεται το σύνολο των διακρατικών υδατικών πόρων της χώρας. Ο πρωτογενής τομέας παρουσιάζει τις μεγαλύτερες δυνατότητες ανάπτυξης, γιατί η περιοχή διαθέτει πλούσιους εδαφικούς και υδατικούς πόρους. Η τάση των ετήσιων κατακρημνίσεων στην περιοχή μετά την ανάλυση των βροχοπτώσεων των τελευταίων τριάντα ετών παρουσιάζεται πτωτική. Η μορφολογία της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από ισχυρό ανάγλυφο, με μεγάλες πεδινές εκτάσεις. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των μετεωρολογικών σταθμών και τα αντίστοιχα υψόμετρά τους δίνονται στον Πίνακα 1. Το ψηφιακό μοντέλο

εδάφους προέκυψε από ψηφιοποίηση των χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:50000.



Σχήμα 1. Οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 1 Οι μετεωρολογικοί σταθμοί και τα αντίστοιχα υψόμετρα αυτών.

ΣΤΑΘΜΟΣ	**ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (φ)**	**ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (λ)**	**ΥΨΟΜΕΤΡΟ**
ΛΗΜΝΟΣ	39 55 20.49	25 14 58.19	1.70
ΦΛΩΡΙΝΑ	40 46 54.92	21 24 15.03	692.00
ΤΡΙΚΑΛΑ	39 31 29.82	21 45 46.35	109.00
ΣΕΡΡΕΣ	41 04 27.23	23 31 36.41	32.50
ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41 30 00	26 31 00	43.00
ΜΕΘΩΝΗ	36 49 20.71	21 42 10.32	61.60
ΛΑΡΙΣΑ	39 38 36.61	22 27 30.47	71.30
ΚΟΖΑΝΗ	40 17 12.33	21 50 21.53	621.00
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40 51 13.77	25 56 45.80	3.10
ΑΡΤΑ	39 09 46.75	20 54 40.90	9.30
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39 41 32.25	20 49 03.77	477.00
ΚΑΒΑΛΑ	40 56 05.82	24 24 22.65	5.00
ΚΕΡΚΥΡΑ	39 36 31.38	19 54 40 .01	1.50
ΒΟΛΟΣ	39 22 00	22 57 00	3.00
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40 32 00	22 58 00	4.00

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Οι κλιματικοί δείκτες που υπολογίστηκαν είναι ο δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson, ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης Kerner, ο δείκτης ξηρότητας de Martone και ο συνδυαστικός δείκτης Pinna. Επίσης με βάση τις εκτιμημένες μηνιαίες τιμές της κατακρήμνισης και θερμοκρασίας καταρτίστηκαν τα θερμοϋετογραφήματα, τα οποία είναι χρήσιμα για τη μελέτη της επίδρασης των κλιματικών στοιχείων στην ανάπτυξη και εξέλιξη των διαφόρων βιολογικών φαινομένων.

3.1 Δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson

Ο δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson είναι γνωστός και ως δείκτης ηπειρωτικότητας – ωκεανικότητας και χρησιμοποιείται για μια κλιματική ταξινόμηση από άποψη ηπειρωτικότητας και ωκεανικότητας. Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται από την παρακάτω σχέση [6], [7]:

$$k = \frac{1.7\,E}{\eta\mu\,\varphi} - 20.4 \qquad (1)$$

όπου: E= ετήσιο θερμομετρικό εύρος, εκφρασμένο σε ^{0}C και
φ= γεωγραφικό πλάτος

Πολλές φορές, αντί του Ε, χρησιμοποιείται η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στη μέση μέγιστη του θερμότερου μήνα και την αντίστοιχη ελάχιστη του ψυχρότερου μήνα. Η σχέση αυτή βεβαίως είναι ανεφάρμοστη πάνω από περιοχές με πολύ μικρές τιμές του φ. Όταν το k λαμβάνει τιμές από 0 έως 33 τότε το κλίμα χαρακτηρίζεται ως θαλάσσιο, από 34 έως 66 ηπειρωτικό και από 67 έως 100 εξαιρετικά ηπειρωτικό. Επίσης, ο Kerner διαμόρφωσε τον καλούμενο θερμοϊσοδυναμικό λόγο:

$$k_1 = \frac{100(T_0 - T_\alpha)}{E} \qquad (2)$$

όπου: T_0, T_α και Ε είναι οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα του Οκτωβρίου, Απριλίου και το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος, αντίστοιχα. Στη διαμόρφωση αυτής της σχέσης λήφθηκε υπόψη το γεγονός ότι οι εαρινοί μήνες είναι ψυχρότεροι από τους φθινοπωρινούς στα θαλάσσια κλίματα. Οι μικρές ή οι αρνητικές τιμές του k_1 υποδηλώνουν ηπειρωτικότητα, ενώ οι μεγάλες ωκεανικότητα.

3.2 Δείκτης ξηρότητας De-Martone

Ο δείκτης αυτός που ονομάζεται και δείκτης ερημικότητας-ευφορίας ή ξηρότητας-υγρασίας ορίζεται δύσκολα και είναι σε μεγάλο βαθμό τοπικού χαρακτήρα. Η ερημικότητα μιας περιοχής είναι συνάρτηση της βροχής, της θερμοκρασίας, της εξάτμισης, των ανέμων και της διανομής των πιέσεων. Είναι αρκετά δύσκολο μια εμπειρική σχέση να προσδιορίζει με ακρίβεια την ερημικότητα σ' ολόκληρη την επιφάνεια της γης. Όμως για διάφορες υποπεριοχές υπάρχουν αποτελεσματικές εκφράσεις. Ο δείκτης ξηρότητας του de Martone δίνεται από την εξής σχέση (Χρονοπούλου-Σερέλη, 1996):

$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{T} + 10} \qquad (3)$$

όπου: P= μέσο ετήσιο βροχομετρικό ύψος (mm) και
T= μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας του αέρα (^{0}C).

Προφανώς, αύξηση της τιμής του δείκτη, με σταθερή περίπου την τιμή της θερμοκρασίας, δείχνει αύξηση της βροχόπτωσης. Μικρές τιμές του Ι υποδηλώνουν μεγάλη ξηρότητα και μάλιστα αν I<10 το κλίμα χαρακτηρίζεται ξηρό ή ερημικό. Έχοντας ως βάση τις τιμές του Ι και της βροχόπτωσης Ρ, ο de Martone παρουσίασε την κλιματική ταξινόμηση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2. Στην ελληνική περιοχή οι τιμές του Ι παρουσιάζουν αύξηση από τα παράλια προς το

εσωτερικό και από το νότο προς το βορρά. Ανάλογα με την παραπάνω σχέση ορίζεται και η μηνιαία τιμή του δείκτη ξηρότητας από τη σχέση (Χρονοπούλου-Σερέλη, 1996):

$$I' = \frac{12P'}{T'+10} \quad (4)$$

με P' και T' τις αντίστοιχες τιμές της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για τον θεωρούμενο μήνα. Όταν η τιμή I' παίρνει τιμές μικρότερες από 20, τότε το έδαφος στους μήνες αυτούς χρειάζεται άρδευση.

Πίνακας 2. Κλιματική ταξινόμηση σύμφωνα με τον De-Martone.

Χαρακτηρισμός κλίματος	Τιμές του I	Τιμές του P (mm)
Ξηρό ή ερημικό	I < 10	P < 200
Ημίξηρο	10≤ I ≤ 20	200 ≤ P < 400
Μεσογειακό	20 ≤ II <24	400 ≤ P < 500
Ημίυγρο	24 ≤ I < 28	500 ≤ P < 600
Υγρό	28 ≤ I < 35	600 ≤ P < 700
Πολύ υγρό	α.35 ≤ I ≤ 55	700 ≤ P < 800
	β. I > 55	P > 800

3.3 Συνδυαστικός δείκτης Pinna

Ο Pinna έχει εφαρμόσει ένα συνδυαστικό δείκτη που δίνεται από την εξής σχέση (Φλόκας, 1994):

$$I_\pi = \frac{1}{2}\left(\frac{P}{T+10} + \frac{12P'_\xi}{T'_\xi+10}\right) \quad (5)$$

όπου P και T είναι η ετήσια βροχόπτωση και θερμοκρασία, ενώ P'_ξ και T'_ξ η βροχόπτωση και θερμοκρασία του ξηρότερου μήνα. Ο δείκτης αυτός μας δίνει τη δυνατότητα καλύτερης περιγραφής των περιοχών και εποχών κατά τις οποίες είναι αναγκαία η άρδευση. Για I_π<10 τα κλίματα χαρακτηρίζονται ξηρά, ενώ για $10 \le I_\pi \le 20$ τα κλίματα θεωρούνται ημίξηρα Μεσογειακά, με τυπική μεσογειακή βλάστηση.

3.4 Θερμοϋετογραφήματα κατά Gaussen

Για την κατάρτιση του θερμοϋετογραφήματος η μονάδα μέτρησης της κατακρήμνισης (στο δεξιό κατακόρυφο άξονα) σε mm είναι διπλάσια της θερμοκρασίας (στον αριστερό κατακόρυφο άξονα) σε ^oC. Στον οριζόντιο άξονα είναι τοποθετημένοι οι δώδεκα μήνες. Με τη σύγκριση όμοιων κλιματικών διαγραμμάτων διαφόρων περιοχών και με τον προσδιορισμό της χρονικής περιόδου επικάλυψης ή μη είναι δυνατόν να εξαχθούν πολύτιμα συγκριτικά συμπεράσματα ως προς το είδος της βλάστησης. Ο Gaussen ορίζει ως ξηρό ένα μήνα, όταν ανάμεσα στα P' και T', που εκφράζουν τη μέση μηνιαία βροχόπτωση και θερμοκρασία αντίστοιχα σε mm και ^oC, ισχύει η σχέση (Φλόκας, 1994):

$$P' < T' \quad (6)$$

Το γεγονός ότι η έκταση της βιολογικής ξηρασίας εξαρτάται από την ατμοσφαιρική υγρασία, ο Gaussen συμπλήρωσε την παραπάνω σχέση και πρότεινε να χαρακτηρίζεται ένας μήνας ξηρός, εάν η βροχόπτωση είναι:

i) λιγότερη από 10 mm νερού, με μια μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας μικρότερη από 10^oC

ii) λιγότερη από 25 mm νερού, με μια μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας που

κυμαίνεται από 10°C μέχρι 20°C,

iii) λιγότερη από 50mm, με μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας που βρίσκεται ανάμεσα στους 20°C και 30°C και

iv) λιγότερη από 75 mm νερού, με μέση μηνιαία τιμή της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από 30°C.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μέθοδοι ΓΠΣ (Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων) χρησιμοποιήθηκαν για την επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών μετρήσεων, τον υπολογισμό των μέσων επιφανειακών τιμών των προαναφερθεισών δεικτών και τη χωροχρονική απεικόνιση αυτών, λαμβάνοντας υπόψη που πρέπει να ισχύουν στην εφαρμογή των μεθόδων αυτών σε περιοχές με τα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης. Ειδικότερα υπολογίστηκαν τα θερμοϋετογραφήματα για τους 15 σταθμούς, καθώς και ο δείκτης ηπειρωτικότητας, ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης, ο δείκτης ξηρότητας και ο συνδυαστικός δείκτης. Ενδεικτικά, στο Σχήμα 2 φαίνεται ο δείκτης ηπειρωτικότητας για ολόκληρη την περιοχή μελέτης και λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 19 (Μεθώνη) έως 37 (Τρίκαλα), ενώ στο Σχήμα 3 δίνεται ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης Kerner με τιμές που κυμαίνονται από 0.47 (Φλώρινα) έως 28.74 (Μεθώνη). Επίσης στο Σχήμα 4 δίνεται ο δείκτης ξηρότητας που λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 16.28 (Λάρισα) έως 43.01 (Ιωάννινα), ενώ στο Σχήμα 5 δίνεται ο συνδυαστικός δείκτης με τιμές που κυμαίνονται από 10.80 (Λάρισα) έως 26.73 (Ιωάννινα). Επίσης, στα Σχήματα 6 και 7 δίνονται τα θερμοϋτετογραφήματα για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Θεσσαλονίκης και της Φλώρινας, όπου φαίνεται ότι τους καλοκαιρινούς μήνες η θερμοκρασία και ιδιαίτερα για το σταθμό της Θεσσαλονίκης είναι σχετικά μεγαλύτερη από τη βροχόπτωση στη συγκεκριμένη κλίμακα και ως εκ τούτου η ξηρασία είναι περισσότερο έντονη και μεγαλύτερης διάρκειας στο σταθμό της Θεσσαλονίκης απ'ότι στο σταθμό της Φλώρινας. Να σημειωθεί ότι για σταθμούς οι οποίοι έχουν εξεταστεί σε προηγούμενες εργασίες, οι τιμές των κλιματικών δεικτών που υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες προηγούμενων εργασιών (Φλόκας, 1994).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στα εξής:

1 ανάλυση και επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων από δεκαπέντε μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται στη Βόρεια Ελλάδα και στο βόρειο τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας

2 εκτίμηση των κλιματικών δεικτών ηπειρωτικότητας Johansson, θερμοϊσοδυναμικού Kerner, ξηρότητας de Martone και συνδυαστικού Pinna

3 κατάρτιση των θερμοϋετογραφημάτων με βάση τις μηνιαίες τιμές της κατακρήμνισης και θερμοκρασίας

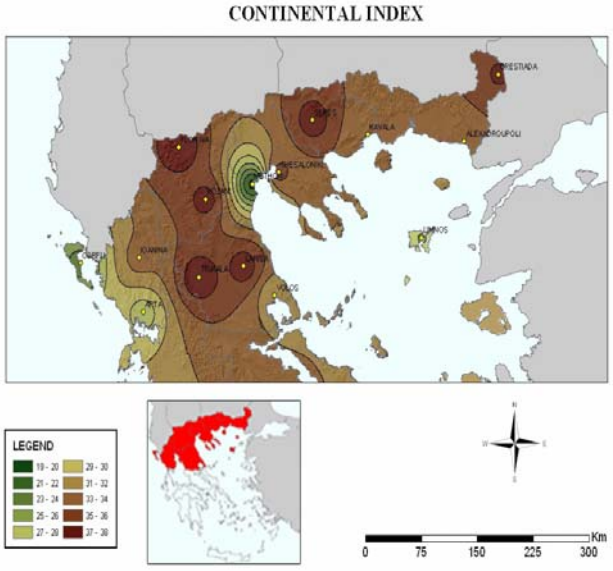
4 χρήση τεχνικών και μεθόδων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΠΣ) λαμβάνοντας υπόψη και τους περιορισμούς αυτών στην εφαρμογή στην περιοχή μελέτης, για την χωρική ολοκλήρωση των σημειακών μετρήσεων, τον υπολογισμό των μέσων επιφανειακών τιμών των προαναφερθεισών δεικτών και τη χωροχρονική απεικόνιση αυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

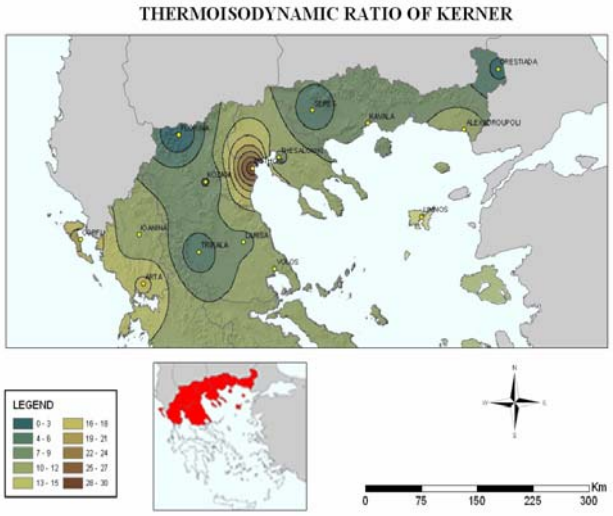
1. Δαλέζιος, Ν., Δομενικιώτης, Χ., Τζώρτζιος Σ., Λουκάς Α., Τζανετοπούλου Ι., 2000. Η

σημασία των αγρομετεωρολογικών δεικτών στην εξέλιξη της καλλιέργειας του σιταριού στην περιοχή της Λάρισας. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Βόλος.

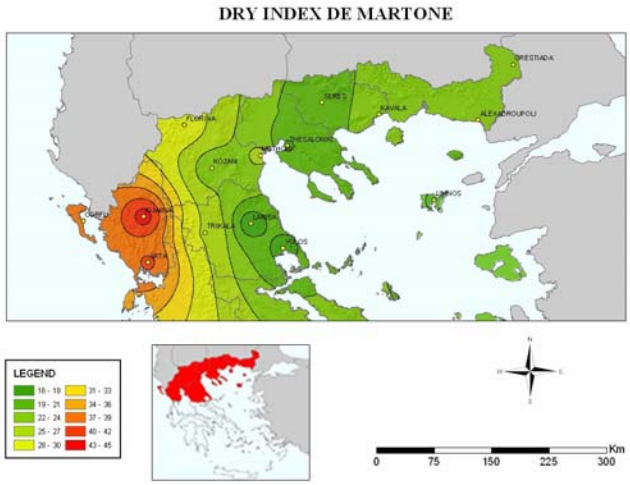
2. Dalezios, N.R. and Zarpas, C.D., 1996. The role of NDVI and meteorological indices in the phenology of cotton, vineyards and apples in Greece. Proc. of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology, N.R. Dalezios (ed.), Volos, Greece.
3. Charles-Edwards, D.A., 1984. Physiological determination of crop growth. Academic Press, Νέα Υόρκη.
4. Rosenberg, N.J. Bland, B.L., and Verma, S.B., 1983. Microclimate: The Biological Environment, Wiley, Νέα Υόρκη.
5. Wang, J. Y., 1973. Methods of Agrometeorology. Zaragoza, Spain.
6. Φλόκας Α.Α, 1994. Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
7. Χρονοπούλου – Σερέλη Α., 1996. Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.



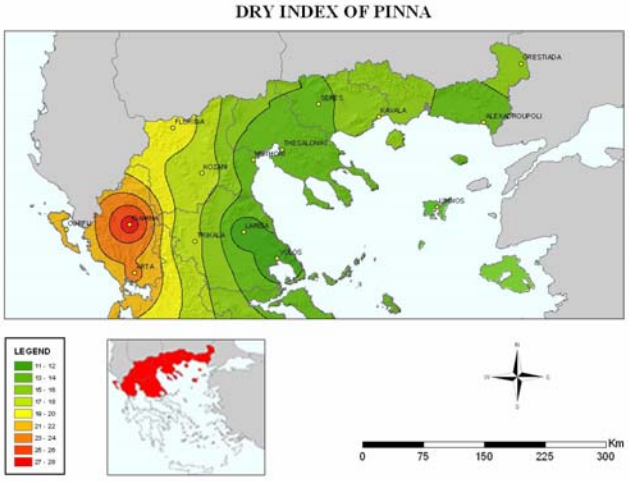
Σχήμα 2. Ο δείκτης ηπειρωτικότητας Johansson στην περιοχή μελέτης.



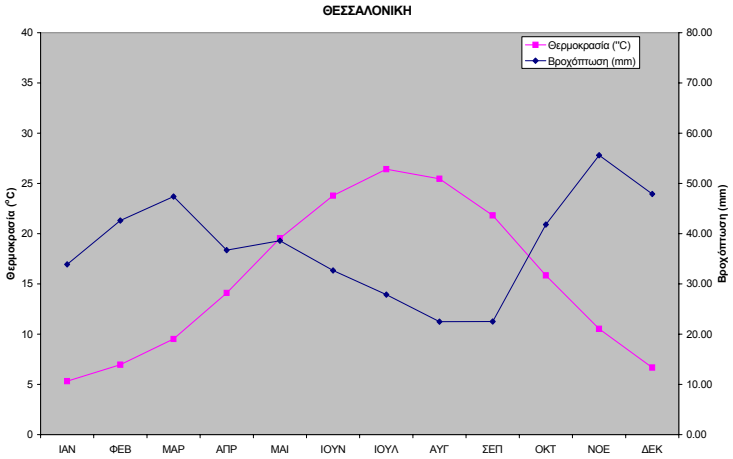
Σχήμα 3. Ο θερμοϊσοδυναμικός δείκτης Kerner στην περιοχή μελέτης.



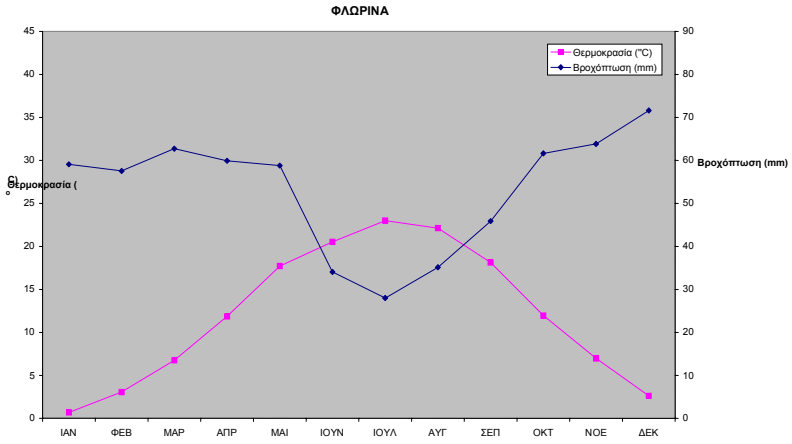
Σχήμα 4. Ο δείκτης ξηρότητας De-Martone στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 5. Ο συνδυαστικός δείκτης Pinna στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 6. Το θερμοϋετογράφημα του μετεωρολογικού σταθμού της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 7. Το θερμοϋετογράφημα του μετεωρολογικού σταθμού της Φλώριν

HORTIMED-DSS ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Α. Αναστασίου, Δ. Σάββας, Κ.Αρβανίτης, Ν. Συγριμής

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, n.sigrimis@computer.org

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η άριστη λειτουργία των υδροπονικών συστημάτων σε εμπορικά θερμοκήπια εξαρτάται κυρίως από την κατάλληλη διαχείριση των διαθέσιμων πηγών νερού, κυρίως κάτω από συνθήκες υψηλής αλατότητας, καθώς και από την άριστη διαχείριση της λίπανσης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (DSS) για την άριστη on-line διαχείριση του νερού και των λιπασμάτων σε ένα υδροπονικό σύστημα. Το σύστημα αποτελείται από δύο μέρη, ένα off-line και ένα on-line. Το on-line σύστημα, το οποίο λειτουργεί και ως εποπτικό σύστημα σε άλλα συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλίματος κα υδροπονιας, διαχειρίζεται άριστα το υδροπονικό σύστημα βασιζόμενο σε πραγματικές μετρήσεις. Το off-line σύστημα προηγείται του on-line και δέχεται ως είσοδο τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, τον εξοπλισμό του θερμοκηπίου και τα στοιχεία της καλλιέργειας που θα εφαρμοστεί και υπολογίζει την άριστη οικονομική διαχείριση των πηγών νερού. Τα αποτελέσματα του μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον παραγωγό για να αποφασίσει για τυχόν απαραίτητες επενδύσεις στις διαθέσιμες πηγές νερού (κατασκευή δεξαμενών, αγορά μηχανημάτων αφαλάτωσης κ.λ.π). Ο χρήστης μπορεί να «τρέξει» διάφορα σενάρια ώστε να αποφασίσει για τις διαθέσιμες πηγές νερού και να πετύχει τον στόχο του. Η έξοδος του of-line συστήματος εισάγεται στο on-line σύστημα ως οδηγός για την σε πραγματικό χρόνο διαχείριση του νερού και των τροφοδοτούμενων θρεπτικών συστατικών (λιπάσματα) στο σύστημα.

HORTIMED-DSS FOR ON LINE MANAGEMENT OF HYDROPONIC SYSTEMS

A. Anastasiou, D. Savvas, K. Arvaniths, N. Sygrimisi

Agricultural University of Athens, n.sigrimis@computer.org

SUMMARY

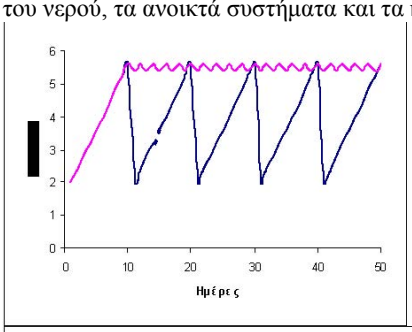
An important factor for the economically optimal operation of hydroponic systems is the appropriate management of the available water sources, especially under saline conditions, where the quality of water becomes an important and sometimes limiting factor. In this paper, the main properties of a decision support system for the optimal water management of hydroponics are presented. The system consists of two parts, an off-line and an on-line one. The on-line system implements best management based on real present. The off-line system takes as inputs weather, greenhouse equipment, crop production and salinity tolerance data and water sources available, including their cost or investment data, to estimate the optimal water management. The estimated output is used by the grower to make his decisions about required investments. decision. The outputs are also fed into the on-line system as a guide to real-time optimal predictive management of water and nutrients along the crop season.

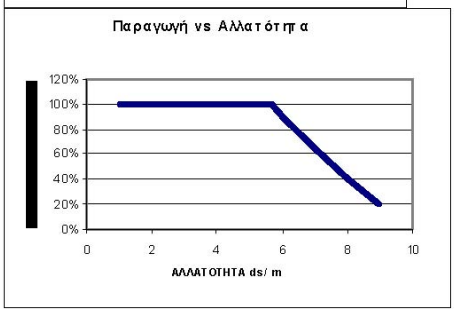
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την τελευταία δεκαετία παρουσιάζεται ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην εμπορική εφαρμογή των υδροπονικών εφαρμογών, οι κυριότεροι παράγοντες που οδήγησαν στην αύξηση αυτή είναι η καλύτερη γνώση πλέον στη θρέψη των φυτών , η ανάπτυξη της τεχνολογίας που επιτρέπει με αρκετά χαμηλό κόστος την αυτόματη παρασκευή και διαχείριση του θρεπτικού διαλύματος καθώς και η κατάργηση πλέον της χρήσης του Βρωμιούχου Μεθυλίου στην απολύμανση των εδαφών των θερμοκηπιακών καλλιεργειών για περιβαλλοντικούς λόγους.

Η υδροπονία έχει γενικά πολύ υψηλότερες απαιτήσεις σε τεχνικές γνώσεις τόσο για το φυτό όσο και για τη χρήση του τεχνολογικού εξοπλισμού από τον παραγωγό. Όσον αφορά το υπέργειο μέρος του φυτού η καλλιεργητική τεχνική και η διαμόρφωση του κλίματος, δεν διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη διαχείριση της καλλιέργειας που αναπτύσσεται σε έδαφος. Οι μεγάλες διαφορές της υδροπονίας με την καλλιέργεια στο έδαφος αφορούν τη διαχείριση του κλίματος στο ριζικό σύστημα του φυτού. Στο ριζικό σύστημα τέσσερις είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να διαχειριστεί ο χρήστης τη διαθεσιμότητα του νερού, τα θρεπτικά συστατικά, τη θερμοκρασία και το διαθέσιμο οξυγόνο. Η κατάλληλη διαχείριση τουλάχιστον των δύο πρώτων παραγόντων είναι το βασικότερο μέλημα του παραγωγού σε μία υδροπονική καλλιέργεια. Η διαχείριση του νερού συνίσταται στη ρύθμιση της δόσης άρδευσης (ml/φυτό) καθώς και της συχνότητας άρδευσης (έναρξη) ενώ όσον αφορά τα θρεπτικά συστατικά στον καθορισμό της συγκέντρωσης των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα (meq/l).

Τα υδροπονικά συστήματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την διαχείριση του νερού, τα ανοικτά συστήματα και τα κλειστά συστήματα.





Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα η διαφορά της συγκέντρωσης του θρεπτικού διαλύματος και της αντίστοιχης συγκέντρωσης απορρόφησης του στοιχείου από το φυτό (meq/απορροφούμενο λίτρο νερού) οδηγεί στη σταδιακή υποβάθμιση του ανακυκλώμενου θρεπτικού διαλύματος που εμφανίζεται είτε ως αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσης του

στοιχείου στο διάλυμα ανάλογα με το αν η διαφορά έχει θετικό ή αρνητικό πρόσημο. Στην περίπτωση που στο αρχικό νερό έχουμε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, σε σχέση με αυτές που χρειάζεται η καλλιέργεια, συνήθως ιόντων Να+ και Cl- τότε εμφανίζεται μία συνεχής αύξηση της συγκέντρωσης των στοιχείων στο ανακυκλούμενο διάλυμα λόγο χαμηλότερης απορρόφησης των στοιχείων αυτών, σε σχέση με την συγκέντρωση τους, από τη καλλιέργεια και κάποια στιγμή η αγωγιμότητα του διαλύματος θα ξεπεράσει ένα όριο, διαφορετικό για κάθε φυτό, πάνω από το οποίο η απόδοση της καλλιέργειας πλέον μειώνεται κα το διάλυμα αντικαθίσταται εξ ολοκλήρου με νέο με χαμηλότερη αγωγιμότητα. Το κλειστό σύστημα που διαχειρίζεται κατά αυτό τον τρόπο θα παρουσιάζει μία ολική συγκέντρωση αλάτων της μορφής της εικόνας 1 . Αν το υψηλότερο σημείο των καμπυλών είναι το μέγιστο όριο της επιτρεπόμενης αγωγιμότητας τότε είναι εύκολα αναγνωρίσιμο ότι η μέση αγωγιμότητα είναι σημαντικά χαμηλότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης

Το DSS βασιζόμενο στη χρήση μοντέλων απορρόφησης των θρεπτικών στοιχείων από την καλλιέργεια είναι σε θέση να εφαρμόζει καλύτερες μεθόδους διαχείρισης του θρεπτικού διαλύματος στα κλειστά συστήματα με στόχο την εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων και τη μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα «απόβλητα» του συστήματος.

Ο στόχος του DSS είναι η εφαρμογή ενός πλαισίου στρατηγικής στη διαχείριση της άρδευσης και λίπανσης των υδροπονικών καλλιεργειών με βάση την ποιότητα και ποσότητα του διαθέσιμου νερού. Οικονομικοί (ποσότητα και ποιότητα της παραγωγής) και περιβαλλοντικοί παράγοντες (ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα) λαμβάνονται υπόψη από το DSS για την εφαρμογή της κατάλληλης στρατηγικής. Αν η εμπορική αξία της παραγωγής είναι γνωστή και εισαχθεί στο σύστημα ως δεδομένα, το DSS αναζητά την περισσότερο προσοδοφόρα διαχείριση για τον παραγωγό ενώ σε αντίθετη περίπτωση η αξία της παραγωγής θεωρείται πολύ υψηλή και το σύστημα θέτει ως στόχο την μεγιστοποίηση της παραγωγής με το ελάχιστο κόστος νερού και λιπασμάτων.

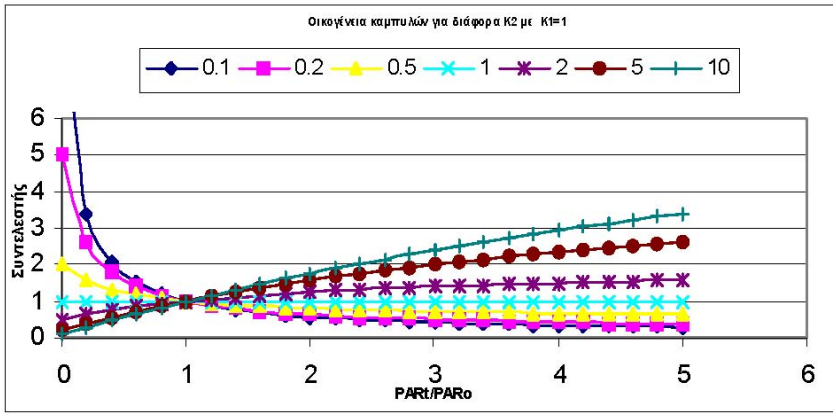
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Θεωρητικά, σε ένα κλειστό υδροπονικό σύστημα οι ολικές απαιτήσεις σε νερό ισούνται με την απορρόφηση του νερού από την καλλιέργεια λόγο διαπνοής και αύξηση της συνολικής ποσότητας του νερού που περιέχεται στους φυτικούς ιστούς

Αν ένα μέρος του ανακυκλούμενου νερού απορρίπτεται συχνά από το σύστημα και αντικαθίσταται από νέο θρεπτικό διάλυμα, τότε είναι δυνατόν να επιτευχθεί σταθερότητα στην αγωγιμότητα του διαλύματος κοντά στο μέγιστο επιτρεπτό για την καλλιέργεια όριο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC_{max} ($EC_{max} \geq$ όριο EC; Εικόνα 1). Αν η αγωγιμότητα του ανακυκλώμενου διαλύματος κρατείται κοντά στο μέγιστο ανεκτό όριο για την καλλιέργεια είναι δυνατή η μεγιστοποίηση της παραγωγής με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση νερού. Το κλάσμα του ανακυκλώμενου διαλύματος που πρέπει να απορρίπτεται για να επιτευχθεί αυτή η ισορροπία εξαρτάται από την σύνθεση του νερού της πηγής, τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος και την απορρόφηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από την καλλιέργεια.

Η αρνητική επίδραση της αλλατότητας στην παραγωγή μπορεί να αποφευχθεί ή έστω να μειωθεί μειώνοντας την διαπνοή της καλλιέργειας [2,3]. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης του DSS δέχονται ως δεδομένο το "κόστος" της αύξησης της υγρασίας ως παράγοντα που ευνοεί την ανάπτυξη ορισμένων ασθενειών, σε αντιδιαστολή με την οικονομία νερού και λιπασμάτων λόγο της μείωσης της διαπνοής και αναζητά την άριστη διαχείριση της υγρασίας στο περιβάλλον της καλλιέργειας. Πειραματικά δεδομένα του ερευνητικού προγράμματος HORTIMED χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό της απορρόφησης των στοιχείων από την καλλιέργεια καθώς και την αντίδραση της στην αύξηση της αγωγιμότητας. [4,5].

Η εφαρμογή του DSS αποτελείται από δύο συνεργαζόμενα συστήματα off-line και on-line. Το μέρος του of-line υπολογίζει την καλύτερη σχέση τιμής προς απόδοση στην διαχείριση του νερού για μία δεδομένη ετήσια καλλιεργητική περίοδο σε ένα συγκεκριμένο θερμοκήπιο (τοποθεσία, χαρακτηριστικά, εξοπλισμός) αναζητώντας μέσα από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των διαθέσιμων πηγών νερού τον συνδυασμό εκείνο που έχουμε το μέγιστο οικονομικό όφελος από πλευράς νερού και λιπασμάτων.
Οι ανάγκες σε νερό εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες, την καλλιέργεια και το στάδιο ανάπτυξης της. Το υδροπονικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί (ανοικτό ή κλειστό) δεν επηρεάζει το off-line σύστημα, διότι το ολικό νερό που θα χρειαστεί η καλλιέργεια θεωρητικά είναι το ίδιο όταν ακολουθούμε την ίδια ελάχιστη πολιτική αποβολής νερού από το σύστημα.
Όταν εφαρμόζεται κλειστό σύστημα υδροπονίας υπάρχουν κάποια τεχνικά πλεονεκτήματα διότι είναι δυνατή η εφαρμογή υπεράρδευσης για να αντισταθμιστεί τυχόν διαφορετική διαπνοή των φυτών που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, τις διαφορές στην παροχή του νερού ανά φυτό λόγο παραλακτικότητας των σταλακτήρων και κυρίως για να αποφύγουμε την αύξηση της αλλατότητας στο ριζικό περιβάλλον των φυτών ιδιαίτερα στα συστήματα που χρησιμοποιείται κάποιο υπόστρωμα.
Ο υπολογισμός της απορρόφησης στοιχείων, όπως είναι γνωστό, και διαπιστώθηκε και από τα πειράματα των συνεργατών του HORTIMED, είναι πολύ δύσκολος διότι εξαρτάται από πολλούς μηχανισμούς (παθητικός ή οσμωτικός, ανταγωνιστικός, ενεργός μεταφορά, φωτοσύνθεση) οι οποίοι επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες (κατάσταση στομάτων και ένταση διαπνοής, προηγούμενη φυσιολογική κατάσταση και συγκέντρωση του στοιχείου στα φύλλα κ.α.).



Για την έκφραση της απορρόφησης χρησιμοποιήθηκε κυρίως η μορφή της εξίσωσης $y = \frac{k_1 + k_2 x}{k_2 + x}$ η οποία έχει τη δυνατότητα να εκφράσει αυξητικές (πχ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση στη ρίζα C, και την ένταση ακτινοβολίας) και πτωτικές τάσεις (πχ σε συνάρτηση με την ένταση διαπνοής E), Εικόνα 3. Το συνολικό μοντέλο της συγκέντρωσης απορρόφησης έχει τη μορφή μηχανιστικού μοντέλου, της μορφής της επόμενης εξίσωσης 1:
Όπου: C=συγκέντρωση στη ρίζα (meq/l), C_U=συγκέντρωση στον ανοδικό χυμό (meq/l), E= διαπνοή ml/sec/φυτό, NE= ένταση διαπνοής ml/sec/cm^2 = E/LAI, R=ακτινοβολία W/m^2. Οι

δείκτες είναι t=χρονική στιγμή, 0=στανταρντ (ή γνωστές)

$$C_{U,x} = k_{x,0}\left[\frac{1+k_{x,C}\left[C_t/C_0\right]}{k_{x,C}+\left[EC_t/EC_0\right]}\right]\left[\frac{1+k_{x,E}\left[E_t/E_0\right]}{k_{x,E}+\left[NE_t/NE_0\right]}\right]\left[\frac{1+k_{x,P}\left[R_t/R_0\right]}{k_{x,P}+\left[R_t/R_0\right]}\right]$$

συνθήκες, x=θρεπτικό στοιχείο x.

Για τον τρίτο όρο της εξίσωσης που συσχετίζεται με τη φωτοσύνθεση θεωρείται ότι αυτή η συσχέτιση είναι η πιο δύσκολη να ελεγχθεί, λόγω του ότι η φωτοσύνθεση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες δύσκολους να μετρηθούν σε εμπορικά θερμοκήπια. Μία πρώτη προσέγγιση που δίνει και την δυνατότητα καλύτερου ελέγχου της μη γραμμικότητας της λειτουργίας αυτής (καλύτερη απόδοση στις χαμηλές τιμές ακτινοβολίας και κορεσμός στις υψηλές) είναι και η αποδοχή τριών παραμέτρων στην μορφή: $\left[\frac{k_1+k_{2,1}*\left[R_t/R_0\right]}{k_{2,2}+\left[R_t/R_0\right]}\right]$

Όπου: $k_1/k_{2,2}$ ορίζει το σημείο έναρξης, $k_{2,1}$ ορίζει το άνω όριο κορεσμού της φωτοσύνθεσης και $k_{2,2}$ ορίζει το σημείο καμπής της συνάρτησης (ή την ταχύτητα ανόδου, σταθερά των Michaelis-Menton). Σημειωτέον ότι η εξίσωση αυτή εκφράζει απόλυτα και τη σχέση που δοκίμασαν οι Mankin and Fynn 1996, οι οποίοι έδωσαν την χαρακτηριστική σχέση απορρόφησης με βάση την υπερβολή των Michaelis-Menton (όπου $k_1=0$, $k_{2,1}=P_{max,}$ και $R_0 k_{2,2}=k_m$).

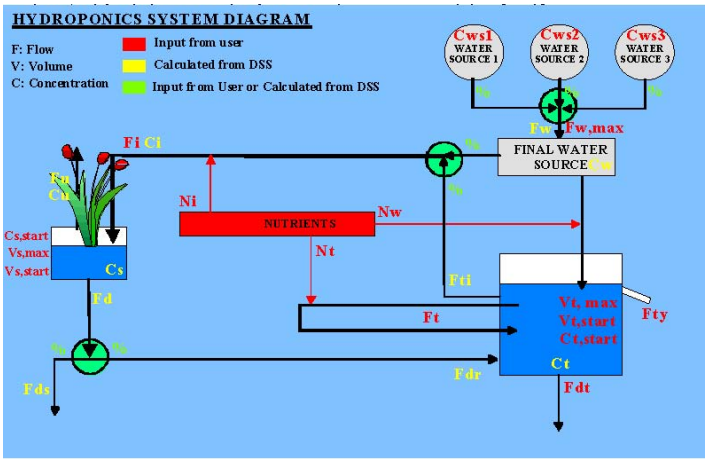
$$U_{t1,x}^{t2} = \int_{t1}^{t2} C_{U,x} * E_t dt$$

Η στιγμιαία απορροφούμενη ποσότητα κάθε στοιχείου είναι $U_{x,t} = C_{U_x} * E_t$ (meq/sec/φυτό) και η αθροιστικά απορροφούμενη:

Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ DSS

Η εφαρμογή χρησιμοποιεί γενικά μαθηματικά μοντέλα (οριζόμενα από τον χρήστη) για τον υπολογισμό-εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης των κύριων θρεπτικών στοιχείων από την καλλιέργεια. Με βάση την υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή και απορρόφηση στοιχείων η εφαρμογή υπολογίζει ανά δευτερόλεπτο, με χρήση ισοζυγίων μάζας, το εκάστοτε νερό που περιλαμβάνει το σύστημα και τη σύσταση του (περιεκτικότητα σε στοιχεία) στα διάφορα υποσυστήματα του. Ταυτόχρονα υπολογίζει τις εισροές και εκροές του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από το σύστημα.

Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να λειτουργεί είτε ως εξομοιωτής ενός υδροπονικού συστήματος είτε να λειτουργεί ως εποπτεύον σύστημα σε άλλα υπολογιστικά συστήματα ελέγχου υδροπονίας. Στην Εικόνα 4 απεικονίζεται ένα γενικό σύστημα υδροπονίας στο οποίο βασίζεται η εφαρμογή, όπου απεικονίζονται όλες οι δυνατές ροές (νερού, στοιχείων) που είναι δυνατόν να έχει ένα υδροπονικό σύστημα. Ένα τυπικό υδροπονικό σύστημα είναι συνήθως μέρος του παρακάτω διαγράμματος. Στο διάγραμμα αυτό με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα δεδομένα που πρέπει να εισάγει ο χρήστης. Με κίτρινο τα δεδομένα που υπολογίζονται από την εφαρμογή και με πράσινο τα δεδομένα που είτε μπορεί να καθορίσει ο χρήστης είτε υπολογίζονται από την εφαρμογή ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας της.



Εικόνα 4. Κύριοι παράμετροι και υποσυστήματα ενός υδροπονικού συστήματος

Σε ένα υδροπονικό σύστημα θα πρέπει να καθοριστούν:
Ανοικτό ή κλειστό σύστημα. Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να διαχειρίζεται και ημίκλειστα συστήματα, δηλαδή ανάλογα με τις συνθήκες (ή και επιθυμίες του χρήστη) ποσοστό της απορροής από τα φυτά να εξέρχεται του συστήματος και να μην επιστρέφει στην δεξαμενή ανακύκλωσης. Το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι από 0% (τελείως κλειστό σύστημα) έως 100% (τελείως ανοιχτό σύστημα).
Σε ένα σύστημα υδροπονίας πρέπει επίσης να καθοριστεί η μέθοδος προσθήκης των θρεπτικών στοιχείων στο διάλυμα. Οι μέθοδοι αυτές μπορεί να είναι τρεις:

1 Προσθήκη των στοιχείων στην γραμμή άρδευσης κατά την ώρα της άρδευσης. (Σύστημα Ni). Πρόκειται για την αποκλειστική μέθοδο προσθήκης για τα ανοικτά συστήματα. Μπορεί όμως να εφαρμοστεί και στα κλειστά συστήματα με δεξαμενή ανακύκλωσης. Στην περίπτωση αυτή η εφαρμογή γνωρίζοντας την σύσταση και άρα και την αγωγιμότητα του νερού ή διαλύματος που περνά από την γραμμή άρδευσης προσθέτει την ανάλογη ποσότητα λιπασμάτων (οι αναλογίες καθορίζονται από την συνταγή) ώστε να επιτύχει μία συγκεκριμένη επιθυμητή αγωγιμότητα.

2 Προσθήκη των στοιχείων στην δεξαμενή ανακύκλωσης (Σύστημα Nt). Πρόκειται για την τυπική μέθοδο προσθήκης των θρεπτικών στοιχείων σε ένα κλειστό σύστημα. Στην περίπτωση αυτή μία αντλία ανακυκλώνει διάλυμα από την δεξαμενή και με δοσομετρικές αντλίες ή Venturi προστίθενται θρεπτικά στοιχεία (σε αναλογίες καθοριζόμενες από την συνταγή) ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο της αγωγιμότητας στην δεξαμενή.

3 Προσθήκη των στοιχείων στο νερό που επαναπληρώνει την δεξαμενή ανακύκλωσης (Σύστημα Nw). Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ποιο σπάνια και μόνο στα κλειστά συστήματα. Με την μέθοδο αυτή η δεξαμενή ανακύκλωσης γεμίζει με διάλυμα συγκεκριμένης σύστασης και αγωγιμότητας (όσο η επιθυμητή).

Εισροή νερού στο σύστημα γίνεται μόνο από τις βασικές πηγές νερού που διαθέτει το σύστημα. Σε ένα τυπικό σύστημα πηγή νερού είναι συνήθως μία γεώτρηση, πολλές φορές όμως είναι δυνατόν το νερό να προέρχεται από κάποιο δίκτυο διανομής νερού ή μία δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού και σε ποιο σπάνια περίπτωση από μηχανήματα αφαλάτωσης. Συνήθως υπάρχουν παραπάνω από μία πηγές νερού, μία πηγή θεωρητικά ανεξάντλητη (γεώτρηση,

δίκτυο) και μία πηγή περιορισμένη (δεξαμενή, μηχανήματα αφαλάτωσης). Ο αριθμός των βασικών πηγών νερού που διαχειρίζεται η εφαρμογή είναι μέχρι τρεις.
Εκροές νερού από το σύστημα αποτελούν:

FiFdtWATERCws3WATERCws2WATERCws1Vt,startVs,startVs,maxNwNtNiFtVt, maxFw,maxCs,startCt,startFtyΣύμβολο	Περιγραφή	
Fw	Παροχή της τελικής μίξης των πηγών νερού m3/h	Υπολογίζεται
Fw,max	Μέγιστη δυνατή παροχή της τελικής μίξης των πηγών νερού m3/h	Καθορίζεται από το χρήστη
Fi	Παροχή του τελικού θρεπτικού διαλύματος σε lt/h/plant	Καθορίζεται από το χρήστη
Fu	Εξατμισοδιαπνοή	Υπολογίζεται
Fd	Απορροή της καλλιέργειας (m3/h)	Υπολογίζεται
Fds	Το ποσοστό της απορροής που εξέρχεται από το σύστημα (m3/h)	Υπολογίζεται
Fdr	Το ποσοστό της απορροής που επιστρέφει στην δεξαμενή ανακύκλωσης (m3/h)	Υπολογίζεται
Fdt	Παροχή εκκένωσης της δεξαμενής (με αντλία η φυσική ροή m3/h)	Καθορίζεται από το χρήστη
Fty	Παροχή από την υπερχείλιση της δεξαμενής (m3/h)	Υπολογίζεται
Ft	Παροχή ανακυκλοφορίας της δεξαμενής για τα συστήματα με μέθοδο προσθήκης θρεπτικών τύπου Nt.	Καθορίζεται από το χρήστη
Fti	Παροχή από την δεξαμενή προς την αναμικτική βαλβίδα της γραμμής άρδευσης	Υπολογίζεται
Cwsx	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στην βασική πηγή νερου x (meq/l)	Καθορίζεται από το χρήστη
Cw	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στην τελική πηγή νερού που προέρχεται από την μίξη των βασικών πηγών (meq/l)	Υπολογίζεται
Ci	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στην γραμμή άρδευσης (meq/l)	Υπολογίζεται
Cu	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στο νερό που απορροφάται από τα φυτά (meq/l)	Υπολογίζεται
Cs	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στο υπόστρωμα (meq/l)	Υπολογίζεται
Ct	Συγκέντρωση του θρεπτικού στοιχείου στη δεξαμενή ανακύκλωσης (meq/l)	Υπολογίζεται

α. Η εξατμισοδιαπνοή (Fu)

b. Το ποσοστό της απορροής από το υπόστρωμα που εξέρχεται του συστήματος Fds
c. Από την εκκένωση της δεξαμενής ανακύκλωσης (αν υπάρχει) Fdt
d. Από την υπερχείλιση της δεξαμενής ανακύκλωσης (αν υπάρχει) Fdy

Σε ένα κλειστό ή ημίκλειστο σύστημα το διάλυμα τροφοδοσίας των φυτών αντλείται από την δεξαμενή ανακύκλωσης και είτε στέλνεται στα φυτά ως έχει (Σύστημα Nt και Nw) ή διαμορφώνεται στην γραμμή άρδευσης (Σύστημα Ni). Η εφαρμογή έχει επίσης την δυνατότητα να διαχειρίζεται την δεξαμενή ανακύκλωσης και ως πηγή. Δύνεται η δυνατότητα στον χρήστη το διάλυμα τροφοδοσίας να αποτελεί μίξη ενός ποσοστού από την δεξαμενή ανακύκλωσης και ενός ποσοστού από τις βασικές πηγές νερού, και η περαιτέρω διαμόρφωση του ή όχι στην γραμμή άρδευσης.

Πίνακας 1. Περιγραφή των συμβόλων της Εικόνας 4.

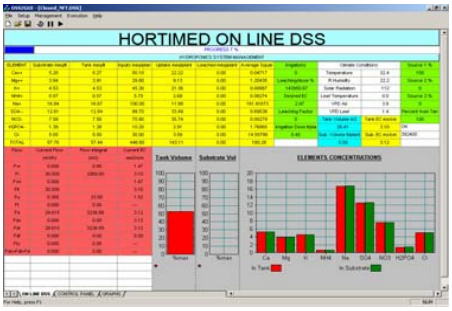
Η εφαρμογή θεωρεί ότι δύνανται να υπάρχουν τρεις αναλογικές βαλβίδες μίξης ή διαχωρισμού του διαλύματος. Στην Εικόνα 4 εντοπίζονται με το πράσινο κύκλο. Η πρώτη από αυτές καθορίζει το ποσοστό ανάμιξης του νερού από τις τρεις βασικές πηγές νερού προς μία τελική πηγή νερού (FINAL WATER SOURCE).Η δεύτερη καθορίζει το ποσοστό ανάμιξης του διαλύματος τροφοδοσίας ως ένα ποσοστό από την δεξαμενή ανακύκλωσης και ένα ποσοστό από την τελική πηγή βασικού νερού. Η τρίτη βαλβίδα έχει ως είσοδο την απορροή της καλλιέργειας την οποία διαχωρίζει. Ο διαχωρισμός συνίσταται στο ποσοστό της απορροής που θα εξέλθει από το σύστημα (Fds=100% στο ανοικτό) και στο ποσοστό της απορροής που θα επιστρέψει στην δεξαμενή ανακύκλωσης (Fdr=100% στο κλειστό). Η βαλβίδα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία ρυθμιζόμενη έξοδος νερού από το σύστημα σε ένα κλειστό ή ημίκλειστο σύστημα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η εκροή από το ποιο «επιβαρημένο» σημείο του συστήματος ενός μόνιμου ποσοστού του ανακυκλώμενου νερού ρυθμιζόμενο ανάλογα με τις συνθήκες και επιθυμίες του χρήστη.

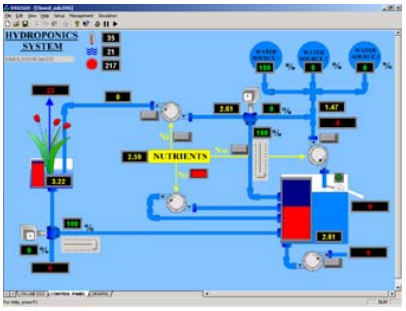
Οι οθόνες της εφαρμογής

Η εφαρμογή αποτελείται από τρεις οθόνες. Η πρώτη οθόνη είναι τύπου λογιστικού φύλλου EXCEL και απεικονίζει όλα τα δεδομένα που υπολογίζει και διαχειρίζεται η εφαρμογή. Τα στοιχεία που μπορεί να δει ο χρήστης στην οθόνη αυτή είναι:

Θρεπτικά στοιχεία: Για τα Ca++, Mg++,K+ , NH4+ ,Na+ ,SO4-- , NO3- , H2PO4- , Cl- απεικονίζεται η συγκέντρωση τους στο υπόστρωμα σε meq/lt, η συγκέντρωση τους στη δεξαμενή ανακύκλωσης σε meq/lt, η ολική είσοδος του στοιχείου στο σύστημα από της πηγές νερού και τα λιπάσματας σε meq/plant, η ολική απορρόφηση του στοιχείου από την καλλιέργεια σε meq/plant, η ολική εκροή του στοιχείου από το σύστημα σε meq/plant και τέλος το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της συγκέντρωσης του στοιχείου στο υπόστρωμα από την επιθυμητή τιμή.

Ροές του διαλύματος: Απεικονίζονται η εκάστοτε παροχή σε m^3/h, το ολοκλήρωμα της ροής αυτής σε m^3 και η εκάστοτε Ηλεκτρική Αγωγιμότητα για τα κάτωθι σημεία του συστήματος.





Είσοδος του νερού στο σύστημα από τις βασικές πηγές **Fw**. Παροχή της γραμμής άρδευσης **Fi**. Παροχή της γραμμής άρδευσης που προέρχεται από την τελική πηγή νερού **Fwi** (Fwi=Fi στα ανοικτά συστήματα ενώ Fwi=0 στα κλειστά συστήματα). Παροχή της γραμμής άρδευσης που προέρχεται από την δεξαμενή ανακύκλωσης **Fti** (Fti=Fi στα κλειστά συστήματα ενώ Fti=0 στα ανοικτά συστήματα).Εξατμισοδιαπνοή **Fu**. Παροχή ανακύκλωσης της δεξαμενής για την προσθήκη θρεπτικών **Ft** (στα συστήματα Nw). Απορροή της καλλιέργειας **Fs**. Το μέρος της απορροής που εξέρχεται από το σύστημα **Fds** Το μέρος της απορροής που επιστρέφει στην δεξαμενή ανακύκλωσης **Fdr** Η παροχή εκκένωσης της δεξαμενής ανακύκλωσης **Fdt.**

Η παροχή υπερχείλισης της δεξαμενής ανακύκλωσης **Fdy** **Ογκους:** Απεικονίζονται ο συνολικός όγκος του διαλύματος στην δεξαμενή ανακύκλωσης σε m^3 **Vt** καθώς και ο όγκος του νερού στο υπόστρωμα σε lt/plant **Vs**. Ταυτόχρονα απεικονίζονται και οι αντίστοιχες αγωγιμότητες **ECt** και **ECs**.

Κλιματικές συνθήκες: Απεικονίζονται η εκάστοτε τιμές της Θερμοκρασίας oC, Υγρασίας, % Ηλιοφάνειας W/m2, Θερμοκρασία του φύλλου oC, VPD του αέρα σε KPascal και το VPD του φύλλου σε KPascal.

Επιπρόσθετα στοιχεία: Ο αριθμός των αρδεύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί, το ποσοστό της απορροής σε % (απορροή/δόση άρδευσης), Η επιθυμητή αγωγιμότητα, το ποσοστό εκροής από το σύστημα της απορροής της καλλιέργειας Leaching Factor (Fds=Leaching Factor * Fd) και τέλος η δόση άρδευσης σε lt/plant.

Η δεύτερη οθόνη της εφαρμογής αποτελεί ένα μιμικό διάγραμμα που απεικονίζει τη λειτουργία του συστήματος. Στο διάγραμμα απεικονίζονται τα βασικότερα στοιχεία του συστήματος ενώ ταυτόχρονα ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επέμβει στην λειτουργία χρησιμοποιώντας τα εργαλεία ελέγχου που απεικονίζονται. Τα βασικά στοιχεία εμφανίζονται με την μορφή αριθμών

μέσα σε κουτάκια. Τα κουτάκια με κόκκινο χρώμα στους αριθμούς εκφράζουν τα ολοκληρώματα των ροών του διαλύματος στα βασικά υποσυστήματα της εφαρμογής, τα κουτάκια με κίτρινο χρώμα απεικονίζουν την εκάστοτε ηλεκτρική αγωγιμότητα στο σημείο του συστήματος που βρίσκονται, τα κουτάκια με πράσινο χρώμα απεικονίζουν τις ποσοστιαίες μεταβλητές του συστήματος ενώ τέλος τα κουτάκια με άσπρο χρώμα απεικονίζουν τις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες.

Στην οθόνη υπάρχουν επίσης 6 κουμπιά ελέγχου των διαφόρων υποσυστημάτων (εκφράζουν κυρίως λειτουργία αντλιών) και 2 μπάρες κύλισης που ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα ποσοστά εκροής της απορροής από το σύστημα και το ποσοστά μίξης του νερού στην γραμμή άρδευσης από την δεξαμενή και την τελική πηγή νερού.

Η τρίτη οθόνη του συστήματος αποτελείται από 16 κυλιόμενα διαγράμματα γραμμής που απεικονίζουν διαγραμματικά ορισμένα από τα στοιχεία της εφαρμογής. Στα διαγράμματα απεικονίζονται κάθε φορά οι τελευταίες 300 τιμές των βασικών δεδομένων της εφαρμογής.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρουσιάστηκε ένα Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων για την on-line διαχείριση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων σε ένα υδροπονικό σύστημα. Η αποφάσεις του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον παραγωγό για να αποφασίσει τυχόν απαραίτητες επενδύσεις. Ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει πολλαπλά σενάρια μέχρι να βρεθεί το κατάλληλο σενάριο διαχείρισης για την επιχείρηση του. Τα αποτελέσματα επίσης ενθαρρύνουν ορθολογική χρήση των λιπασμάτων κάνοντας την καλλιέργεια φιλικότερη προς το περιβάλλον.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υποστηρίχθηκε από το ερευνητικό πρόγραμμα Πυθαγόρας του Υπουργείου Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

D'Amico M.L., Izzo, R., Tognoni, F., Pardossi, A. and Navari-Izzo, F. 2003. Sea water irrigation: antioxidants and quality of tomato berries. In: ISHS Conference on Salinity, Pisa, Italy, July 10-12.

Heuvelink E., Bakker, M. and Stanghellini, C. 2003. Salinity effects on fruit yield in vegetable crops: a simulation study. In: ISHS Conference on Salinity, Pisa, Italy, July 10-12.

Li Y.L., Stangellini, C. and Challa, H. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato. Scientia Horticulturae 88(1): 11-29.

Lorenzo P., Sαnchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., Garcνa, M.L., Caparrσs, I. and Gimınez, M. 2003. External greenhouse mobile shading: effect on microclimate, water use efficiency and yield of a tomato crop grown under different salinity levels of the nutrient solution. In: ISHS Conference on Salinity, Pisa, Italy, July 10-12.

ΠΟΛΥΠΡΑΚΤΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Δ. Λάμπρου, Α. Αναστασίου, Η. Βαρλάγκας, Κ. Αρβανίτης, Ν. Συγριμής
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ
Στην εργασία αυτή περιγράφεται ο σχεδιασμός ενός πολύ-πρακτορικού συστήματος <ΠΠΣ> για την ολοκληρωμένη διαχείριση της θερμοκηπιακής παραγωγής. Το σύστημα ενισχύει την ολοκληρωμένη διαχείριση της παραγωγής με στόχο την ποιότητα και ποσότητα του προϊόντος, ελαχιστοποιώντας το κόστος των πόρων και των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων. Κύριος στόχος είναι ο ευφυής ολοκληρωμένος έλεγχος και η διαχείριση, αερίου και ριζικού περιβάλλοντος σε υδροπονικές καλλιέργειες, από πράκτορες λογισμικού που διαπραγματεύονται και πράττουν σε εποπτικό επίπεδο. Τα συμβατικά συστήματα διαχείρισης έως τώρα, βασίζονται σε χαμηλού επιπέδου, στατικούς, προκαθορισμένους στόχους και δεν λαμβάνουν υπόψιν τις αλληλεπιδράσεις των επιμέρους διεργασιών ή το υλοποιούν με μη συστηματικό, εξειδικευμένο τρόπο.

MULTIAGENT SYSTEMS FOR INTEGRATED MANAGEMENT

D. Labrou, A. Anastasiou, H. Barlagas, K. Arvaniths, N. Sygrimis

Agricultural University of Athens, n.sigrimis@computer.org

SUMMARY
The design of a multi-agent system <MAS> for integrated management of greenhouse production is described. The model supports the integrated greenhouse production, with targets set to quality and quantity of produce with the minimum possible cost in resources and environmental consequences. The main goal is the Integrated Crop Management (ICM) of root-zone and aerial environment of the cultivated plants, through the cooperative actions of software agents, which bargain at the supervisory level. The conventional management systems have the drawbacks of being based on low level, static, user-defined goals, as they do not take into account the interactions between processes or they do it either in the LQG domain or in a non-systematic ad-hoc way.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιολογικά συστήματα, στα νοήμοντα περιβάλλοντα, αποτελούνται από πολύπλοκες, και όχι πλήρως καθορισμένες, αλληλοεξαρτώμενες διεργασίες. Τα συστήματα αυτά συνήθως διαχειρίζονται με τεχνικές βέλτιστου ελέγχου εφαρμοσμένες σε κάθε επιμέρους διεργασία (Linker *et al*., 1999; Pasgianos *et al*., 2003) και όχι σε όλο το σύστημα σαν οντότητα. Μερικές προσπάθειες να προσεγγιστεί το πολυμεταβαλλόμενο πρόβλημα της βελτιστοποίησης στον LQ τομέα (Sigrimis and Philipopoulos, 1984; Young *et al*., 1994; van Straten *et al*., 2000) μπορούν μόνο να καλύψουν ένα μικρό τμήμα του αρχικού προβλήματος.

Πολλές μέθοδοι της τεχνητής νοημοσύνης εφαρμόστηκαν για την προσομοίωση και έλεγχο των βιολογικών συστημάτων, όπως προσομοίωση των κλιματικών παραμέτρων ενός θερμοκηπίου σε νευρωνικά δίκτυα (Seginer *et al*., 1994) ή υδροπονικών παραμέτρων (Ferentinos and Albright, 2002) καθώς και συνδυασμοί νευρωνικών δικτύων και γενετικών αλγορίθμων, για έλεγχο και διάγνωση σφαλμάτων στην υδροπονία (Ferentinos and Albright, 2003; Ferentinos *et al*., 2003). Η χρησιμοποίηση μόνο των επιμέρους διεργασιών ενός συστήματος, και ιδιαίτερα όταν οι πράξεις των διεργασιών αυτών συγκρούονται μεταξύ τους όπως στην περίπτωση ελέγχου του κλίματος και της υδροπονίας σε ένα θερμοκήπιο, δεν οδηγεί απαραίτητα στη βέλτιστη λύση. Ο καθορισμός επιθυμητών τιμών και περιορισμών για τον έλεγχο τέτοιων συστημάτων είναι δύσκολη και προβληματική διαδικασία. Επιπλέον, κάθε διεργασία μπορεί να επηρεάζει με διαφορετικό και μεταβαλλόμενο βαθμό το σύστημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, κάθε διεργασία μπορεί να διαθέτει το δικό της τοπικό δυναμικό σύστημα ελέγχου, βελτιστοποιημένο για τον στόχο της συγκεκριμένης διεργασίας, που καθορίζεται σε ένα γενικό περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψιν την τελική έξοδο του συστήματος. Μία προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση τέτοιων συστημάτων θα μπορούσε να είναι η χρήση τεχνικών όπως ο αλγόριθμος εκμάθησης backpropagation (Rumelhart *et al*., 1986) και reinforcement learning (εκμάθηση με ενίσχυση) (Kaelbling *et al*., 1996). Μία άλλη προσέγγιση, παραδοσιακή αλλά σχεδόν ίδια για τον τομέα ελέγχου, είναι η ανάπτυξη αλληλεπιδρόμενων μεταβλητών για όλες τις επιμέρους διεργασίες, που παράγει ένα ιεραρχικό, βασισμένο σε κανόνες, σύστημα όπως εφαρμόζεται συνήθως σε συστήματα μεγάλης κλίμακας. Απεναντίας, η πολυπρακτορική μέθοδος (Talukdar *et al*., 1992; Sykara, 1993; Stone and Veloso, 2000) σχηματίζει ένα μη-δομημένο περιβάλλον, χρησιμοποιώντας τους κατά κόσμον αποκαλούμενους πράκτορες, καθένας από τους οποίους αντιπροσωπεύει μία επιμέρους διεργασία και τους τοπικούς στόχους αυτής. Οι πράκτορες, προκειμένου να επιτευχθεί η γενική βελτιστοποίηση όλου του συστήματος, πρέπει να είναι ικανοί να συναλλάσσονται απόψεις και να επιτυγχάνουν συμφωνίες μεταξύ τους, που υλοποιούνται χρησιμοποιώντας κοινή φρασεολογία και λεξιλόγιο, πεπερασμένη ανταλλαγή πληροφοριών, πεπερασμένες πιθανές πράξεις, κτλ (Kelemen and Kelemenova, 1992). Η επιρροή κάθε πράκτορα εξαρτάται από την συνεισφορά της διεργασίας, που αναπαριστά, για την επίτευξη του στόχου όλου του συστήματος. Κάθε πράκτορας επικοινωνεί με το «περιβάλλον» και προσαρμόζει την εσωτερική του κατάσταση και στη συνέχεια την κατάσταση όλου του συστήματος.

Τα Πολύ-Πρακτορικά Συστήματα (ΠΠΣ) βασίζονται στην ιδέα της κατανομής διεργασιών μέσω αυτόνομων υπολογιστικών εργαλείων. Οι Da Silva και de Lucena (2003) πρότειναν ένα νοητικό πλαίσιο που καθορίζει τη δομή και τη δυναμική τέτοιων συστημάτων. Το πλαίσιο βασίζεται στην ευρέως διαδεδομένη γλώσσα UML (Unified Modelling Language) ώστε να ενσωματώνει ιδέες και πρακτικές στην θεωρία των ΠΠΣ, δημιουργώντας μία εναλλακτική γλώσσα μοντελοποίησης των ΠΠΣ (MAS-ML, Multi-Agent Systems Modeling Language). Ο προσδιορισμός των διαδραστικών μηχανισμών μεταξύ πρακτόρων μέσω της γλώσσας επικοινωνίας και του λεξιλογίου είναι ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία. Ο Finin και οι συνεργάτες του (1992) εισήγαγαν την KQML (Knowledge Query and Manipulation Language), μία γλώσσα και πρωτόκολλο που υποστηρίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ έξυπνων πρακτόρων

μίας κατανεμημένης εφαρμογής, προσπαθώντας να καθορίσουν το φάσμα του και παρέχοντας ένα μοντέλο για το πώς θα χρησιμοποιηθεί. Οι Labrou και Finin (1994) ερεύνησαν την σημασιολογία της KQML και πρότειναν ένα εννοιολογικό πλαίσιο για την προσέγγισή τους. Πρόσφατα ο d'Inverno και συνεργάτες του (2004) παρουσίασαν την αρχιτεκτονική dMARS που επεκτείνει το Σύστημα Διαδικαστικού Συλλογισμού (Procedural Reasoning System (PRS)) όπου έως τώρα έχει εδραιωθεί, που επιτρέπει πολυπρακτορικές εφαρμογές να αναπτύσσονται εύκολα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισης για μελλοντικές προσθήκες και υλοποιήσεις.

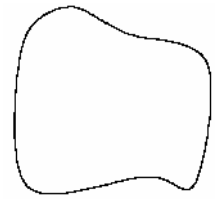
ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Π.Π.Σ.

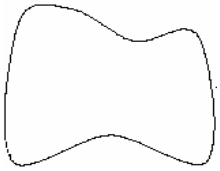
Τα Πολύ-Πρακτορικά Συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως θέματα ελέγχου στη ρομποτική, κατανεμημένα συστήματα στις τηλεπικοινωνίες, έξυπνα συστήματα ηλεκτρονικού εμπορίου, εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης κ.τ.λ. Πρόσφατα ΠΠΣ υλοποιήθηκαν και για βιολογικές και γεωργικές εφαρμογές. Οι Rousu και Aarts (2001) παρουσίασαν την προσέγγισή τους μέσω του Sophist, ένα σύστημα προσαρμοστικού σχεδιασμού σύνθεσης θρεπτικών διαλυμάτων που ενσωματώνει συλλογισμούς κατά συνθήκη, για τον σχεδιασμό και βελτιστοποίηση βιο-διαδικασιών που ίσως να καλυτερεύσουν την προσαρμοστικότητα του συστήματος. Οι Perini και Susi (2002) υιοθέτησαν την μεθοδολογία Tropos, που περιγράφεται από τον Perini και συνεργάτες του (2001) και από τον Giunchiglia και συνεργάτες του (2001), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη πολυπρακτορικών εφαρμογών λογισμικού, προκειμένου να σχεδιαστεί ένα ΠΠΣ για την λήψη αποφάσεων από τεχνικούς, μίας υπηρεσίας παροχής γεωργικών συμβουλών, κατά τη διαχείριση φυτό-ασθενειών. Οι Davidsson και Wernstedt (2002) εισήγαγαν την θεωρία και υλοποίηση πρακτόρων, κατηγοριοποιώντας και περιγράφοντας τους πράκτορες σε σχέση με τα καθήκοντά τους ως αντιδραστικοί (reactive), διαβουλευτικοί (deliberative), υβριδικοί (hybrid) και wrapper πράκτορες.

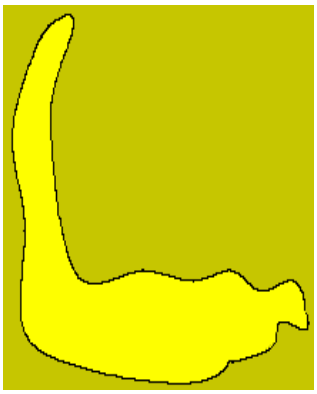
Οι Badjonski και Ivanovic (2000) κατά την υλοποίηση του ΠΠΣ τους προσπάθησαν να μιμηθούν ομάδες ανθρώπινων ειδικών για τον καθορισμό του βέλτιστου υβριδίου στην παραγωγή καλλιέργειας. Οκτώ μονάδες πρακτόρων απαρτίζουν την αρχιτεκτονική του συστήματος, οι: πράκτορας κλίματος (Climate-agent), πράκτορας ομάδας (Group-agent), πράκτορας επιδίωξης (Purpose-agent), πράκτορας αξιολόγησης (Evaluator-agent), πράκτορας εδάφους (Soil-agent), πράκτορας ασθενειών και εντόμων (Disease-and-Pests-agent), πράκτορας μηχανοκίνησης (Mechanization-agent) και πράκτορας διεπαφής (Interface-agent), ανταλλάσσοντας μηνύματα μεταξύ τους μέσω ενός απλού σχήματος επικοινωνίας. Συγκρίνοντάς το με τον, βασισμένο σε προκαθορισμένους κανόνες, προκάτοχό του δεν παρατηρήθηκε διαφορά στην επίδοση του συστήματος, αλλά πλεονέκτησε στον σχεδιασμό και τροποποίηση του συστήματος και στην οργάνωση της διαδικασίας ανάπτυξης. Στον τομέα της διαχείρισης θερμοκηπίων, ο Prada και συνεργάτες του (2004) περιέγραψαν την βασισμένη σε πράκτορες εφαρμογή τους (BeLife) που προσομοιώνει την διαχείριση της εξέλιξης του φυτού σε θερμοκήπιο και ονόμασαν την πλατφόρμα ανάπτυξης της εξομοίωσης των πρακτόρων ION-Framework. Το σύστημα BeLife σχεδιάστηκε ως εκπαιδευτικό εργαλείο για την διδασκαλία της διαχείρισης θερμοκηπίου, με το οποίο οι μαθητές μπορούν να ερευνήσουν και να τροποποιήσουν ορισμένες συνθήκες και στοιχεία του περιβάλλοντος με συμπρακτικές μεθόδους. Στο ίδιο πεδίο δράσης οι Goggos και King (2000) παρουσίασαν μία τεχνική κατάτμησης της διαδικασίας διαχείρισης θερμοκηπίου σε υπο-διεργασίες (πράκτορες) καθοδηγούμενες από μία συντονιστική διεργασία.

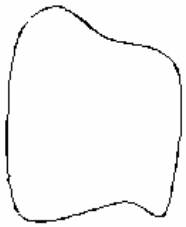
Πρόσφατα ο Barreteau και συνεργάτες του (2004) επιδείξαν μία πιθανή χρήση πολυπρακτορικών συστημάτων για την προσομοίωση του συστήματος άρδευσης, και ερεύνησης της βιωσιμότητάς του, της κοιλάδας του ποταμού της Σενεγάλης.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ



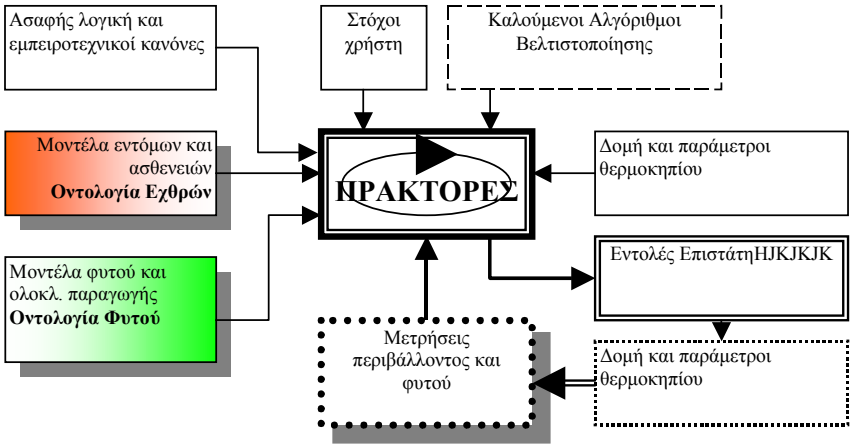






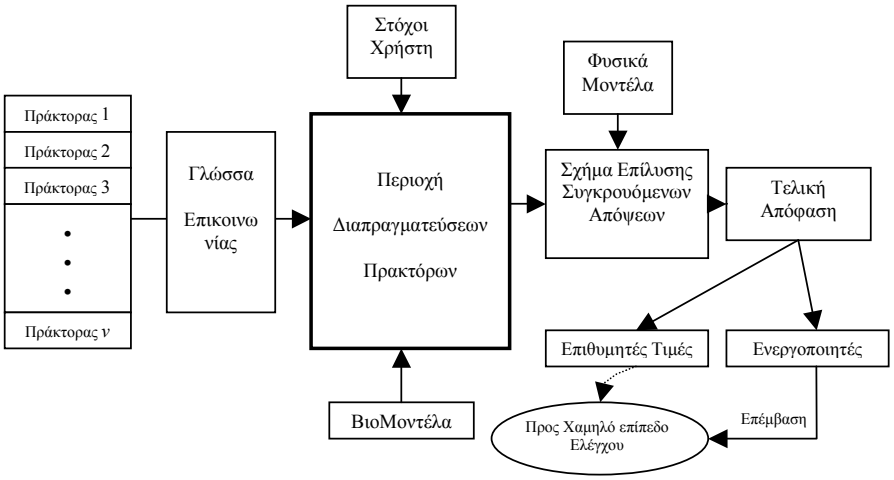
Η διαχείριση υδροπονικών εγκαταστάσεων θερμοκηπίων περιλαμβάνει πολλές παραμέτρους που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών, όπως φωτισμός, θερμοκρασία, σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων κ.τ.λ. Η αξία του τελικού προϊόντος εξαρτάται όχι μόνο από την ποσότητα αλλά και από την ποιότητα, που είναι δύσκολο να μετρηθεί ή ακόμη και να εκτιμηθεί. Το περιβάλλον κάθε πράκτορα καθορίζεται από τις ίδιες παραμέτρους που καθορίζουν το φυσικό περιβάλλον

καθώς και από την εσωτερική κατάσταση που αναφέρει ο κάθε πράκτορας (Σχ. 1). Οι πιθανές πράξεις του κάθε πράκτορα καθορίζονται από τους διαθέσιμους μηχανισμούς και ενεργοποιητές (π.χ. παράθυρα, ανεμιστήρες, υδρονέφωση) και τις επιρροές τους στο περιβάλλον. Συνεπώς, κάθε ελεγχόμενη διεργασία του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου μοντελοποιείται ως ένας αυτόνομος πράκτορας, έχοντας τις δικές του εισόδους (οι αντίστοιχες μετρούμενες παράμετροι του θερμοκηπίου), τις δικές του εξόδους (τα σήματα προς τους ενεργοποιητές) και τις δικές του αλληλεπιδράσεις με τους υπόλοιπους πράκτορες. Κάθε πράκτορας δρα αυτόνομα καθώς γνωρίζει εκ των προτέρων τους επιθυμητούς στόχους για το περιβάλλον. Συγχρόνως οι πράκτορες επικοινωνούν και συναλλάσσονται πληροφορίες μεταξύ τους καθώς οι παράμετροι του περιβάλλοντος επηρεάζονται μεταξύ τους. Σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται διαμάχες μεταξύ των πρακτόρων όπως για τον έλεγχο κάποιου ενεργοποιητή, ο οποίος ελέγχει διαφορετικές παραμέτρους, που βρίσκονται σε αντίφαση (π.χ. αερισμός για υγρασία και θερμοκρασία). Σε αυτές τις περιπτώσεις, κάθε πιθανές αντικρουόμενες απόψεις επιλύονται ύστερα από περαιτέρω διαπραγματεύσεις των πρακτόρων, ώστε να αναδυθεί η βέλτιστη απόφαση.



Σχ. 2. Πληροφοριακή και γνωσιακή δομή του ΠΠΣ

Οι διαπραγματεύσεις μεταξύ των πρακτόρων είναι υποκείμενες βελτίωσης βασισμένη σε «γνώση» που πηγάζει από ολοκληρωμένα μοντέλα παραγωγής, μοντέλα καλλιέργειας (yield models) ή και διεσπαρμένα μοντέλα (sparse models) όπως εκφράζεται σε ασαφείς κανόνες ή πρακτικές εμπειροτεχνικές μεθόδους. Ως επί το πλείστον, τα μοντέλα καταπολέμησης εχθρών και διαχείρισης ασθενειών παρέχουν επιπλέον χρήσιμες πληροφορίες για τον σχεδιασμό μία επιτυχημένης στρατηγικής για τη βέλτιστη διαχείριση από το ΠΠΣ σύστημα (Σχ. 2). Το βασικό δίλημμα είναι το πώς θα χειριστούμε «γνώση» διαφορετικού τύπου, αν δηλαδή είναι αποδοτικότερο να αυξήσουμε την χωρητικότητα του πράκτορα σε νοημοσύνη για την ανάπτυξη διαφορετικών πηγαίων τύπων γνώσης ή θα παρέχουμε ένα ενδιάμεσο επίπεδο απόκτησης γνώσης, εκμαίευσης και «ομογενοποίησης».



Σχ. 3. Δομή του ΠΠΣ για ολοκληρωμένη διαχείριση υδροπονική παραγωγή

Το «περιβάλλον» του πράκτορα, δια του παρόντος καλούμενο π-περιβάλλον, χαρακτηρίζεται από το μοντέλο του φυσικού συστήματος και τις αντιδράσεις του ανάλογα με την είσοδο, τους στόχους της παραγωγής εκφραζόμενες από τους «στόχους χρήστη» και τη «γνώση της παραγωγής» που καθοδηγεί το κλιματικό περιβάλλον, επί του παρόντος καλούμενο κ-περιβάλλον, στους επιθυμητούς στόχους. Όλο το περιβάλλον των πρακτόρων φαίνεται στο Σχ. 3. Κάθε πράκτορας έχει σαν είσοδο τις απαραίτητες περιβαλλοντολογικές ή φυτικές μετρήσεις. Όσο κάθε πράκτορας κρατά την αυτονομία του και έχει τους δικούς του «προσωπικούς» στόχους, συνεργάζεται με τους υπόλοιπους πράκτορες, μέσω κάποιας προκαθορισμένης γλώσσας επικοινωνίας, στη «περιοχή διαπραγματεύσεων» όπου λαμβάνεται υπόψιν ο τελικός στόχος. Η συνεργασία και αλληλεπίδραση των πρακτόρων συντονίζεται με πληροφορίες από τα υπάρχοντα μοντέλα (Σχ. 2). Ωστόσο, είναι πολύ πιθανό να εμφανιστούν αντικρουόμενες απόψεις. Διάφορες υπολογιστικές και αναλυτικές μεθοδολογίες, όπως ασαφής λογική (Zadeh, 1965), καθοδικές μέθοδοι και εξελικτικοί αλγόριθμοι (Fogel, 1995) χρησιμοποιούνται για την επίλυση των διαμαχών και την επίτευξη κάποιας τελικής απόφασης.

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική για το ΠΠΣ θα μπορούσε να αυτή όπου κάθε πράκτορας αναλαμβάνει το έργο κάθε μίας από τις κύριες διεργασίες ελέγχου του φυσικού συστήματος. Αυτές μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ομάδες, τους περιβαλλοντικούς πράκτορες (θερμοκρασία, υγρασία, συγκέντρωση CO_2, ηλιακή ακτινοβολία) και στους υδροπονικούς πράκτορες (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο, αλλατότητα, διαθέσιμο νερό, θερμοκρασία νερού άρδευσης). Όταν δύο ή περισσότεροι πράκτορες εισέλθουν στη «περιοχή διαπραγματεύσεων», ανταλλάσσουν πληροφορίες για την κατάστασή τους και πληροφορούν τους υπολοίπους για πιθανές πράξεις που πρέπει να γίνουν, ώστε κάθε πράκτορας να επιτύχει τους στόχους του. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια θερμής και ξηρής ατμόσφαιρας, ο πράκτορας θερμοκρασίας έχει τιμή μεγαλύτερη από την επιθυμητή, που οδηγεί σε προσφυγή για τους «στόχους του χρήστη». Την ίδια στιγμή, ο πράκτορας της υγρασίας έχει τιμή μικρότερη από την επιθυμητή υγρασία και έτσι αποφασίζει να κρατήσει τα παράθυρα κλειστά. Σε πρώτο επίπεδο το ζευγάρι των δύο

μεταβλητών αυτών αποτελούν μία συγκεκριμένη απόφαση Τ-Η για να υπολογιστούν οι απαιτούμενες ανάγκες εξαερισμού και ύγρανσης της ατμόσφαιρας. Κατά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας το σύστημα π.χ. συνειδητοποιεί ότι «δεν υπάρχει υδρονέφωση» και οι πράκτορες διαπραγματεύονται για τον βέλτιστο ρυθμό αερισμού, λαμβάνοντας υπόψιν το κόστος από τον κίνδυνο ανάπτυξης ασθενειών. Ένας αλγόριθμος συνυπολογίζοντας τους στόχους του χρήστη και τις εξόδους των υπαρχόντων μοντέλων παραγωγής, σοδειάς, ασθενειών και καταπολέμησης εχθρών εκτιμά τις πιθανές συνέπειες και αποτελέσματα από διάφορα σενάρια και βρίσκει τη βέλτιστη λύση για τον ρυθμό αερισμού. Με βάση αυτό το αποτέλεσμα λαμβάνεται η τελική απόφαση η οποία μπορεί να έχει τη μορφή εντολής προς κάποιον ενεργοποιητή ή προσαρμογής κάποιας επιθυμητής τιμής. Τα μοντέλα που βοηθούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων του ΠΠΣ χρησιμοποιούν πληροφορίες από το φυσικό σύστημα. Επίσης χρησιμοποιούν πληροφορίες και από πιθανές πράξεις κάποιον πρακτόρων προκειμένου να προβλέψουν, για παράδειγμα, την πιθανότητα εμφάνισης κάποιας ασθένειας ή αύξησης του πληθυσμού κάποιου εχθρού, ή την μελλοντική ανταπόκρισή της καλλιέργειας ή την τελική ποσότητα του προϊόντος. Η πληροφορία που πηγάζει από την πρόβλεψη αυτή είναι ζωτικής σημασίας για σχήμα επίλυσης των συγκρουόμενων απόψεων και οδηγεί σε καλύτερες στρατηγικές ολοκληρωμένης διαχείρισης. Κατά την παρούσα περίοδο υπάρχει μία προσπάθεια ανάπτυξης της οντολογίας που θα κωδικοποιήσει τη γνώση για την βιολογία των εχθρών και των ασθενειών, τις απαιτήσεις της θρέψης κ.τ.λ. Η οντολογία αυτή, διαχωρίζεται στην βιοοικολογία των εχθρών, στην ευαισθησία των φυτών και στις απαιτήσεις της θρέψης και χρησιμοποιείται από τους πράκτορες για να περιγράψουν τη γνώση που ενσωματώνουν και να επιτύχουν τα καθήκοντά τους. Ο στόχος είναι να υλοποιηθεί ένα λειτουργικό σύστημα που θα αντέξει στις αλλαγές της τεχνολογίας και θα είναι ανοιχτό σε βελτιώσεις και θα επαυξήσει τις οντολογίες, με περισσότερη γνώση από ερευνητικά αποτελέσματα ή νέες ασθένειες κ.τ.λ.
Τα βασικά χαρακτηριστικά του πολύ-πρακτορικού συστήματος είναι τα ακόλουθα:

7 Είναι ανοιχτό σύστημα με υψηλό βαθμό προσαρμοστικότητας σε διαφορετικά ήδη προϊόντων.
8 Μπορεί εύκολα να διευρυνθεί με προσθήκες νέων πρακτόρων ή καθορισμό νέων οντοτήτων και νέων στόχων.
9 Μπορεί να συνεργάζεται με άλλα προγράμματα ελέγχου και διαχείρισης θερμοκηπίου χαμηλότερου επιπέδου μέσω ανταλλαγής προκαθορισμένης γλώσσας επικοινωνίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν άρθρο προτάθηκε μία μεθοδολογία ολοκληρωμένης διαχείρισης υδροπονικών καλλιεργειών χρησιμοποιώντας πολύ-πρακτορικά συστήματα. Διάφοροι αυτόνομοι πράκτορες αλληλεπιδρούν με σκοπό να επιλύσουν προβλήματα συγκρουόμενων απόψεων που μπορεί να οδηγήσουν σε αναποτελεσματικό έλεγχο και διαχείριση του συστήματος παραγωγής του θερμοκηπίου. Η εφαρμογή της πολύ-πρακτορικής αυτής προσέγγισης στην βελτιστοποίηση της ολοκληρωμένης διαχείρισης του αερίου και ριζικού περιβάλλοντος, οδηγεί στα ακόλουθα αποτελέσματα:

10 Επίλυση συγκρουόμενων αποφάσεων σε πολύπλοκες καταστάσεις κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του φυτού.
11 Ανάπτυξη μιας γνωσιακής βάσης δεδομένων (αριθμητικά μοντέλα, ασαφής κανόνες, κ.τ.λ.) που προωθούν τη διαχείριση με ολοκληρωμένους στόχους για τον καταναλωτή (ασφάλεια, ποιότητα) και το περιβάλλον (ελαχιστοποίηση χρήσης χημικών).
12 Εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου συστήματος για πιστοποίηση προϊόντων ολοκληρωμένης διαχείρισης.
13 Ανάλυση της διαδικασίας παραγωγής με ενδιαφέρον στη θρέψη και φωτοσύνθεση και στις συνθήκες που επηρεάζουν αυτές τις διεργασίες.

Ευχαριστίες
Το προτεινόμενο ΠΠΣ έχει σκοπό να αξιοποιήσει τα αποτελέσματα από το ερευνητικό έργο HORTIMED (ICA3-1999CT00009) και θα χρησιμοποιηθεί σε δοκιμαστικούς τομείς του ερευνητικού έργου «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ» ως μία προσπάθεια να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν «καλές πρακτικές» στη παραγωγή καλλιεργειών θερμοκηπίων, σε συνεργασία με τη τεχνολογία MACQU.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Badjonski, M. and Ivanovic, M. 2000. A multi-agent system for the determination of optimal hybrids in crop production. Computers and Electronics in Agriculture 25: 233-243.

Barreteau, O., Bousquet, F., Millier, C. and Weber, J. 2004. Suitability of multi-agent simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley. Agricultural Systems 80: 255-275.

Davidsson, P. and Wernstedt, F. 2002. Software agents for bioprocess monitoring and control. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 77: 761-766.

Ferentinos, K.P. and Albright, L.D. 2002. Predictive Neural Network Modeling of pH and Electrical Conductivity in Deep-Trough Hydroponics. Transactions of the ASAE 45(6): 2007-2015.

Ferentinos, K.P. and Albright, L.D. 2003. Fault Detection and Diagnosis in Deep-trough Hydroponics using Intelligent Computational Tools. Biosystems Engineering 84(1): 13-30.

Ferentinos, K.P., Albright, L.D. and Selman, B. 2003. Neural network-based detection of mechanical, sensor and biological faults in deep-trough hydroponics. Computers and Electronics in Agriculture 40(1-3): 65-85.

Finin, T., Fritzson, R. and McKay, D. 1992. A language and protocol to support intelligent agent interoperability. In: Proceedings of the CE & CALS Washington `92 Conference. June 1992.

Fogel, D.B. 1995. *Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence*. IEEE Press, New York, NY.

Giunchiglia, F., Perini, A. and Sannicolo, F. 2001. Knowledge level software engineering. In Proceedings of ATAL 2001, Seattle, WA. Springer-Verlag,

Goggos, V. and King, R.E. 2000. Evolutionary design of greenhouse agents. Computers and Electronics in Agriculture 26: 271-282.

d'Inverno, M., Luck, M., Georgeff, M., Kinny, D. and Wooldridge, M. 2004. The dMARS architecture: a specification of the distributed multi-agent reasoning system. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 9: 5-53.

Kaelbling, L.P., Littman, M.L. and Moore, A.W. 1996. Reinforcement learning: A survey. Journal of Artificial Intelligence Research 4: 237-285.

Kelemen, J. and Kelemenova, A. 1992. A grammar-theoretic treatment of multiagent systems. Cybernetics and Systems 23(6): 621-633.

Labrou Y. and Finin, W. 1994. A semantics approach for KQML: a general purpose communication language for software agents. In Proc. of Int. Conf. on Information and Knowledge Management: 447-455.

Linker, R., Gutman, P.O. and Seginer, I.. 1999. Robust controllers for simultaneous control of temperature and CO2 concentration in greenhouses. Control Engineering Practice 7: 851-862.

Pasgianos, G.D., Arvanitis, K.G., Polycarpou, P. and Sigrimis, N.A. 2003. A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control. Computers and Electronics in Agriculture 40: 153-177.

Perini, A., Bresciani, P., Giunchiglia, F., Giorgini, P. and Mylopoulos, J. 2001. A knowledge level software engineering methodology for agent oriented programming. In Proceedings of the Fifth International Conference on Autonomous Agents, Montreal CA, May 2001. ACM.

Perini, A. and Susi, A. 2002. Designing a Multi-Agent System for Integrated Protection in Agriculture. In: Proceedings of Integrated Assessment and Decision Support, Lugano, Switzerland, June 24-27, vol. 3: 408-413.

Prada R., Otero N., Vala A. and Paiva A. 2004. BeLife: teaching greenhouse management using an agent based simulator. In Agent Based Simulation Workshop - ABS 2004.

Rousu, J. and Aarts, R. 2001. An integrated approach to bioprocess recipe design. Integrated Computer-Aided Engineering 8: 363-373.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J. 1986. Learning representations by back-propagating errors. Nature 323: 533-536.

Seginer, I., Boulard, T. and Bailey, B.J. 1994. Neural network models of the greenhouse climate. Journal of Agricultural Engineering Research 59: 203-216.

Sigrimis, N.A. and Phillipopoulos, C. 1984. Optimal greenhouse controller. In: Conference Proceedings of the Association for the Advancement of Modelling and Simulation in Enterprises. Athens, Greece., June 27-29.

da Silva, V.T. and de Lucena, C.J.P. 2003. MAS-ML: A multi-agent system modeling language. In: OOPSLA'03, Anaheim, CA., October 26-30.

Stone, P. and Veloso, M. 2000. Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective. Autonomous Robots 8(3): 345-383.

van Straten, G., H.Challa and F.Buwalda. 2000. Towards user accepted optimal control of greenhouse climate. Computers and Electronics in Agric. 26:221-238.

Sykara, K.P. 1993. Machine learning for intelligent support of conflict-resolution. Decision Support Systems 10(2): 121-136.

Talukdar, S., Ramesh, V.C., Quadrel, R. and Christie, R. 1992. Multiagent organizations for real-time operations. Proceedings of the IEE 80(5): 765-777.

Young, P.C., M.J Lees, A.Chotai, W.Tych and Z.S. Chalabi. 1994. Modeling and PIP control of a glasshouse microclimate. Control Engineering Practice 2: 591-604.

Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control 8(3): 338-&.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟ Γ.Π.Σ.

Δ. Π. Τριαντακωνσταντής, Β. Ι. Κόλλια και Δ. Π. Καλύβας
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Γεωργικής Χημείας και Εδαφολογίας, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αλλαγές στις χρήσεις γης επηρεάζονται από διάφορους γεωμορφολογικούς αλλά και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Στο δάσος της Δαδιάς Έβρου εφαρμόσθηκε μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης μεταξύ 1945 και 1973 για την πρόβλεψη της αναδάσωσης και το αποτέλεσμα συγκρίθηκε με τις χρήσεις γης του 2001. Η σύγκριση επιτεύχθηκε: α) με την μέθοδο Receiver Operating Characteristic (ROC) η οποία εκτιμά την επιτυχία της πρόβλεψης και β) τον στατιστικό δείκτη Cohen's kappa που ελέγχει την αξιοπιστία του μοντέλου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η λογιστική παλινδρόμηση αποτελεί ένα σημαντικό μοντέλο πρόβλεψης αλλαγών χρήσεων γης.

DEVELOPMENT OF A LOGISTIC REGRESSION MODEL FOR THE PREDICTION OF THE LAND USE CHANGES IN A SPATIO-TEMPORAL G.I.S.

D. P. Triantakonstantis, V. J. Kollias and D. P. Kalivas
Agricultural University of Athens, Laboratory of Soils and Agricultural Chemistry, 75 Iera Odos, 11855, Athens

ABSTRACT

The land use changes are influenced by various geomorphologic and socio-economic drivers. For the prediction of the reforestation in the Dadia forest a logistic regression model was applied using land use maps of the years 1945 and 1973. The results were compared with actual data of the year 2001. The comparison was tested by a) the Receiver Operating Characteristic (ROC) method which estimates the prediction success and b) the Cohen's kappa statistic which gives a measure of reliability of the model. The results showed that the logistic regression is an important model for the prediction of the land use changes.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση γης αναφέρεται στον σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται η γη και οι πόροι της. Η αλλαγή των χρήσεων γης αναφέρεται στην αλλαγή της χωρικής έκτασης ενός συγκεκριμένου τύπου χρήσης γης. Οι αλλαγές στις χρήσεις γης επηρεάζονται από διάφορους βιοφυσικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες οι οποίοι αλληλεπιδρούν στο χώρο και στο χρόνο. Οι βιοφυσικές αιτίες περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος όπως οι μεταβολές του κλίματος, η τοπογραφία, η γεωλογία, η διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων κτλ. Οι κοινωνικοοικονομικές αιτίες αναφέρονται στους δημογραφικούς, κοινωνικούς, πολιτικούς συντελεστές όπως μεταβολή του πληθυσμού, αγορά εργασίας, πρόσβαση στις τεχνολογικές εξελίξεις κτλ.

Η μελέτη των αλλαγών χρήσεων γης γίνεται με αρκετούς τρόπους. Η μοντελοποίηση των αλλαγών των χρήσεων γης για την διαχείριση του περιβάλλοντος είναι ένας από αυτούς [6, 9]. Πρόσφατα αρκετή έρευνα έχει γίνει για τις παραμέτρους (βιοφυσικές και ανθρώπινες) που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση των αλλαγών χρήσεων γης και πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί, π.χ. το μοντέλο CLUE (Conversion of Land Use and its Effects) [11, 8, 10]. Ο Lambin [6] απέδειξε ότι μοντέλα χρήσεων γης μπορούν να βοηθήσουν τους επιστήμονες να κάνουν υποθέσεις και σε μερικές περιπτώσεις να απαντήσουν σε τρεις σημαντικές ερωτήσεις: α) ποιες βιοφυσικές και κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές εξηγούν τις αλλαγές των χρήσεων γης; β) που είναι οι περιοχές που επηρεάστηκαν από τις αλλαγές; και γ) σε τι βαθμό οι αλλαγές των χρήσεων γης προχωρούν;

Στην παρούσα μελέτη αναπτύχθηκε ένα μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης, το οποίο εξετάζει τις αλλαγές των χρήσεων γης του δάσους της Δαδιάς Έβρου, μεταξύ των χρονικών περιόδων 1945 και 1973 και ο χάρτης που παράγεται και εκφράζει μια πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης της περιοχής, συγκρίνεται με τον χάρτη χρήσεων γης του 2001. Ο έλεγχος του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με την Receiver Operating Characteristic (ROC) μέθοδο και ο έλεγχος της αξιοπιστίας με τον στατιστικό δείκτη Cohen's kappa.

Στόχος της μελέτης είναι η αξιολόγηση του μοντέλου λογιστικής παλινδρόμησης που αναπτύχθηκε για την πρόβλεψη των αλλαγών χρήσεων γης, ώστε να είμαστε σε θέση να προβλέψουμε μελλοντικές καταστάσεις των χρήσεων γης στην περιοχή.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Το δάσος της Δαδιάς βρίσκεται στην βορειοανατολική Ελλάδα, στον νομό Έβρου (γεωγραφικό μήκος 26° 00΄ - 26° 19΄ και γεωγραφικό πλάτος 40° 59΄ - 41° 15΄). Καλύπτει έκταση περίπου 43.000 εκτάρια και μετά το 1980 που ανακηρύχθηκε η περιοχή ως προστατευόμενη περιλαμβάνει δύο ζώνες αυστηράς προστασίας 7.250 εκταρίων συνολικά. Στις δύο αυστηρά προστατευόμενες ζώνες οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι απαγορευμένες, ενώ υπάρχει μια περιφερειακή ζώνη που τις περιβάλλει όπου επιτρέπονται περιορισμένες ανθρώπινες επεμβάσεις [1].

2.2. Δεδομένα

Οι κύριες πηγές δεδομένων ήταν 42 αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:42,000 του 1945 και 210 αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:15,000 του 1973 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Με αυτό

το υλικό δημιουργήθηκαν οι χάρτες χρήσεων γης των δυο χρονικών περιόδων. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε ένας ψηφιακός χάρτης χρήσεων γης της περιοχής για το έτος 2001 που δημιουργήθηκε από δορυφορική εικόνα Iconos (Ιούλιος 2001), όπως επίσης το οδικό και υδρογραφικό δίκτυο, οι αστικές περιοχές και οι ισοϋψείς των 20μ, τα οποία προμηθευτήκαμε από το WWF-Ελλάς [7].
Τον γεωλογικό και εδαφολογικό χάρτη κλίμακας 1:50,000 της περιοχής προμηθευτήκαμε από το Ίδρυμα Δασικών Ερευνών του Υπουργείου Γεωργίας [2]. Το σύστημα χαρτογράφησης που είχε χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία των χαρτών αυτών [2] ταξινομεί το βάθος του εδάφους σε εννέα κατηγορίες: 1: Βαθύ, 2: Βαθύ και αβαθές, 3: Βαθύ και βράχος, 4: Αβαθές και βαθύ, 5: Αβαθές, 6: Αβαθές και βράχος, 7: Βράχος και βαθύ, 8: Βράχος και αβαθές και 9: Βράχος. Η διάβρωση είναι ταξινομημένη σε εννέα κατηγορίες: 1: Καμία, 2: Καμία και μέτρια, 3: Καμία και έντονη, 4: Μέτρια και καμία, 5: Μέτρια, 6: Μέτρια και έντονη, 7: Έντονη και καμία, 8: Έντονη και μέτρια και 9: Έντονη. Όταν οι κατηγορίες του βάθους εδάφους και της διάβρωσης προσδιορίζονται με δύο συστατικά (π.χ. βαθύ και αβαθές ή καμία και μέτρια) το πρώτο συστατικό προσδιορίζει το κυρίαρχο χαρακτηριστικό.
Η γεωλογία της περιοχής είναι ταξινομημένη σύμφωνα με το μητρικό υλικό και συγκεκριμένα: Ζ: Γνεύσιοι, Π: Περιδοτίτες, Τ: Τριτογενείς αποθέσεις (και ηφαιστειακοί τόφφοι), Φ: Μικτός φλύσχης, Χ: Σχιστόλιθοι, Ν: Γρανίτες και Α: Αλλούβια.
Η έκθεση ταξινομήθηκε σε εννέα κατηγορίες: Επίπεδη, Ανατολική, Βόρεια, Βορειοανατολική, Βορειοδυτική, Νότια, Νοτιοανατολική, Νοτιοδυτική, Δυτική.
Όλα τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε ένα Γ.Π.Σ. που αναπτύχθηκε για τους σκοπούς της μελέτης αυτής με την βοήθεια του εμπορικού πακέτου ArcGIS [5].

2.3. Παράμετροι

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο της λογιστικής παλινδρόμησης ως ανεξάρτητες μεταβλητές είναι:
Υψόμετρο, κλίση, έκθεση: Προσδιορίσθηκαν με την βοήθεια ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Elevation Model – DEM) που δημιουργήθηκε από ισοϋψείς 20μ.
Απόσταση από τους δρόμους, τα ποτάμια, τις κατοικημένες περιοχές και τις δασικές εκτάσεις: Παρήχθησαν πλεγματικοί χάρτες αποθηκεύοντας σε κάθε κυψελίδα την απόσταση από τον κοντινότερο δρόμο, το κοντινότερο ποτάμι, την κοντινότερη αστική περιοχή και την κοντινότερη δασική έκταση αντίστοιχα. Ειδικά, η απόσταση από τις αστικές περιοχές και τις δασικές εκτάσεις υπολογίστηκε για κάθε κυψελίδα ως η απόσταση από το όριο της κοντινότερης αστικής περιοχής και της δασικής έκτασης αντίστοιχα.
Βάθος εδάφους, διάβρωση, και γεωλογία: Οι παράμετροι αυτοί προσδιορίσθηκαν σε κάθε κυψελίδα με την μετατροπή του διανυσματικού γεωλογικού και εδαφολογικού χάρτη σε πλεγματικά επίπεδα.
Τα παραπάνω πλεγματικά δεδομένα πραγματοποιήθηκαν σε ανάλυση 20μ χ 20μ (μέγεθος κυψελίδας).

2.4. Λογιστική Παλινδρόμηση

Η ανάλυση λογιστικής παλινδρόμησης (logistic regression) είναι ανάλυση παλινδρόμησης στην οποία η εξαρτημένη μεταβλητή είναι δίτιμη (λαμβάνει δυο τιμές π.χ. 0 και 1, που αντιστοιχεί στο να συμβαίνει ένα γεγονός ή όχι), σε αντίθεση με την πολλαπλή παλινδρόμηση όπου η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι συνεχής. Έτσι με την λογιστική παλινδρόμηση μπορούμε να εκτιμήσουμε την πιθανότητα αλλαγής μιας χρήσεως γης ή όχι, την πιθανότητα θανάτου ενός ασθενούς με βάση ορισμένου χαρακτηριστικά της υγείας του κ.τ.λ.
Ενώ κατά την κλασσική γραμμική παλινδρόμηση η εκτίμηση του σταθερού όρου και των συντελεστών των ανεξάρτητων μεταβλητών γίνεται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων,

κατά την λογιστική παλινδρόμηση η εκτίμηση των παραμέτρων γίνεται με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Το μοντέλο της λογιστικής παλινδρόμησης είναι μέλος μιας ευρύτερης «οικογένειας» μοντέλων, τα οποία ονομάζονται γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (generalized linear models).

Η πιθανότητα (P) πραγματοποίησης ενός γεγονότος (Y) στην περίπτωση μιας μόνο ανεξάρτητης μεταβλητής X, μπορεί να γραφεί σύμφωνα με την λογιστική παλινδρόμηση ως εξής:

$P(Y) = \frac{e^{a+bX}}{1+e^{a+bX}}$ ή ισοδύναμα ως: $P(Y) = \frac{1}{1+e^{-(a+bX)}}$

όπου α είναι ο σταθερός όρος, β ο συντελεστής παλινδρόμησης της ανεξάρτητης μεταβλητής X. Όταν υπάρχουν περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές X_1, X_2,…,X_k τότε η εξίσωση λογιστικής παλινδρόμησης μπορεί να γραφεί ως ακολούθως:

$P(Y)=\frac{e^{a+b_1X_1+b_2X_2+...+b_kX_k}}{1+e^{a+b_1X_1+b_2X_2+...+b_kX_k}}$ ή ισοδύναμα ως $P(Y)=\frac{1}{1+e^{-(a+b_1X_1+b_2X_2+...+b_kX_k)}}$

Το αποτέλεσμα της εξίσωσης είναι μια τιμή πιθανότητας που μεταβάλλεται μεταξύ 0 και 1. Μια τιμή κοντά στο 0 σημαίνει ότι η εξαρτημένη μεταβλητή Y είναι απίθανο να πραγματοποιηθεί, ενώ μια τιμή κοντά στο 1 σημαίνει ότι το Y είναι πάρα πολύ πιθανόν να εμφανιστεί.

2.4.1. Δείκτες αξιολόγηση των παραμέτρων του λογιστικού μοντέλου

Δείκτης Exp(b)

Η ποσότητα (αντιλογάριθμος του $b^{e^{b_i}}$) είναι ο παράγοντας με τον οποίο πολλαπλασιάζεται η σχετική πιθανότητα πραγματοποίησης ενός γεγονότος, όταν η ανεξάρτητη μεταβλητή X_i αυξηθεί κατά μια μονάδα και εφόσον οι υπόλοιπες μεταβλητές παραμένουν σταθερές. Στην περίπτωση που το b_i είναι θετικό, το είναι μεγαλύτερο της μονάδας και έτσι η σχετική πιθανότητα αυξάνει, ενώ αν το $b^{e^{b_i}}$ είναι αρνητικό, το είναι μικρότερο της μονάδας και η σχετική πιθανότητα μειώνεται. Τέλος αν το $b^{e^{b_i}}$ είναι μηδέν, το γίνεται 1 και η σχετική πιθανότητα δεν μεταβάλλεται. e^{b_i}

Στατιστικός δείκτης Wald

Αποδεικνύεται ότι ένας οποιοσδήποτε εκτιμώμενος συντελεστής $b_ι$ του λογιστικού μοντέλου, όταν το μέγεθος του δείγματος είναι επαρκώς μεγάλο, ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή τον συντελεστή $b_ι$ και εκτιμώμενο τυπικό σφάλμα $se(b_ι)$.

Ο έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης:

$H_0 : b_ι = 0$

έναντι της εναλλακτικής

$H_A : b_ι 0 \neq$

μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του κριτηρίου Wald ($z = \frac{b_i}{se(b_i)}$), το οποίο ακολουθεί την κανονική κατανομή. Ένα ισοδύναμο τεστ που βασίζεται στο κριτήριο του Wald είναι αυτό που ελέγχει το μέγεθος $\left[\frac{b_i}{se(b_i)}\right]^2$, το οποίο ακολουθεί την κατανομή χ^2 με 1 βαθμό ελευθερίας.

2.4.2. Δείκτες αξιολόγηση της προσαρμογής του λογιστικού μοντέλου

Συντελεστής Cox and Snell R^2

Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως εξής:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{L_{(0)}}{L_{(B)}}\right]^{2/N},$$

όπου $L_{(0)}$ είναι η τιμή της συνάρτησης πιθανοφάνειας του μοντέλου κατά την εκκίνηση του επαναληπτικού αλγορίθμου (περιλαμβάνοντας μόνο τον σταθερό όρο) και $L_{(B)}$ η τιμή της συνάρτησης πιθανοφάνειας με όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο και N το μέγεθος του δείγματος.

Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της συνάρτησης πιθανοφάνειας L, ή αντίστοιχα όσο μικρότερη είναι η τιμή της συνάρτησης λογαριθμο-πιθανοφάνειας, -2logL, τόσο καλύτερη είναι και η προσαρμογή του μοντέλου.

Συντελεστής Nagelkerke R^2

$R^2 = \frac{R^2}{R^2_{\max}}$, όπου , $R^2_{\max} = 1 - \left[L_{(0)}\right]^{2/N}$

και $L_{(0)}$ είναι η τιμή της συνάρτησης πιθανοφάνειας του μοντέλου κατά την εκκίνηση του επαναληπτικού αλγορίθμου (περιλαμβάνοντας μόνο τον σταθερό όρο).

Μοντέλο χ^2

Ο έλεγχος αυτός γίνεται με την χρήση μιας συνάρτησης η οποία αντιστοιχεί στην συνάρτηση F που χρησιμοποιείται στην ανάλυση της γραμμική παλινδρόμησης. Η συνάρτηση αυτή λέγεται μοντέλο χ^2 (ή διαφορετικά G_m).

Μοντέλο $\chi^2 = [(-2\log L_{(0)})-(-2\log L_{(B)})]$, όπου

Η συνάρτηση μοντέλο χ^2 ακολουθεί την κατανομή χ^2 με n βαθμούς ελευθερίας. Έτσι η μηδενική υπόθεση είναι:

$H_0 : b_1 = b_2 = \ldots = b_n = 0$ και η εναλλακτική

H_A : τουλάχιστον ένα $b_k \neq 0$

Συντελεστής Pseudo–R^2

Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως:

$$Pseudo - R^2 = 1 - \frac{-2\log L_{(B)}}{-2\log L_{(0)}},$$

και σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό του μοντέλου χ^2 μπορούμε να γράψουμε:

$$Pseudo - R^2 = 1 - \frac{-2\log L_{(B)}}{\text{Μοντέλο } \chi^2 + (-2\log L_{(B)})}$$

Οι παραπάνω δείκτες R^2 εκφράζουν όπως και στην γραμμική παλινδρόμηση την καταλληλότητα της προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα. Έτσι όσο πλησιάζουν την μονάδα τόσο πιο καλύτερο είναι το μοντέλο που εφαρμόστηκε.
Καλύτερος έλεγχος του μοντέλου γίνεται με σύγκριση αποτελεσμάτων της πρόβλεψης με πραγματικά δεδομένα. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να γίνει με την μέθοδο Receiver Operating Characteristic (ROC) ή με τον δείκτη Cohen's Kappa.

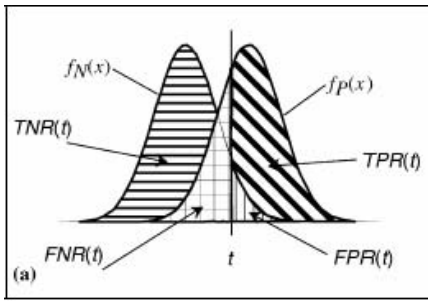
2.5. Μέθοδος Receiver Operating Characteristic (ROC)

Πολλές πολύπλοκες διαδικασίες ταξινόμησης περιλαμβάνουν έναν διαχωρισμό μεταξύ δυο κατηγοριών. Σε αυτές τις περιπτώσεις ένα λάθος στην ταξινόμηση μπορεί να έχει πολύ σοβαρές συνέπειες και οι μέθοδοι ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν πολύ μεγάλη αξιοπιστία για να αποφευχθούν λανθασμένες αποφάσεις.
Στα προβλήματα ταξινόμησης σε δυο κατηγορίες ένα δείγμα πρέπει να ταξινομηθεί σε μια από δυο κατηγορίες που γενικά καλούνται Θετική (Positive) P κατηγορία και αρνητική (Negative) N κατηγορία. Ας υποθέσουμε ότι η μέθοδος ταξινόμησης για κάθε δείγμα μας δίνει μια τιμή χ στο διάστημα [0, 1] που είναι ένας βαθμός εμπιστοσύνης ότι το δείγμα ανήκει σε μια από τις δυο παραπάνω κατηγορίες. Το δείγμα καταχωρείται στην κατηγορία N εάν $\chi \rightarrow 0$ και στην κατηγορία P εάν $\chi \rightarrow 1$. Συνήθως διαλέγεται ένα κατώφλι εμπιστοσύνης t ώστε το δείγμα καταχωρείται στην κατηγορία N εάν $\chi<t$ και στην κατηγορία P εάν $\chi>t$. Για μια δεδομένη τιμή κατωφλίου t, δυο μεγέθη δίδονται: (α) το True Positive Rate TPR(t), δηλαδή οι πραγματικές θετικές περιπτώσεις που ταξινομήθηκαν σωστά και (β) το False Positive Rate FPR(t), δηλαδή οι πραγματικά αρνητικές περιπτώσεις που ταξινομήθηκαν λανθασμένα σαν θετικές.
Εάν $f_n(x)$ και $f_p(x)$ είναι οι συναρτήσεις πυκνότητας του βαθμού εμπιστοσύνης για την κατηγορία N και για την κατηγορία P αντίστοιχα τότε το TPR(t) και το FPR(t) δίδονται από τους παρακάτω τύπους (σχήμα 1):

$$TPR(t) = \int_t^1 f_P(x)dx \quad \text{και} \quad FPR(t) = \int_t^1 f_N(x)dx$$

Με όμοιο τρόπο είναι δυνατό να υπολογίσουμε (λαμβάνοντας υπ' όψιν τα δείγματα με βαθμό εμπιστοσύνης μικρότερο από (t) τα μεγέθη True Negative Rate TNR(t) και False Negative Rate FNR(t), που ορίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$TNR(t) = \int_0^t f_N(x)dx = 1 - FPR(t) \quad \text{και} \quad FNR(t) = \int_0^t f_P(x)dx = 1 - TPR(t)$$



Σχήμα 1. Μεγέθη TPR(t), FPR(t), TNR(t) και FNR(t)

Από τις παραπάνω εξισώσεις παρατηρούμε ότι τα τέσσερα μεγέθη δεν είναι ανεξάρτητα και έτσι το ζεύγος (FPR(t), TPR(t)) είναι αρκετό για να χαρακτηρίσει τελείως την λειτουργία της μεθόδου ταξινόμησης όταν το κατώφλι έχει τιμή t, αφού αυτές οι τιμές παρέχουν έναν υπολογισμό της ακρίβειας της μεθόδου για κάθε κατηγορία. Το πιο σημαντικό είναι ότι είναι ανεξάρτητα από την πιθανότητα των κατηγοριών γιατί υπολογίζονται χωριστά σε διαφορετικό σύνολο δεδομένων.
Όταν η τιμή του κατωφλίου t μεταβάλλεται μεταξύ 0 και 1 τα μεγέθη των παραπάνω εξισώσεων μεταβάλλονται αντίστοιχα. Έτσι ο ορισμός του συνόλου των σημείων που δίδονται από τα ζεύγη (FPR(t), TPR(t)) είναι δυνατόν από την μέθοδο της ταξινόμησης να μας δώσει την καμπύλη ROC, η οποία μας δίνει την προσαρμογή του μοντέλου στα πραγματικά δεδομένα. Όσο η καμπύλη βρίσκεται πάνω και αριστερά του σχήματος τόσο καλύτερη προσαρμογή επιτυγχάνεται (σχήμα 1).

2.6. Στατιστικός δείκτης Cohen's Kappa

Το στατιστικό Kappa εισήχθη από τον Cohen το 1960 [3]. Από αποτελεί μια επέκταση του απλού ποσοστού σύμπτωσης και μπορεί σύμφωνα με τον Cohen να οριστεί ως εξής: «είναι η αναλογία του συνολικού ποσοστού της σύμπτωσης που δεν εξηγείται λόγω τύχης» με άλλα λόγια «η αναλογία της σύμπτωσης αφού απομακρυνθεί η σύμπτωση που συμβαίνει τυχαία».
Το στατιστικό Kappa υπολογίζεται διαιρώντας την διαφορά της παρατηρούμενης από την τυχαία σύμπτωση με την μέγιστη δυνατή διαφορά μεταξύ παρατηρούμενης () και αναμενόμενης σύμπτωσης (): $i_{-obs} i_{-\exp}$

Cohen's Kappa = $\dfrac{i_{-obs} - i_{-\exp}}{1 - i_{-\exp}}$

Η τιμή του Cohen's kappa κυμαίνεται από -1 ως 1. Τιμές μεγαλύτερες του μηδενός είναι προτιμότερες και δείχνουν σύμπτωση καλύτερη της τυχαίας. Όταν είναι ίσον με μηδέν τότε η σύμπτωση δεν είναι καλύτερη από την τυχαία, ενώ όταν είναι μικρότερη του μηδενός η σύμπτωση είναι χειρότερη από αυτής της τυχαίας σύμπτωσης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για την εφαρμογή της μεθόδου της λογιστικής παλινδρόμησης στην περιοχή μελέτης εξετάσθηκε η περιοχή όπου δεν υπήρχε δάσος το 1945 επειδή μας ενδιέφερε το φαινόμενο που παρατηρείται στην περιοχή δηλ. η αναδάσωση. Έτσι συγκρίνοντας τις δυο χρονικές περιόδους 1945 και 1973 ως προς το φαινόμενο αυτό μπορέσαμε να προβλέψουμε μια μελλοντική κατάσταση, γι αυτό το αποτέλεσμα της λογιστικής παλινδρόμησης συγκρίθηκε με τον χάρτη χρήσεων γης του 2001.
Η λογιστική παλινδρόμηση επιτεύχθηκε με την χρησιμοποίηση του στατιστικού πακέτου SPSS όπου η εξαρτημένη-δίτιμη μεταβλητή ήταν η αλλαγή της χρήσης από μη δάσος σε δάσος ή μη δάσος δηλ. Change45-73 = 0 (μη δάσος σε μη δάσος) και Change45-73 = 1 (μη δάσος σε δάσος).

3.1. Εφαρμογή λογιστικής παλινδρόμησης

Τα αποτελέσματα της λογιστικής παλινδρόμησης όσον αφορά τους συντελεστές της κάθε μεταβλητής φαίνονται στον Πίνακα 1.

Οι παράμετροι βάθος εδάφους, διάβρωση, γεωλογία και έκθεση συμμετέχουν ως κατηγορικές

Παράμετροι	b	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(b)
Απ. από κατοικημ. περ.	0,0003	0,00	13451,5	1	0,00	1,000
Απ. από τα ποτάμια	-0,004	0,00	3726,8	1	0,00	0,996
Απ. από τους δρόμους	0,001	0,00	1050,0	1	0,00	1,001
Υψόμετρο	0,001	0,00	837,3	1	0,00	1,001
Κλίση	0,080	0,00	12783,1	1	0,00	1,084
Απ. από το δάσος	-0,001	0,00	15491,1	1	0,00	0,999
Διάβρωση-1	2,465	0,06	1403,2	1	0,00	11,758
Διάβρωση-2	3,262	0,07	2488,6	1	0,00	26,094
Διάβρωση-3	1,712	0,06	825,9	1	0,00	5,538
Διάβρωση-4	-1,154	0,09	177,5	1	0,00	0,315
Διάβρωση-5	-5,439	0,31	297,3	1	0,00	0,004
Γεωλογία-P	2,665	0,03	10158,8	1	0,00	14,371
Γεωλογία-T	1,822	0,03	4570,8	1	0,00	6,186
Γεωλογία-A	0,307	0,04	49,9	1	0,00	1,360
Γεωλογία-Z	-0,249	0,07	11,8	1	0,01	0,780
Γεωλογία-N	1,595	0,03	2611,5	1	0,00	4,928
Βάθος-1	0,260	0,04	45,6	1	0,00	1,297
Βάθος-2	-0,460	0,04	161,5	1	0,00	0,631
Βάθος-3	18,949	2736	0,0	1	**0,99**	1,7E+08
Βάθος-4	2,420	0,08	855,5	1	0,00	11,249
Βάθος-5	1,996	0,10	419,2	1	0,00	7,360
Βάθος-6	2,876	0,09	998,1	1	0,00	17,750
Έκθεση–επίπεδηα	0,927	0,01	4338,3	1	0,00	2,527
Έκθεση-νοτιοανατολική	0,127	0,02	75,3	1	0,00	1,135
Έκθεση-βορειοδυτική	1,038	0,02	2899,3	1	0,00	2,824
Έκθεση-ανατολική	0,319	0,02	469,2	1	0,00	1,376
Έκθεση-βόρεια	0,948	0,02	2846,3	1	0,00	2,580
Έκθεση-δυτική	0,554	0,02	909,6	1	0,00	1,739
Έκθεση-νοτιοδυτική	0,219	0,02	178,2	1	0,00	1,245
Έκθεση-βορειοανατολική	0,577	0,02	1360,8	1	0,00	1,780
Σταθερός όρος	-7,032	0,09	6152,4	1	0,00	0,001

μεταβλητές στο λογιστικό μοντέλο. Για κάθε τιμή της παραμέτρου δημιουργείται από το μοντέλο μια δίτιμη μεταβλητή (π.χ. Διάβρωση-1, Διάβρωση-2, κτλ.) που δηλώνει παρουσία ή απουσία της συγκεκριμένης τιμής.

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα 1 για την σημαντικότητα της κάθε μεταβλητής, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του κριτηρίου Wald τόσο πιο εύκολα μπορούμε να απορρίψουμε την

μηδενική υπόθεση ($b_i = 0$). Η τιμή Sig. (Significance) η οποία προέρχεται από την σύγκριση του κριτηρίου Wald με τιμές της κανονικής κατανομής $(z = \frac{b_i}{se(b_i)})$ ή της κατανομής χ^2 $\left(\left[\frac{b_i}{se(b_i)}\right]^2\right)$, μας δείχνει πότε πρέπει να κάνουμε δεκτή ή όχι την αντίστοιχη μεταβλητή που εξετάζουμε (p= 0,01).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα ανάλυσης λογιστικής παλινδρόμησης για τις ανεξάρτητες μεταβλητές

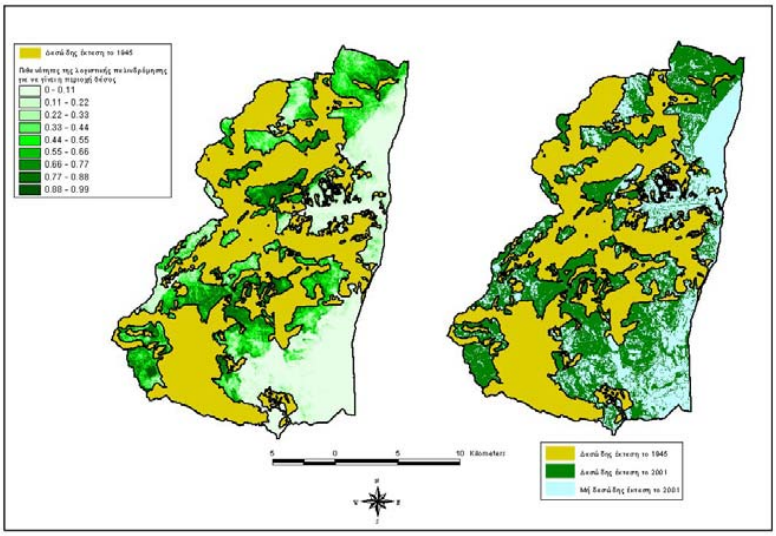
Όπως μπορούμε να δούμε από τον Πίνακα 1, μόνο η τιμή 3 του βάθους του εδάφους σύμφωνα με το στατιστικό τεστ Wald δεν είναι στατιστικά σημαντική και έτσι απορρίπτεται η συμμετοχή της στην εφαρμογή της παλινδρόμησης.
Ο παράγοντας exp(b) υποδηλώνει π.χ. στην κλίση του εδάφους (exp(b)=1,084) ότι για κάθε μια επιπλέον μονάδα επί τις εκατό (%) της κλίσης του εδάφους η πιθανότητα να αναδασωθεί η περιοχή αυξάνει κατά 8,4%.
Η αξιολόγηση της προσαρμογής του λογιστικού μοντέλου που χρησιμοποιήσαμε φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Αξιολόγηση της προσαρμογής της λογιστικής παλινδρόμησης

Cox & Snell R^2	Nagelkerke R^2	Μοντέλο χ^2	df	Sig.
0,328	0,450	233038,54	31	0,000

Οι δείκτες Cox & Snell R^2 και Nagelkerke R^2 δείχνουν μια ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου.
Επαγωγικός έλεγχος γίνεται με το μοντέλο χ^2 όπου μας δείχνει μια πολύ καλή σημαντικότητα ώστε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση.
Ο δείκτης pseudo-R^2 είναι 0,30. Το μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ότι παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμογή όταν ο δείκτης pseudo-R^2 κυμαίνεται μεταξύ 0,2-0,4 [4].
Οι συντελεστές των παραμέτρων που φαίνονται στον Πίνακα 1 χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να προσδιορίσουμε σε κάθε κυψελίδα την πιθανότητα που έχει να γίνει δάσος. Η εκτιμηθείσα πιθανότητα συγκρίθηκε με τις πραγματικές τιμές του χάρτη 2001 (Εικόνα 1). Ο χάρτης του 2001 μετατράπηκε έτσι ώστε να έχει δυο τιμές δηλ. 1 (δάσος) και 0 (μη δάσος). Η

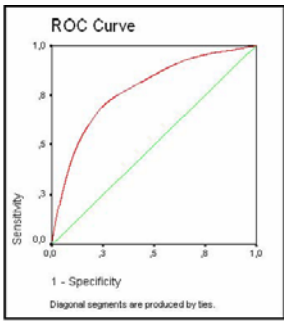
σύγκριση πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή των μεθόδων: ROC και Cohen's Kappa.



Εικόνα 1. Χάρτης πιθανοτήτων που προέκυψαν από την λογιστική παλινδρόμηση και χάρτης του 2001 με τον οποίο θα γίνει η σύγκριση

3.2. Εφαρμογή μεθόδου Receiver Operating Characteristic (ROC)

Η ROC-καμπύλη που δημιουργήθηκε φαίνεται στο Σχήμα 1 και το εμβαδόν εκατέρωθεν της καμπύλης είναι 0,781, που μας δείχνει ότι το μοντέλο της λογιστικής παλινδρόμησης προέβλεψε αρκετά ικανοποιητικά την αναδάσωση στην περιοχή.



Σχήμα 1. Καμπύλη ROC της λογιστικής παλινδρόμησης

3.3. Προσδιορισμός του στατιστικού δείκτη Cohen's Kappa

Για να προσδιορίσουμε την τιμή του δείκτη Cohen's Kappa χρησιμοποιήσαμε τις δυο μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και για την δημιουργία της ROC-καμπύλης. Αυτό που χρειάστηκε επιπλέον είναι να μετατρέψουμε την μεταβλητή που εκφράζει την πιθανότητα που εξάγεται από το μοντέλο της λογιστικής παλινδρόμησης σε μια δίτιμη μεταβλητή σύμφωνα με το παρακάτω σενάριο:
Οι πιθανότητες της λογιστικής παλινδρόμησης κατηγοριοποιήθηκαν σε δυο τιμές της μεταβλητής p(A):

0 - 0,35 0

0,36 - 1 1

Ο Πίνακας 3 δείχνει τον αριθμό των κυψελίδων που υπάρχει σύμπτωση των δυο χαρτών.

Πίνακας 3

		Δάσος 2001	Total		
			0,00	1,00	
P(A)	0,00	194127	127005		321132
		1,00	46641	213357	259998
Σύνολο		240768	340362		581130

Η τιμή του στατιστικού δείκτη Cohen's Kappa υπολογίστηκε σε 0,413, που δείχνει μια καλή αξιοπιστία στο μοντέλο. Το ποσοστό της σύμπτωσης είναι 70% (194127+213357/581130).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή μοντέλων για τον προσδιορισμό των αλλαγών χρήσεων γης κρίνεται αναγκαία σε πολλές περιπτώσεις γιατί αφορά την προστασία του περιβάλλοντος, τον σχεδιασμό διαφόρων δραστηριοτήτων και την χάραξη πολιτικής.

Στην εργασία αυτή εφαρμόσθηκε η λογιστική παλινδρόμηση για την πρόβλεψη μελλοντικών αλλαγών στις χρήσεις γης. Οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του μοντέλου έδειξε ότι προσαρμόζεται πολύ καλά στα δεδομένα μας.

Οι γεωμορφολογικοί και κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν επηρέασαν τις αλλαγές των χρήσεων γης, όπως επίσης πρέπει να τονίσουμε ότι η προστασία του δάσους το 1980 έπαιξε σημαντικό ρόλο στην αύξηση της δασικής έκτασης που παρατηρείται με τον χάρτη χρήσεων γης του 2001.

Ευχαριστίες
Οι συγγραφείς θα επιθυμούσαν να εκφράσουν τη εκτίμησή τους στο WWF-Ελλάς για την προμήθεια μέρους των δεδομένων. Ευχαριστούμε επίσης το Ίδρυμα Δασικών Ερευνών του Υπουργείου Γεωργίας για την προμήθεια των αναλογικών γεωλογικών και εδαφολογικών δεδομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αδαμακόπουλος. Τ.. Γκατζογιάννης. Σ.. Ποϊραζίδης. Κ.. 1995. Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη δάσους Δαδιάς. Αθήνα, 1995
2. Βαρδάκης. Γ.. Ζιάγκας. Ε.. Νάκος. Γ.. 1996. Vardakis, G. Ziangas, E. Nakos, G. 1996. Εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο χάρτη Μέγα Δέρειου και Σουφλίου κλίμακας 1: 50.000.
3. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. Educ Psychol Meas 1960, 20: 37-46.0
4. Domencich. T. A. And McFadden, D.. 1975. Urban Travel Demand: Behavioural Analysis. North-Holland, Amsterdam.
5. ESRI. 2002. ArcGIS. Redlands California USA.
6. Lambin. E. F.. 1997. Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. Progr. Phys. Geogr. 21. 375-393.
7. Ποϊραζίδης. Κ.. 2002. Συστηματική Παρακολούθηση της Προστατευόμενης Πειοχής του Δάσους Δαδιά – Λευκίμης – Σουφλίου. Καταγραφή χαρακτηριστικών τοπίου δάσους Δαδιάς περιόδου 2001. WWW-Ελλάς. Αθήνα. 38 σελ. (Αδημοσίευτη εργασία).
8. Schneider. L. C. And Pontious. R. G.. 2001. Modelling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems and Environment. 85. 83-94.
9. Stephene. N. And Lambin. E. F.. 2001. A dynamic simulation model of land use change in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). Agriculture, Ecosystems and Environment. 85. 145-161.
10. Van Laake. P. E. And Sanchez-Azofeifa. G. A.. 2004. Focus on deforestation: zooming in on hot spots in highly fragmented ecosystems in Costa Rica. Agriculture, Ecosystems and Environment. 102. 3-15.

11. Veldakamp. A. And Fresco. L. O.. 1996. CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. Ecological Modelling. 91. 231-248.

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΙΣΟΔΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ

Δ. Μπόχτης, Σ. Βουγιούκας και Κ. Ακριτίδης
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονική Σχολή,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη, θυρίδα 275.
Τηλ. 2310998721, Φαξ. 2310998729, email: dionmpo@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται σύστημα ελέγχου υψηλής ακρίβειας της θερμοκρασίας του αέρα εισόδου σε εγκατεστημένο πειραματικό ξηραντήριο. Αντί του «κλασικού» ελέγχου θερμοκρασίας όπου η παρεχόμενη ισχύς στο σύστημα είναι αναλογικό μέγεθος, επιχειρήθηκε ένας πιο οικονομικός έλεγχος με την παρεχόμενη ισχύ να είναι διακριτοποιημένο μέγεθος. Πριν την πειραματική υλοποίηση του έγινε ακριβής θεωρητική μελέτη μέσω προσομοίωσης, καθώς και σύγκρισή με άλλα υπάρχοντα συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Με βάση τα θεωρητικά αποτελέσματα και με την επιτόπου ρύθμιση παραμέτρων το μέσο σφάλμα σταθερής κατάστασης κατά την λειτουργία του συστήματος βρέθηκε αρκετά ικανοποιητικό της τάξης του 0,25%.

Λέξεις κλειδιά: αυτόματος έλεγχος, ξήρανση, θερμοδυναμικό σύστημα

DIGITAL CONTROL OF INLET AIR TEMPERATURE IN AN EXPERIMENTAL DRYING SYSTEM

D. Bochtis, S. Vougioukas, C. Akritidis
Aristotle University of Thessaloniki, Dept. of Agricultural Engineering
54124 Thessaloniki, Greece, Box 275, email: dionmpo@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper, the design and implementation of a high-precision digital controller for the inlet air temperature in an experimental drying system is presented. Instead of the classic approach where the supplied power is an analog quantity, we attempted a more economical control approach with discrete supplied power. A complete modeling of the dryer is performed and theoretical analysis via simulation is done to compare the proposed and other existing control systems. The dryer was identified and the controller was implemented and tuned for the specific application. The experimentally verified steady-state error of the step response was found to be very good, in the order of 0.25%.

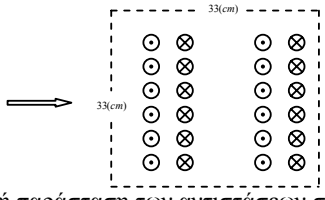
Keywords: control system, drying system, thermodynamic system

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Δεδομένης της σπουδαιότητας του αποτελέσματος της ξήρανσης τόσο στη διάθεση όσο και στη συντήρηση ενός γεωργικού προϊόντος καθώς επίσης και του ότι η διαδικασία της ξήρανσης είναι το τελευταίο στάδιο μιας παραγωγικής διαδικασίας που πλέον πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της γεωργίας ακριβείας, απαιτείται ακριβής προσδιορισμός αρχικά των παραμέτρων που επηρεάζουν τη ξήρανση και στη συνέχεια μηχανισμοί ελέγχου για την επίτευξη της σταθερότητας των ζητούμενων τιμών τους. Η αναγκαιότητα αυτή είναι μεγαλύτερη σε ένα πειραματικό ξηραντήριο όπου απαιτείται η υλοποίηση πειραμάτων ακριβείας [1].
Η εργασία αυτή ασχολείται με τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα εισόδου σε μια επιθυμητή τιμή, μέσα σε αποδεκτά πλαίσια διακύμανσης, με τη χρήση ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου. Στην πλειοψηφία τους τα συστήματα ελέγχου της θερμοκρασίας χρησιμοποιούν αναλογική ισχύ. Αναλογική τιμή ισχύος θα μπορούσαμε να έχουμε με τη χρήση γεννήτριας παλμών (Pulse Generator, PG) ή με τη χρήση ρυθμιστή πλάτους παλμού (Pulse-Width-Modulated, PWM). Η χρήση των συστημάτων αυτών αποτελεί τον κλασικό τρόπο ελέγχου της θερμοκρασίας, μια όμως σχετικά «ακριβή» λύση, λόγω του κόστους των ηλεκτρονικών ισχύος, σε σχέση με τη χρήση για την οποία προορίζεται [4,5].
Ο τρόπος ελέγχου που θα παρουσιαστεί, με την διαθέσιμη ισχύ να παίρνει διακεκριμένες τιμές (το οποίο γίνεται με την παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων μικρότερης ισχύος), αποτελεί μια οικονομική λύση με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυξάνοντας τον αριθμό των αντιστάσεων περνάμε σταδιακά από την περίπτωση του On – Off ελέγχου σε μια προσέγγιση ελέγχου με αναλογική ισχύ. Όπως θα φανεί στη παράγραφο της σύγκρισης αναλογικού – ψηφιακού ελέγχου όταν ο αριθμός των καταστάσεων είναι πάνω από έξι η προσέγγιση είναι αρκετά ικανοποιητική.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

Στο πειραματικό ξηραντήριο, στο οποίο έγινε η εφαρμογή του ψηφιακού συστήματος ελέγχου της θερμοκρασίας, η ξήρανση γίνεται με θερμαινόμενο αέρα υψηλής θερμοκρασίας και με βεβιασμένη ροή. Ο θάλαμος τοποθέτησης του προϊόντος είναι σχήματος παραλληλεπιπέδου και η είσοδος του θερμού αέρα στο θάλαμο αυτό γίνεται από διάτρητο ψευδοπάτωμα. Ο αέρας εισέρχεται στο χώρο του ξηραντηρίου με τη χρήση φυσητήρα.
Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά. Το στόμιο εισόδου του ατμοσφαιρικού αέρα είναι κυκλικό με διάμετρο D=12cm. Η μέγιστη ταχύτητα του αέρα όπως μετρήθηκε στην είσοδο είναι V=11,8m/s, και όπως προκύπτει η παροχή του θα είναι Q=0,133m3/s. Ο αέρας μετά την είσοδο του οδηγείται μέσω σωληνώσεων στον θάλαμο των αντιστάσεων. Ο χώρος αυτός είναι σχήματος παραλληλεπιπέδου και οι διαστάσεις του είναι 40x33x33 (cm). Ο αριθμός των αντιστάσεων είναι δώδεκα. Όλες οι αντιστάσεις είναι σε σχήμα πέταλου (τύπου θερμοσίφωνα) και είναι διατεταγμένες όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Πριν την είσοδο του αέρα στο θάλαμο των αντιστάσεων γίνεται διεύρυνση του σωλήνα μεταφοράς έτσι ώστε η κατανομή της ταχύτητας του αέρα να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφη. Η αύξηση του τυρβώδους της ροής του αέρα γίνεται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση όσο απομακρυνόμαστε από το κεντρικό σημείο εισόδου και προς τις δύο κατευθύνσεις, και κατά την οριζόντια διεύθυνση όσο απομακρυνόμαστε από τον επίπεδο εισόδου.



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση των αντιστάσεων στο εσωτερικό του θαλάμου.

Παροχή Ισχύος. Οι δώδεκα αντιστάσεις τροφοδοτούνται από τριφασικό ρεύμα με συνδεσμολογία μεταξύ μίας φάσης και του ουδέτερου. Δηλαδή η τάση στα άκρα κάθε αντίστασης είναι V=270V (ενεργός τιμή τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος). Το ρεύμα που διαρρέει κάθε αντίσταση όπως μετρήθηκε είναι I=10A (ενεργός τιμή έντασης εναλλασσόμενου ρεύματος). Η μέση ισχύς κάθε αντίστασης είναι P=VI=2.700W και η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς του συστήματος P_{max}=12xP=32,4 KW.

3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

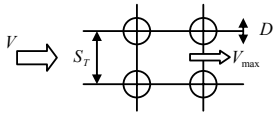
3.1 Θερμοδυναμικό Μοντέλο

(Δείκτες: ∞ αέρας, R αντίσταση, M περιβάλλον μέταλλο. Μεγέθη: m μάζα, ν κινηματικό ιξώδες, k θερμική αγωγιμότητα, S επιφάνεια, V ταχύτητα, T θερμοκρασία, C θερμοχωρητικότητα, t χρόνος, σ σταθερά Stefan-Boltzmann).

Λόγω της ροής ρευστού, υπεισέρχονται οι αριθμοί Reynolds, Nusselt, Prandtl (Pr), καθώς και μεγέθη όπως το κινηματικό ιξώδες, συντελεστές απωλειών, συντελεστές μεταφοράς κ.α.. Με βάση εμπειρικών σχέσεων [7] και με χρήση πινάκων για τον προσδιορισμό σταθερών καθώς και τη χρήση συντελεστών διόρθωσης η σχέση υπολογισμού του συντελεστή συναγωγής h μεταξύ του κινούμενου αέρα και μιας αντίστασης για τις συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να γραφεί:

$$h = 0,26 \cdot \left(\frac{V}{\upsilon(T_\infty)} \right)^{0,6} \cdot D^{-0,4} \cdot [k(T_\infty)] \cdot [Pr(T_\infty)]^{0,62} \cdot [Pr(T_R)]^{-0,25} \qquad (1)$$

Ο συντελεστής συναγωγής λόγω της ενίσχυσης της τυρβώδους ροής, αυξάνει αυξανομένου του αριθμού της σειράς έως περίπου τη πέμπτη σειρά [3] μετά την οποία υπάρχει μικρή αλλαγή στο τυρβώδες και άρα στο συντελεστή συναγωγής. Για τον μέσο συντελεστή συναγωγής η τιμή της ταχύτητας που χρησιμοποιείται είναι η μέγιστη ταχύτητα του αέρα που αναπτύσσεται στην περιοχή με την ελάχιστη δίοδο ροής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



$$V_{\max} = \frac{S_T}{S_T - D} V$$

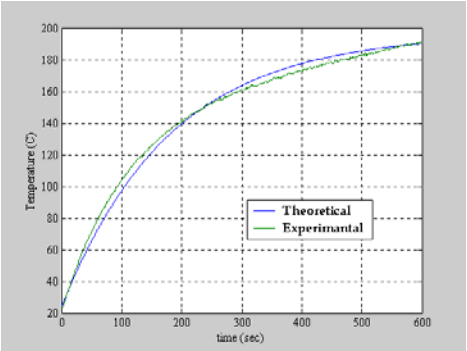
Σχήμα 2. Ροή αέρα διαμέσου ευθυγραμμισμένης διάταξης κυλίνδρων.

Για την εξαγωγή του συνολικού μοντέλου ανταλλαγής θερμότητας έχουν ληφθεί υπόψη ο ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας της αντίστασης, ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται θερμότητα στην επιφάνεια επαφής μεταξύ του αέρα και της αντίστασης, ο

ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ της επιφάνειας της αντίστασης και της επιφάνειας του περιβάλλοντος μετάλλου, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας για το περιβάλλον μέταλλο λόγω ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του κινούμενου αέρα και της επιφάνειας του. Το σύστημα διαφορικών εξισώσεων που προκύπτει για την περιγραφή του συστήματος εναλλαγής θερμότητας είναι:

$$
\begin{aligned}
m_R c_R \frac{dT_R}{dt} &= P_R - hS_R(T_R - T) - \varepsilon\sigma S_R(T_R^4 - T_M^4) \\
m_M c_M \frac{dT_M}{dt} &= -h_M S_M(T_M - T) + \varepsilon\sigma S_M(T_R^4 - T_M^4) \\
\rho CV \frac{dT}{dt} &= \dot{m}C(T_{atm} - T) + hS_R(T_R - T) + h_M S_M(T_M - T)
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει με τις παραδοχές ότι η χωρητικότητες των υλικών της αντίστασης και της επιφάνειας του περιβάλλοντος μετάλλου καθώς και ο συντελεστής εκπεμπτικότητας ε της επιφάνειας της αντίστασης είναι μεγέθη σταθερά, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία, καθώς και ότι η θερμοκρασία της αντίστασης κατανέμεται ομοιόμορφα σε κάθε χρονική στιγμή. Έχει γίνει επίσης η παραδοχή ότι ο αέρας συμπεριφέρεται σαν ασυμπίεστο ρευστό. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται μόνο στον ρυθμό μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας του, γιατί στους υπόλοιπους όρους η συμπιεστότητα του αέρα έχει συμπεριληφθεί εμμέσως λόγω της χρήσης εμπειρικών εξισώσεων. Οι παραδοχές αυτές όπως θα φανεί τελικά δεν επηρεάζουν την ικανοποιητική χρήση του μοντέλου. Το σύστημα διαφορικών εξισώσεων επιλύθηκε με πεπερασμένες διαφορές. Στο διάγραμμα του σχήματος 3 παρουσιάζεται η σύγκριση της μεταβολής της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα συναρτήσει του χρόνου, για την λειτουργία και των δώδεκα αντιστάσεων, όπως αυτή προέκυψε από τη λύση του συστήματος και όπως αυτή μετρήθηκε.



Σχήμα 3. Θεωρητική και πειραματική απόκριση του συστήματος.

3.2 Συνάρτηση Μεταφοράς

Η περιγραφή του συστήματος έχει γίνει με τη μέθοδο των μεταβλητών κατάστασης [2]. Για την εξαγωγή της συνάρτησης μεταφοράς είναι απαραίτητη η ιδιότητα της γραμμικότητας[6]. Στο σύστημα των διαφορικών εξισώσεων (2) που περιγράφουν το σύστημα εναλλαγής θερμότητας υπάρχει ο μη γραμμικός όρος $\varepsilon\sigma S_R(T_R^4 - T_M^4)$.

Ο όρος αυτός πολλαπλασιασμένος με κάποιο συντελεστή, αφαιρείται στη διαφορική εξίσωση που περιγράφει τη μεταβολή της θερμοκρασίας των αντιστάσεων (απώλεια θερμότητας λόγω

ακτινοβολίας), ενώ προστίθεται στη διαφορική εξίσωση που αφορά τη μεταβολή της θερμοκρασίας του μετάλλου του θαλάμου των αντιστάσεων (εισροή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας). Η θερμοκρασία που προκύπτει για τον αέρα επηρεάζεται από τους δύο αυτούς όρους μέσω των θερμοκρασιών των αντιστάσεων και του περιβάλλοντος μετάλλου. Έτσι τελικά ο μη γραμμικός όρος πολλαπλασιάζεται με συντελεστή του οποίου η τάξη μεγέθους είναι 10^{-2} .

Η τάξη μεγέθους του γινομένου της επιφάνειας της αντίστασης και της σταθεράς Stefan-Boltzmann είναι 10^{-11} . Η συμμετοχή του μη γραμμικού όρου ελαχιστοποιείται, εφόσον πολλαπλασιάζεται τελικά με συντελεστή τάξης 10^{-13} , σε σχέση πάντα με τους υπόλοιπους γραμμικούς όρους. Έτσι, η επίδραση του όρου αυτού στις δύο εξισώσεις είναι αμελητέα, με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται η εφαρμογή της διαδικασίας γραμμικοποίησης μέσω σειρών Taylor γύρω από σημεία λειτουργίας. Η φυσική ερμηνεία της παραπάνω παράληψης είναι το ότι το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που διαδίδεται μέσω ακτινοβολίας από τις αντιστάσεις στο μέταλλο του θαλάμου, μεταφέρεται εμμέσως στον αέρα μέσω συναγωγής με την επιφάνεια του μετάλλου αυτού. Με την παράληψη του όρου αυτού μειώνουμε ελάχιστα την δυναμική του συστήματος. Το σύστημα χωρίς τον μη γραμμικό όρο με λύση ως προς τις πρώτες παραγώγους και με αντίστοιχη διάταξη των όρων προκύπτει:

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_R \\ \dot{T}_M \\ \dot{T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{hS_R}{m_R c_R} & 0 & \frac{hS_R}{m_R c_R} \\ 0 & -\frac{h_M S_M}{m_M c_M} & \frac{h_M S_M}{m_M c_M} \\ \frac{hS_R}{\rho CV} & \frac{h_M S_M}{\rho CV} & -\frac{\dot{m}C + hS_R + h_M S_M}{\rho CV} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_R \\ T_M \\ T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{m_R c_R} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot P_R \qquad (3)$$

Το σύστημα των διαφορικών εξισώσεων γράφεται στη συμπαγή μορφή

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{G} \cdot u \qquad (4)$$
$$y = \mathbf{H} \cdot \mathbf{x}$$

όπου u η είσοδος του συστήματος και y η έξοδος, **H** ο πίνακας εξόδου ο οποίος είναι ένας πίνακας γραμμή **H**=[0 0 1], και $\mathbf{x}$, $\dot{\mathbf{x}}$ οι πίνακες των μεταβλητών και των πρώτων παραγώγων τους αντίστοιχα. Εφαρμόζοντας τον μετασχηματισμό Laplace στις δύο παραπάνω εξισώσεις και με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος :

$$G(s) = \frac{1{,}1327 \cdot 10^{-4} s + 1{,}4158 \cdot 10^{-6}}{s^3 + 3{,}867 s^2 + 0.00695 s + 2{,}664 \cdot 10^{-4}} = \frac{-0{,}2945 \cdot 10^{-4}}{s + 3{,}849} + \frac{0{,}0002 \cdot 10^{-4}}{s + 0{,}0125} + \frac{0{,}2945}{s + 0{,}0055}$$

Οι πόλοι του συστήματος p_1=- 0,0055 , p_2=- 0,0125 , p_3=- 3,849 και το μηδενικό του συστήματος z=-0,0125.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ-ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗ

Η προσομοίωση του συστήματος ελέγχου έγινε με τη χρήση του υπολογιστικού πακέτου Matlab. Αυξάνοντας συνεχώς την τιμή του αναλογικού κέρδους στο πρόγραμμα της προσομοίωσης η πρώτη εμφανής υπερύψωση παρουσιάζεται για την τιμή 2.500, άρα το τελικό

κέρδος είναι K_u=2.500. Η τελική περίοδος είναι P_u=4sec. Με βάση τη μέθοδο ρύθμισης κερδών Zeigler-Nichols προκύπτουν τα βέλτιστα κέρδη:

PI ελεγκτής:

$$Kp = 0,45 \cdot K_u = 1.125$$

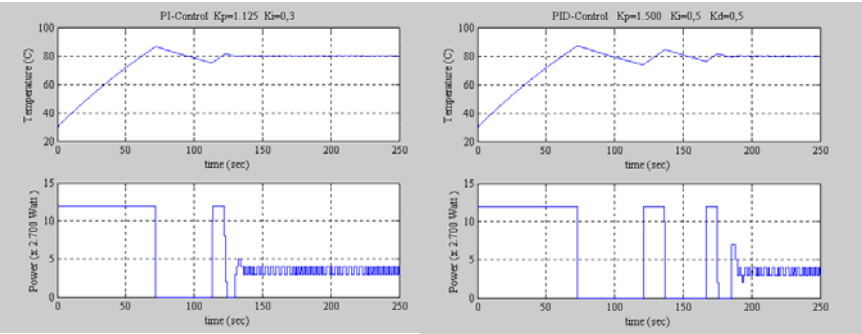
$$Ki = \frac{1,2}{P_u} = 0,3$$

PID ελεγκτής:

$$Kp = 0,6 \cdot K_u = 1.500$$

$$Ki = \frac{2}{P_u} = 0,5, Kd = \frac{P_u}{8} = 0,5$$

Η συμπεριφορά του συστήματος για τους δύο τύπους ελεγκτή φαίνεται στα διαγράμματα του Σχήματος 4 όπου όπως ήταν αναμενόμενο με τη προσθήκη διαφορικού ελέγχου αυξήθηκε η δυναμική του συστήματος. Στο σύστημα το οποίο εξετάζουμε ο ενεργοποιητής έχει πεπερασμένο δυναμικό εύρος. Δεν μπορούμε να δώσουμε ισχύ πάνω από το όριο των 32,4 KW. Το αντίστοιχο κάτω όριο του ενεργοποιητή είναι η τιμή μηδέν γιατί δεν υπάρχει σύστημα ψύξης. Σε συστήματα σαν αυτό κατά τη χρήση ολοκληρωτικού ελέγχου εμφανίζεται το φαινόμενο κόρου ολοκληρωτικού ελέγχου (integrator windup - reset windup). Ο κλασικός τρόπος αντιμετώπισης αυτού του φαινόμενου κατά τον οποίο τίθεται εκτός λειτουργίας ο ολοκληρωτής κάθε φορά που η ισχύς του συστήματος βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού, είτε θετικού είτε αρνητικού, δεν είναι κατάλληλος για το συγκεκριμένο σύστημα λόγω των συχνών καταστάσεων κορεσμού.



Σχήμα 4. PI και PID έλεγχος με βάση τα κέρδη από τη μέθοδο Ziegler-Nichols.

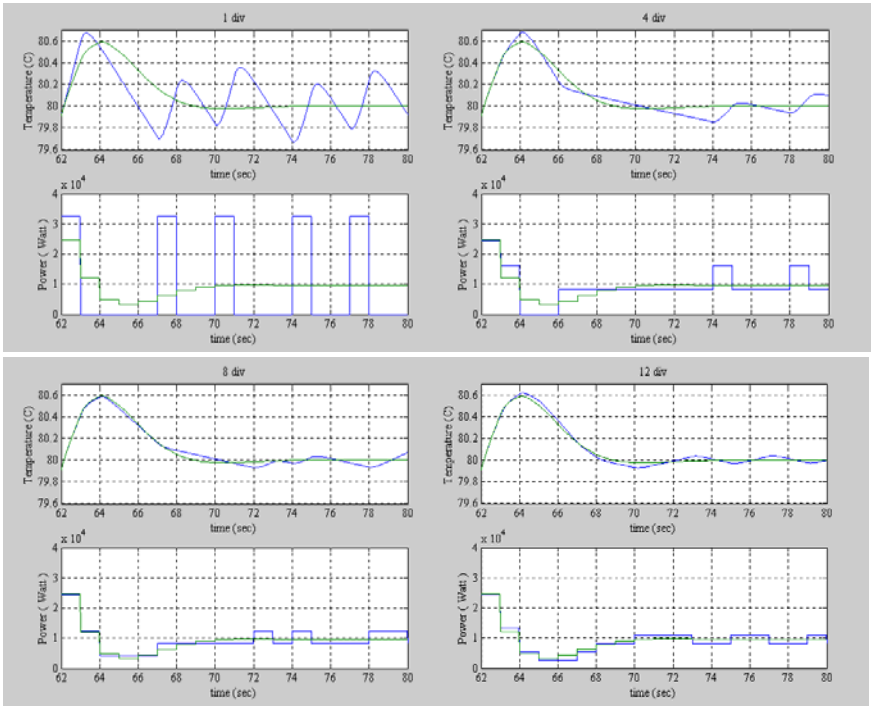
Στη παρούσα εφαρμογή η λειτουργία - επανεκκίνηση του ολοκληρωτή επιλέχτηκε να εξαρτάται από την απόλυτη τιμή του ποσοστιαίου σφάλματος. Έτσι ο ολοκληρωτής ξεκινά τη λειτουργία του όταν το σφάλμα γίνει μικρότερο από μια προκαθορισμένη τιμή. Με τη μελέτη μιας σειράς προσομοιώσεων βρέθηκε ότι είναι η τιμή αυτή είναι το 10% της θερμοκρασίας αναφοράς.

Το ενδιαφέρον μέρος της προσομοίωσης είναι η σύγκριση μεταξύ του ελέγχου όπου η ισχύς είναι αναλογικό μέγεθος και του ελέγχου μέσω διακεκριμένων τιμών ισχύος. Σαν ευνοϊκότερη περίπτωση διακεκριμένων τιμών θεωρούμε την υπάρχουσα δυνατότητα παροχής ισχύος, δηλαδή μοίρασμα της ισχύος σε δώδεκα υποδιαιρέσεις (δώδεκα αντιστάσεις). Με σταθερή την τιμή της μέγιστης ισχύος (32.400 Watt) αυξάνουμε συνεχώς τον αριθμό των υποδιαιρέσεων της, ξεκινώντας από μία και φθάνοντας στις δώδεκα. Σκοπός μας είναι να φανεί ότι πλησιάζοντας στην περίπτωση των δώδεκα υποδιαιρέσεων η συμπεριφορά του συστήματος προσεγγίζει ικανοποιητικά την συμπεριφορά συστήματος με αναλογικό σήμα ελέγχου. Στον Πίνακα 1. βλέπουμε πως μειώνεται το σφάλμα σταθερή κατάστασης αυξανομένου του αριθμού των διαθέσιμων υποδιαιρέσεων της ισχύος.

Πίνακας 1. Σφάλμα σταθερής κατάστασης συναρτήσει αριθμού αντιστάσεων.

Αριθμός Υποδιαιρέσεων	Μέσο σφάλμα %
1	2,085
3	0,847
6	0,472
9	0,298
12	0,150

Στα επόμενα διαγράμματα δίνονται εικονικά οι συγκρίσεις των δύο τρόπων ελέγχου για διάφορες τιμές υποδιαιρέσεων στην ισχύ που παρέχεται στο σύστημα.



Σχήμα 5. Αναλογικός και ψηφιακός έλεγχος με αυξανόμενο αριθμό υποδιαιρέσεων

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

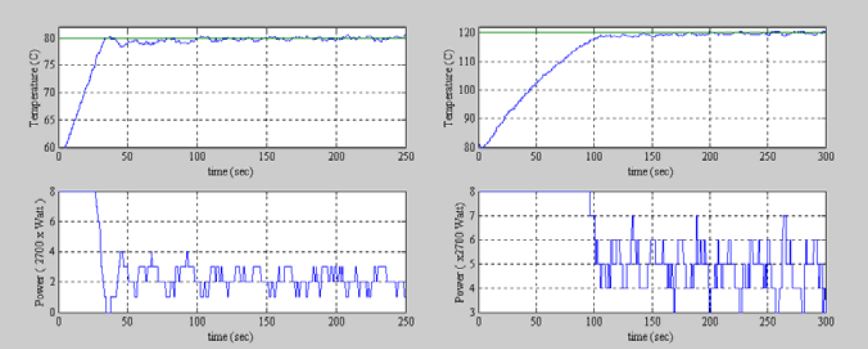
5.1 Υλικά

Για την είσοδο και την έξοδο δεδομένων από τον υπολογιστή χρησιμοποιήθηκε η συσκευή της National Instruments, FieldPoint (Distributed I/O System) και συγκεκριμένα το μοντέλο FP-1000. Η συσκευή αυτή επικοινωνεί με τον υπολογιστή μέσω της θύρας RS-232. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία είναι το FieldPoint Explorer και για τους υπολογισμούς το LabView. Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε το εξάρτημα FP-TC-120 (8-Channel Thermocouple for FieldPoint) συνδεμένο με θερμοζεύγους τύπου K. Το εξάρτημα διαθέτει φίλτρα γραμμικοποίησης και απομάκρυνσης θορύβων στην περιοχή των 50–60Hz. Για την έξοδο ψηφιακών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το εξάρτημα FP-DO-403 (16-Channel Discrete Output Module for FieldPoint). Η συσκευή αυτή διαθέτει 16 κανάλια ψηφιακών εξόδων τα οποία είναι οπτικά μονωμένα. Το σήμα (τάση) κάποιας εξόδου του FP-DO-403 χρησιμοποιείται για την διέγερση ενός Phototriac της πλακέτας, το οποίο για να διεγερθεί χρειάζεται τάση 5 VDC. Η πλακέτα των ηλεκτρονικών έχει 12 εισόδους στις οποίες καταλήγουν οι 12 ψηφιακές έξοδοι του FieldPoint (FP-DO-403) και τροφοδοτούν τις αντίστοιχες εισόδους με τάση είτε 0V (κατάσταση OFF) είτε 5V (κατάσταση ON). Οι δώδεκα αυτές είσοδοι είναι συνδεδεμένες με 12 αντίστοιχα Optocouplers (K3020P) τα οποία διεγείρονται με την τάση των 5V. Τα Optocouplers οδηγούν αντίστοιχα 12 Triacs (BTA41A/B) τα οποία χρησιμοποιούνται σαν Relay υψηλής ταχύτητας για τις αντιστάσεις του ξηραντηρίου .

Τέλος υπάρχουν και 3 είσοδοι των αντίστοιχων τριών φάσεων του τριφασικού ρεύματος. Από κάθε φάση τροφοδοτούνται 4 αντιστάσεις. Για την αποφυγή υπερθέρμανσης κάποιου τομέα, λόγω των υψηλών ρευμάτων, θα πρέπει να λειτουργεί όσο το δυνατόν διακοπτόμενα, αναλόγως των απαιτήσεων του ελεγκτή. Ακόμα ποιο βασικό στοιχείο όμως είναι η αποφυγή υπερθέρμανσης των TRIACS που επιτρέπουν τη διέλευση του ρεύματος σε κάθε ένα από τα δώδεκα κανάλια, η οποία αποφυγή επιτυγχάνεται με την όσο το δυνατό διακοπτόμενη λειτουργία τους. Με βάση τα παραπάνω, η επιλογή των εν λειτουργία καναλιών αναλόγως της ζητούμενης κατάστασης, είναι παρόμοια με τον χάρτη λειτουργίας των κυλίνδρων ενός κινητήρα.

5.2 Λειτουργικότητα του Συστήματος

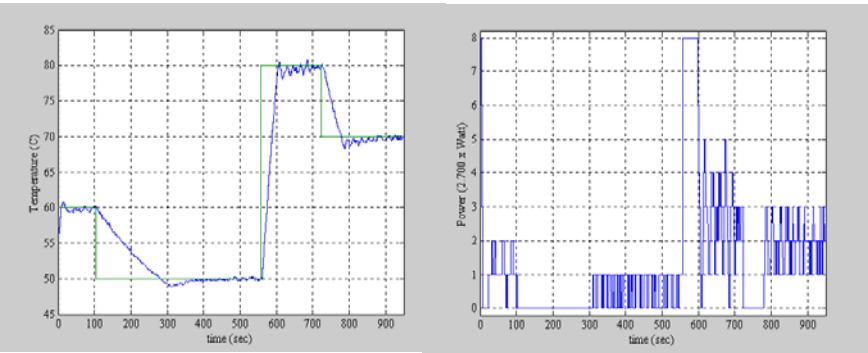
Στις παρακάτω μετρήσεις για διαφορετικές θερμοκρασίες αναφοράς έχει χρησιμοποιηθεί PI – έλεγχος με τα κέρδη που προέκυψαν από τη μέθοδο Ziegler – Nichols. Για θερμοκρασία αναφοράς 80 ^{0}C κατά τη κατάσταση σταθερής λειτουργίας τα μέσο σφάλμα είναι 0,23 ^{0}C ή ποσοστιαία 0,28% και η απόκλιση 0,16. Στη θερμοκρασία αναφοράς 120 ^{0}C έχουμε μέσο σφάλμα 0,36^{0}C, ποσοστιαία 0,30% και απόκλιση 0,25 (Σχήμα 6.). Στο σχήμα 7. φαίνεται ένα στιγμιότυπο της λειτουργίας του συστήματος με μεταβολές της θερμοκρασίας αναφοράς.



Σχήμα 6. Αναλογικός – Ολοκληρωτικός έλεγχος με κέρδη Ziegler – Nichols

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το βασικό ενδιαφέρον της εργασίας ήταν η επιβεβαίωση της αρχικής σκέψης ελέγχου του συστήματος με διακεκριμένες τιμές ισχύος, η οποία σκέψη εφόσον έδωσε αποτελέσματα που προσεγγίζουν εξαιρετικά τον έλεγχο με διαθέσιμη αναλογική ισχύ,



Σχήμα 7. Στιγμιότυπο λειτουργίας του συστήματος.

αποτελεί μια οικονομική και πρακτική λύση για το πρόβλημα του ελέγχου της θερμοκρασίας σε ξηραντήριο ακόμη και στη περίπτωση που εξυπηρετεί πειραματικούς σκοπούς όπου υπάρχει απαίτηση αυξημένης ακρίβειας .

Όπως έχει αναφερθεί αναλογική τιμή ισχύος θα μπορούσαμε να έχουμε με τη χρήση γεννήτριας παλμών (Pulse Generator, PG) ή με τη χρήση ρυθμιστή πλάτους παλμού (Pulse-Width-Modulated, PWM). Η χρήση των συστημάτων αυτών αποτελεί τον κλασικό τρόπο ελέγχου της θερμοκρασίας, μια «ακριβή» λύση σε σχέση με τη χρήση για την οποία προορίζεται.

Ο τρόπος ελέγχου που παρουσιάστηκε, με την διαθέσιμη ισχύ σε διακεκριμένες τιμές (το οποίο γίνεται με την παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων μικρότερης ισχύος), αποτελεί μια οικονομική λύση με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυξάνοντας τον αριθμό των αντιστάσεων περνάμε σταδιακά από την περίπτωση του On – Off ελέγχου σε μια προσέγγιση ελέγχου με αναλογική ισχύ. Όπως φάνηκε στη παράγραφο της σύγκρισης αναλογικού – ψηφιακού ελέγχου όταν ο αριθμός των καταστάσεων είναι πάνω από έξι η προσέγγιση είναι αρκετά ικανοποιητική. Το

μέσο σφάλμα για την περίπτωση που εξετάστηκε πειραματικά, δηλαδή των δώδεκα αντιστάσεων, κυμαίνεται γύρω από το 0,25%.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ακριτίδης, Κ.Β. 1993. *Ξήρανση – Αποθήκευση Γεωργικών Προϊόντων*. Θεσσαλονίκη.
2. Franklin, G.F., J.D. Powell, and A. Emani-Naeini. 1991. *Feedback Control of Dynamic Systems*. Addison-Wesley Publishing Company.
3. Incropera, F.P., and D.P. Dewitt. 1996. *Introduction to Heat Transfer*, 3rd Edition, School of Mechanical Engineering Purdue University, New York.
4. Kudra T. 1990. *Electrical Drying Techniques.* Drying of solids, ed. by A.S. Mujumdar. Sarita Prakasham N. Delhi.
5. Lopez-Cacicero C.L. 1986. *Elecrical Methods for Drying.* Drying 86. ed. A.S. Mujumdar. Hemispher Publ. Co. Vol1 p.p. 12-21.
6. Rohrs, C.E., J.L. Melsa, and D.G. Schultz. 1996. *Γραμμικά Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου*. Μετάφραση Μ.Ι. Αλεξίου, Θεσσαλονίκη.
7. Zhukauskas, A. 1972. *Heat Transfear from Tubes in Cross Flow*, in J.P. Hartnett and T.F. Irvine, Jr. Eds., Advances in Heat Transfer, Vol 8, Academic Press, New York.

ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΚΛΥΟΜΕΝΟ CO_2, ΜΗΛΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός
Γ.Π.Α., Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά οδός 75, 11855, Αθήνα. Τηλ.: 210 5294035
email: apstore@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας, με βάση την εκλυόμενη ποσότητα CO_2, των συντηρούμενων νωπών φυτικών προϊόντων αμέσως μετά την έξοδο από την τροποποιημένη ατμόσφαιρα εμπεριέχει τον κίνδυνο υπερεκτίμησης της αναπνοής λόγω του έντονου ρυθμού έκλυσης του συσσωρευμένου στους ιστούς CO_2. Στην εργασία αυτή εκτιμήθηκε ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται μετά το άνοιγμα της συσκευασίας για μια αξιόπιστη μέτρηση, του ρυθμού αναπνοής μήλων Delicious Pilafa και Golden Delicious. Μελετήθηκαν θερμοκρασιακές συνθήκες 0, 10 και 16°C και βρέθηκε ότι ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος μειώνεται με την θερμοκρασία και κυμαίνεται από 5 έως 23 ώρες.

MEASURING RESPIRATION RATE OF RAW VEGETABLES STORED IN MAP.

D. Mitropoulos and G. Lambrinos
A.U.A., Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens. Tel.: 210 5294035
email: apstore@aua.gr

ABSTRACT

Measuring respiration rate of fresh produce stored in modified atmosphere packaging, soon after unsealing the package, it maybe unreliable due to high emission of CO_2 accumulated in plants' tissues. Uncertainty is extremely high when respiration rate measurement is based on CO_2 emission. In this work, the required minimum settling period (when the package is unsealed) for a reliable respiration rate measurement, was estimated for two apple cultivars (*Delicious Pilafa* and *Golden Delicious*). From conducted experiments on fruits stored at 0°C, 10°C and 16°C is found, that the minimum period for a reliable respiration estimation decreases with temperature and it varies from 5 to 23 hours.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ένταση της αναπνευστικής δραστηριότητας των συντηρούμενων φρούτων και λαχανικών σχετίζεται πέρα των άλλων παραγόντων και με την φυσιολογική τους ηλικία, την θερμοκρασία αποθήκευσης και την σύνθεση της ατμόσφαιρας στην οποία βρίσκονται, αποτελεί δε ισχυρή ένδειξη του βαθμού ωρίμανσης ή γήρανσης.
Η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας (C.A., M.A.P.) χρησιμοποιείται συχνά για αποτελεσματικότερη συντήρηση φρούτων και λαχανικών. Η αλλαγή της αέριας σύνθεσης γύρω από το προϊόν μπορεί να επιδράσει θετικά μειώνοντας την αναπνευστική δραστηριότητα και επιμηκύνοντας έτσι τον χρόνο συντήρησης [1], [2], [4], [5], [6].
Η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής γίνεται μετρώντας το προσλαμβανόμενο O_2, το εκλυόμενο CO_2 ή και τα δύο. Η τελευταία περίπτωση είναι ασφαλώς η καλύτερη αφού μετρούνται και τα δύο αναπνευστικά αέρια, πολλές φορές όμως καθίσταται δύσκολη συνήθως λόγω του διατιθεμένου εξοπλισμού. Τα όργανα μέτρησης της συγκέντρωσης του O_2 ή και των δύο αναπνευστικών αερίων είναι εργαστηριακά και μεγάλου κόστους. Απεναντίας υπάρχουν όργανα ελαφρά φορητά μικρού κόστους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της αναπνοής καρπών μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης του CO_2 [7].
Η εκτίμηση της αναπνευστικής δραστηριότητας των νωπών φυτικών προϊόντων που συντηρούνται με τροποποιημένη ατμόσφαιρα, ειδικά στην περίπτωση της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας, είναι λεπτή και δύσκολη διαδικασία και γιαυτό πολλές φορές η αναπνοή εκτιμάται μετά από έξοδο του προϊόντος από την τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής των συντηρούμενων προϊόντων χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της φυσιολογική τους ηλικία ως κριτήριο ποιοτικής κατάστασης [3], [8], [9]. Ακριβώς μετά την τοποθέτηση των προϊόντων πάλι σε κανονική ατμόσφαιρα αρχίζει μια διαδικασία μεταβολής της αναπνευστικής δραστηριότητας και έτσι ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα ο ρυθμός αναπνοής σταθεροποιείται συνήθως σε μεγαλύτερες τιμές σχετικά με αυτές που παρατηρούνται στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Ταυτόχρονα το πλεόνασμα του CO_2 που έχει συσσωρευτεί μέσα στους ιστούς λόγω της τροποποιημένης ατμόσφαιρας αρχίζει να διαχέεται προς την ελεύθερη ατμόσφαιρα. Αυτή ακριβώς η έκλυση του πλεονασματικού CO_2 δημιουργεί πρόβλημα στην εκτίμηση του ρυθμού αναπνοής με μεθόδους και όργανα που αναλύουν το συγκεκριμένο αέριο αφού σε αυτή την περίπτωση δεν είναι δυνατό να διαχωριστεί το ποσοστό του CO_2 που οφείλεται στην αναπνοή από το συσσωρευμένο στους ιστούς. Έτσι υπάρχει μια ελάχιστη χρονική περίοδος μετά την έξοδο από την τροποποιημένη ατμόσφαιρα κατά την οποία η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής με βάση το παραγόμενο CO_2 είναι παρακινδυνευμένη έως και αδύνατη.
Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εκτίμηση του ελάχιστου χρόνου που απαιτείται μετά την έξοδο από την ελεγχόμενη ή την τροποποιημένη ατμόσφαιρα για μια ασφαλή μέτρηση, με βάση το εκλυόμενο CO_2, του ρυθμού αναπνοής μήλων που συντηρήθηκαν για κάποιο χρονικό διάστημα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

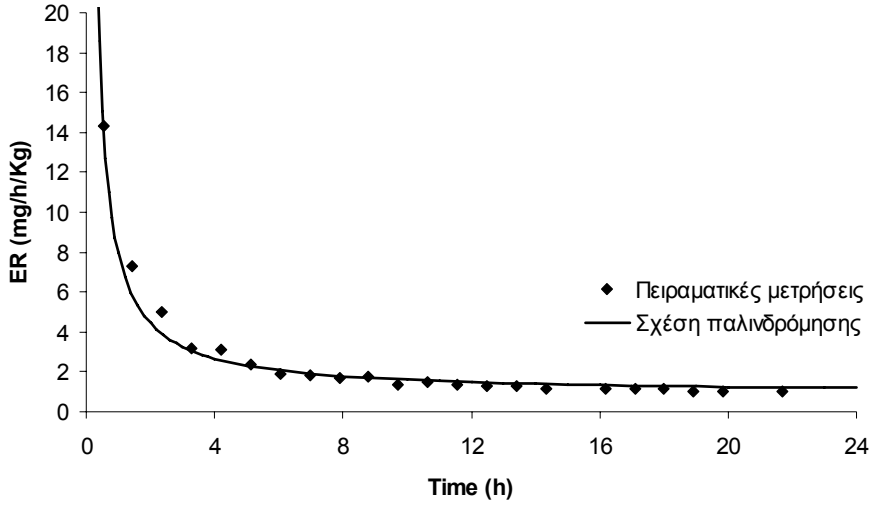
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν μήλα Delicious Pilafa και Golden Delicious η συλλογή των οποίων έγινε στο τέλος Οκτωβρίου. Τα φρούτα μετά από διαλογή έτσι ώστε να είναι ομοιόμορφου μεγέθους και σχήματος, ζυγίστηκαν ατομικά και τοποθετήθηκαν σε σακούλες από πολυαιθυλένιο συγκεκριμένης περατότητας σε O_2 και CO_2. Οι συσκευασίες είχαν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί έτσι ώστε να περιέχουν 4 μήλα συνολικού βάρους 800-900g, το δε μέγεθος τους ήταν 20 × 25cm, οι δε ραφές των συσκευασιών έγιναν με θερμοσυγκολλητική

μηχανή. Τα συσκευασμένα φρούτα τοποθετήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους 0 και 10°C καθώς και σε αποθήκη μέσης θερμοκρασίας 16±4°C.
Σε τακτά χρονικά διαστήματα, κατά την διάρκεια της συντήρησης γινόταν δειγματοληψία και ανάλυση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας με αέριο χρωματογράφο (Perkin Elmer 8700) προκειμένου να ελεγχθεί η σταθεροποίηση της.
Η αναπνοή των φρούτων στις σταθεροποιημένες συσκευασίες μετριόταν με την βοήθεια της ειδικής διάταξης στο χώρο και την θερμοκρασία συντήρησης. Στην συνέχεια οι συσκευασία άνοιγε και τα μήλα τοποθετούνταν ατομικά σε αναπνευστικούς θαλάμους οι οποίοι μέσω κατάλληλου συστήματος αυτοματισμών συνδέονταν διαδοχικά με το σύστημα RIKCLOS ώστε να μετράται και καταγράφεται σε τακτά χρονικά διαστήματα η αναπνοή των καρπών [7]. Η αναπνοή εκφράστηκε σε mg CO_2/h/Kg καρπού.
Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα Statgraphics. Για κάθε φρούτο προσδιορίστηκε μέσω παλινδρόμησης σχέση μεταξύ του ρυθμού του εκλυόμενου CO_2 (ER) και του χρόνου (t) μετά το άνοιγμα της συσκευασίας. Οι σχέσεις αυτές προέκυψαν από δεδομένα που αναφέρονται σε χρόνους από 0,2 έως 24 ώρες μετά το άνοιγμα της συσκευασίας, χρησιμοποιήθηκαν δε στη συνέχεια για τον προσδιορισμό του χρόνου σταθεροποίησης του ρυθμού του εκλυόμενου CO_2.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο σχήμα 1 φαίνεται ενδεικτικά η εξέλιξη του ρυθμού έκλυσης CO_2 με το χρόνο για ένα μήλο Delicious Pilafa που συντηρήθηκε στους 0°C. Η σύνθεση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας πριν το άνοιγμα της συσκευασίας ήταν 3,9% CO_2 και 16,3% O_2.



Σχήμα 1. Εξέλιξη του ρυθμού έκλυσης CO_2 (ER) μετά την έξοδο από τροποποιημένη ατμόσφαιρα μήλου Delicious Pilafa που συντηρήθηκε σε θερμοκρασία 0°C.

Παρατηρείται μια υστέρηση πολλών ωρών μέχρις ότου σταθεροποιηθεί ο ρυθμός έκλυσης του CO_2 που θα αντιπροσωπεύει και τον ρυθμό της αποκατεστημένης αναπνοής του μήλου στον ελεύθερο αέρα.

Από σύγκριση διαφόρων απλών μοντέλων (γραμμικό, εκθετικό, λογαριθμικό, αντίστροφο-Χ, κλπ) προέκυψε ότι καλύτερη σχέση για την περιγραφή της εξέλιξης του ρυθμού έκλυσης ER με το χρόνο είναι η σχέση της μορφής ER=a+b/t, η οποία παρουσιάζει υψηλές τιμές του τετραγώνου του συντελεστή συσχέτισης (R^2). Επιπλέον πλεονεκτήματα του μοντέλου αυτού είναι ότι η τιμή του ER πρακτικά σταθεροποιείται στην τιμή a μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα από το άνοιγμα της συσκευασίας και λαμβάνει μεγάλες τιμές σε μικρούς χρόνους όπως ακριβώς συμβαίνει στην πράξη μετά το άνοιγμα της συσκευασίας. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παλινδρόμησης δεδομένων μήλων Delicious Pilafa. Για κάθε φρούτο έχει υπολογιστεί ο συντελεστής a και b της σχέσης ER=a+b/t, καθώς και τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95. Χρησιμοποιώντας την σχέση παλινδρόμησης για κάθε μήλο προσδιορίστηκε το χρονικό όριο μετά από το άνοιγμα της συσκευασίας πέραν του οποίου ο ρυθμός έκλυσης του CO_2 μπορεί να θεωρείται σταθερός και άρα η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής αξιόπιστη. Στην $11^{η}$ στήλη του πίνακα 1 παρουσιάζεται το χρονικό όριο ($t_{2\%}$) σε h, για το οποίο η μέση ωριαία μεταβολή του ρυθμού έκλυσης CO_2 είναι μικρότερη από 2% θεωρώντας ότι για μικρότερες μεταβολές ο ρυθμός έκλυσης έχει σταθεροποιηθεί.

Από τα στοιχεία του πίνακα 1, με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση προκύπτει ότι ο συντελεστής a δεν εξαρτάται από το μέγεθος (μάζα) των φρούτων αλλά επηρεάζεται σημαντικά (για επίπεδο σημαντικότητας 0,95) από τη θερμοκρασία συντήρησης και την συγκέντρωση του CO_2 στην συσκευασία. Ο έλεγχος αυτός εξάρτησης έγινε με πολλαπλή παλινδρόμηση επειδή οι τιμές της συγκέντρωσης του CO_2 που παρατηρήθηκαν στις συσκευασίες δεν ήταν προκαθορισμένες αλλά διαμορφώθηκαν εν μέρει τυχαία. Ομοίως προέκυψε ότι ο συντελεστής b δεν εξαρτάται (για επίπεδο σημαντικότητας 0,95) ούτε από την θερμοκρασία συντήρησης, ούτε την συγκέντρωση του CO_2 στις συσκευασίες ούτε από το μέγεθος των φρούτων.

Ο ελάχιστος χρόνος ($t_{2\%}$) σταθεροποίησης του ρυθμού έκλυσης (ER) του CO_2, όπως προκύπτει από πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, δεν εξαρτάται από την συγκέντρωση του CO_2 στην συσκευασία

Πίνακας 1. Μεταβολή του ρυθμού έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα (ER) με τον χρόνο (t) μετά την έξοδο από τροποποιημένη ατμόσφαιρα, μήλων Delicious Pilafa. Για τις παλινδρομήσεις χρησιμοποιήθηκε η σχέση ER=a+b/t.

Θερμοκρασία	**Συσκευασία**	**CO_2 (%)**	**O_2 (%)**	**Μήλο**	**a**	**CI-a** *	**b**	**CI-b** *	**R^2**	**$t_{2\%}$** ** **(h)**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*
0	1	3,4	17,0	a	1,655	0,436	2,533	0,642	0,725	8,3
0	1	3,4	17,0	b	0,828	0,163	7,302	0,439	0,979	20,5
0	1	3,4	17,0	c	0,645	0,176	6,962	0,585	0,962	23,0
0	2	3,9	16,3	a	1,035	0,411	6,419	0,560	0,964	17,0
0	2	3,9	16,3	b	0,892	0,243	7,071	0,510	0,977	19,5
0	2	3,9	16,3	c	1,251	0,294	7,213	0,919	0,927	16,5
0	3	16,6	1,4	a	3,693	1,751	3,969	1,490	0,650	6,8
0	3	16,6	1,4	b	1,849	1,028	13,460	2,207	0,918	18,5
0	3	16,6	1,4	c	1,288	0,765	13,953	2,131	0,923	23,0
10	1	6,2	4,7	a	2,531	0,338	3,978	0,499	0,915	8,4
10	1	6,2	4,7	b	2,182	0,223	6,724	0,739	0,936	12,0
10	1	6,2	4,7	c	2,696	0,241	4,770	0,547	0,931	9,0
10	2	3,1	17,0	a	2,138	0,800	4,673	0,661	0,934	10,0
10	2	3,1	17,0	b	1,895	0,712	4,998	1,057	0,880	11,0
10	2	3,1	17,0	c	0,869	0,363	8,607	0,884	0,966	22,0
10	3	5,8	3,2	a	3,738	1,411	5,157	1,231	0,811	7,8
10	3	5,8	3,2	b	2,155	0,724	13,867	1,412	0,962	17,5
10	3	5,8	3,2	c	1,909	0,511	16,087	1,469	0,969	20,0
16	1	4,5	12,3	a	3,492	0,788	4,020	0,686	0,894	7,2
16	1	4,5	12,3	b	2,405	0,536	6,235	0,865	0,932	11,0
16	1	4,5	12,3	c	1,443	0,376	8,751	0,964	0,956	17,0
16	2	5,2	11,2	a	3,088	0,848	4,504	0,995	0,861	8,0
16	2	5,2	11,2	b	3,154	0,407	6,357	0,779	0,949	9,5
16	2	5,2	11,2	c	2,663	0,350	8,607	0,983	0,956	12,3
16	3	6,2	8,5	a	5,729	1,868	2,187	0,764	0,713	3,9
16	3	6,2	8,5	b	3,601	0,904	8,532	1,375	0,921	10,5
16	3	6,2	8,5	c	3,111	0,624	12,691	1,475	0,961	14,0

* Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95. **Χρόνος που αντιστοιχεί σε μέση ωριαία μεταβολή του ER μικρότερη από 2%

Πίνακας 2. Μεταβολή του ρυθμού άκλυσης διοξειδίου του άνθρακα (ER) με τον χρόνο (t) μετά την έξοδο από τροποποιημένη ατμόσφαιρα, μήλων Golden Delicious. Για τις παλινδρομήσεις χρησιμοποιήθηκε η σχέση ER=a+b/t.

Θερμοκρασία	**Συσκευασία**	**CO_2 (%)**	**O_2 (%)**	**Μήλο**	**a**	**CI-a** *	**b**	**CI-b** *	**R^2**	**$t_{2\%}$** ** **(h)**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	2,3	16,0	a	1,099	0,103	2,385	0,246	0,806	8,8
0	1	2,3	16,0	b	0,580	0,062	5,444	0,531	0,935	17,0
0	1	2,3	16,0	c	0,308	0,032	5,124	0,524	0,950	21,0
0	2	12,1	2,5	a	2,107	0,222	2,715	0,280	0,925	6,9
0	2	12,1	2,5	b	0,815	0,077	9,756	0,955	0,952	18,5
0	2	12,1	2,5	c	0,855	0,089	13,082	1,330	0,957	20,5
0	3	2,8	17,1	a	0,546	0,051	5,228	0,512	0,903	17,0
0	3	2,8	17,1	b	0,642	0,067	7,094	0,720	0,941	18,0
0	3	2,8	17,1	c	0,694	0,062	5,799	0,571	0,957	16,0
10	1	4,4	8,3	a	1,721	0,184	3,033	0,290	0,962	8,0
10	1	4,4	8,3	b	1,166	0,120	5,594	0,529	0,957	12,7
10	1	4,4	8,3	c	1,706	0,165	4,228	0,402	0,962	9,5
10	2	3,8	7,3	a	2,333	0,216	3,507	0,345	0,914	7,5
10	2	3,8	7,3	b	1,500	0,156	10,339	1,061	0,978	15,0
10	2	3,8	7,3	c	0,825	0,071	11,325	1,167	0,989	20,0
10	3	2,3	18,0	a	1,498	0,119	3,563	0,346	0,973	9,3
10	3	2,3	18,0	b	1,200	0,088	4,686	0,456	0,973	11,7
10	3	2,3	18,0	c	0,537	0,050	7,863	0,753	0,967	20,0
16	1	7,7	9,3	a	2,406	0,247	1,426	0,139	0,823	4,8
16	1	7,7	9,3	b	1,836	0,169	6,334	0,646	0,995	11,0
16	1	7,7	9,3	c	1,867	0,194	11,036	1,066	0,941	14,0
16	2	5,5	10,2	a	2,305	0,193	3,702	0,319	0,962	7,8
16	2	5,5	10,2	b	1,731	0,178	5,207	0,499	0,930	10,3
16	2	5,5	10,2	c	0,831	0,067	7,218	0,733	0,973	16,5
16	3	4,6	12,6	a	1,797	0,185	3,805	0,349	0,861	8,8
16	3	4,6	12,6	b	2,649	0,238	6,067	0,621	0,968	9,0
16	3	4,6	12,6	c	1,935	0,166	7,436	0,768	0,892	11,7

* Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95. **Χρόνος που αντιστοιχεί σε μέση ωριαία μεταβολή του ER μικρότερη από 2%

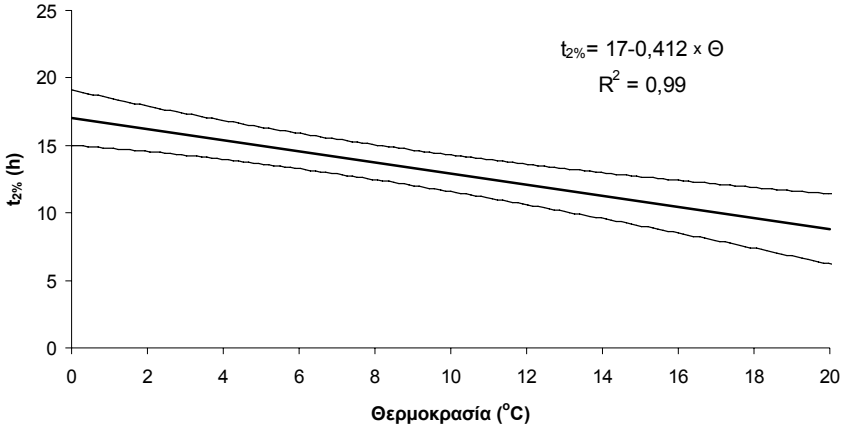
ούτε από το μέγεθος των φρούτων αλλά επηρεάζεται από την θερμοκρασία συντήρησης. Η ανάλυση διασποράς έδειξε ότι όντως η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στον χρόνο σταθεροποίησης του ρυθμού έκλυσης CO_2 για επίπεδο σημαντικότητας 0,95. Η ερμηνεία που δίνεται πρέπει να συνδεθεί με την αύξηση με την θερμοκρασία του εκλυόμενου και διακινούμενου μέσω των μεσοκυτταρίων πόρων αναπνευστικού διοξειδίου του άνθρακα που συμπαρασύρει και τα μόρια του συσωρευμένου από την τροποποιημένη ατμόσφαιρα CO_2. Το χρονικό όριο $t_{2\%}$ συνδέεται με την θερμοκρασία συντήρησης με την σχέση $t_{2\%}$=17,06-0,4124xΘ. Στο σχήμα 2 φαίνεται γραφικά η εξέλιξη του χρονικού ορίου $t_{2\%}$ με την θερμοκρασία συντήρησης καθώς και τα όρια εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται ανάλογα αποτελέσματα που αφορούν τον ρυθμό έκλυσης CO_2 μήλων Golden Delicious που συντηρήθηκαν ομοίως σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η στατιστική ανάλυση έγινε με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω για την ποικιλία Delicious Pilafa. Σύμφωνα με την ανάλυση αυτή ο συντελεστής a της σχέσης ER=a+b/t εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία συντήρησης και όχι από το επίπεδο του CO_2 της τροποποιημένης ατμόσφαιρας όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της ποικιλίας Delicious Pilafa. Ο συντελεστής b όπως και στα μήλα Delicious Pilafa δεν εξαρτάται ούτε από την θερμοκρασία συντήρησης, ούτε από την συγκέντρωση του CO_2 στις συσκευασίες αλλά και ούτε από το μέγεθος των φρούτων. Το χρονικό όριο $t_{2\%}$ για τα μήλα Golden Delicious συνδέεται με την θερμοκρασία συντήρησης με τη σχέση $t_{2\%}$=15.99-0,3446xΘ όπως φαίνεται γραφικά και στο σχήμα 3. Από τα πειραματικά δεδομένα των πινάκων 1 και 2 προκύπτει ότι δεν υπάρχει διαφορά (στατιστικά για επίπεδο σημαντικότητας 0,95) στην συμπεριφορά των δύο ποικιλιών όσο αφορά το χρονικό όριο σταθεροποίησης του ρυθμού αναπνοής (έκλυσης CO_2), που τοποθετείται στις δεκαπέντε έως είκοσι περίπου ώρες, ανάλογα με την θερμοκρασία συντήρησης .

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

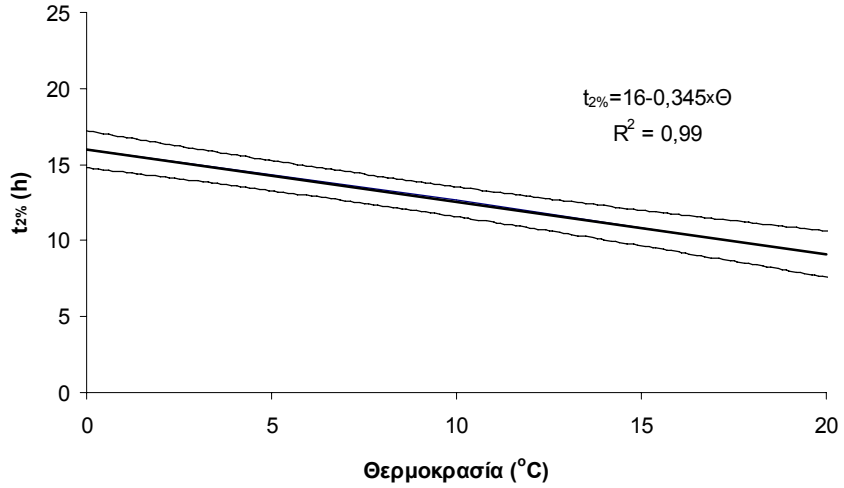
Η σταθεροποίηση του ρυθμού έκλυσης CO_2 μετά την έξοδο των μήλων Delicious Pilafa από τροποποιημένη ατμόσφαιρα (C.A. ή M.A.P.) ώστε να μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αυτός αντιπροσωπεύει την αποκατεστημένη αναπνευστική δραστηριότητα στον ελεύθερο αέρα, επιτυγχάνεται μετά από 15 έως 20 ώρες ανάλογα με την θερμοκρασία. Παρόμοιο χρονικό όριο απαιτείται και για τα μήλα Golden Delicious χωρίς να παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο ποικιλίες.

Η προτεινόμενη σχέση εκτίμησης του χρόνου αυτού σταθεροποίησης συναρτήσει της θερμοκρασίας είναι $t_{2\%}$=17-0,4124xΘ για τα μήλα Delicious Pilafa και $t_{2\%}$=16-0,3446xΘ για τα Golden Delicious.

Οι σχέσεις αυτές είναι χρήσιμες για τον σωστό έλεγχο του σταδίου ωριμότητας των συντηρούμενων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα μήλων Delicious Pilafa ή Golden Delicious και της εκτίμησης του περαιτέρω δυναμικού συντήρησης τους.



Σχήμα 2. Μεταβολή του χρόνου σταθεροποίησης του ρυθμού έκλυσης του CO_2 με την θερμοκρασία συντήρησης για μήλα Delicious Pilafa.



Σχήμα 3. Μεταβολή του χρόνου σταθεροποίησης του ρυθμού έκλυσης του CO_2 με την θερμοκρασία συντήρησης για μήλα Golden Delicious.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Andrich. G. Zinnai. A. Balzini. S. Silvestrini. S. and Fiorentini R. 1994. The kinetic effect of P_{CO2} on the respiration rate of Golden Delicious apple. Acta Horticulturae. 368. 374-381

2. Isenberg. F. M. R. 1979. CA storage of vegetables. Horticultural Review. I. 337-394

3. Kader. A. A. 1985. Postharvest technology of horticultural crops. University of California.

4. Kader. A.A. Zagory. D. and Kerbel. E. L. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 28. 1–30.

5. Lambrinos. G. Manolopoulou. H. and Assimaki. H. 1993. Response of Pilafa Delicious apples to modified atmospheres. Acta Horticulturae. 379. 375-382.

6. Manolopoulou. H. Lambrinos. G. and Vlachou. A-M., 1995. Controlled atmosphere storage of Pilafa Delicious apples in pilote plan. Proceedings of the 19th Int. Congress of Refrigeration. The Hague. The Netherlands, Vol II. 281-286.

7. Mitropoulos. D. Lambrinos. G. and Manolopoulou. H. 2000. A portable setup for fruit respiration measurement. In: F.Artés et al. 'Improving postharvest technologies of fruits, vegetables and ornamentals'. Vol. II. International Institute of Refrigeration Edition. 926-931.

8. Phan. C. T. 1975. Respiration and respiratory climacteric. In Postharvest Physiology Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables. AVI Publ. Co. Westport.

9. Raghavan. G. S. V. and Gariepy. Y. 1989. Respiration activity of vegetables under CA. *ASAE/CSAE Meeting*. Québec. Paper N° 896034.

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΟΥ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΑΚΧΑΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA.

Δ. Μητρόπουλος*, Ε. Μανωλοπούλου**, Γρ. Λαμπρινός*
* Γ.Π.Α., Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά οδός 75, 11855, Αθήνα. Τηλ.: 210 5294035
email: apstore@aua.gr
** Τ.Ε.Ι.-Κ, Σ.ΤΕ.Γ., Αντικάλαμος-24100 Καλαμάτα. Τηλ. 2721045214

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή στοχεύει στη μελέτη της μεταβολής του αμύλου μήλων ποικιλίας Delicious Pilafa τόσο πριν όσο και μετά την συλλογή τους για διάφορες συνθήκες αποθήκευσης. Χρησιμοποιήθηκαν φρούτα τριών καλλιεργητικών περιόδων τα οποία συντηρήθηκαν σε θαλάμους 0 και 10°C καθώς και σε δυο κοινές αποθήκες. Η περιεκτικότητα των φρούτων σε άμυλο εκτιμήθηκε με δοκιμή ιωδίνης σε εγκάρσιες τομές στην ισημεριμή περιοχή των φρούτων μετρώντας το ποσοστό της μεταχρωματισμένης επιφάνειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ποσοστό του αμύλου μειώνεται γραμμικά με το χρόνο τόσο κατά την τελευταία φάση ωρίμανσης πάνω στο δένδρο όσο και κατά την συντήρηση. Ο ρυθμός μείωσης εξαρτάται από την θερμοκρασία συντήρησης και υπερδιπλασιάζεται για αύξηση της θερμοκρασίας από 0 σε 10°C.

STARCH DEGRADATION OF DELICIOUS PILAFA APPLES.

D. Mitropoulos*, H. Manolopoulou and G. Lambrinos***
*A.U.A., Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens. Tel.: 210 5294035
email: apstore@aua.gr
**Technological Educational Institute of Kalamata, Antikalamos, 24100, Kalamata

ABSTRACT

Starch degradation of *Delicious Pilafa* apples was studied at pre– and post-harvest phases and for various storage conditions. The study was extended in three successive cultivation periods. For this cause, apples stored in two refrigerated rooms at 0°C and 10°C and in two common warehouses were used. The fruits were cut across the equator line and starch concentration was quantitatively estimated by iodine stains in terms of percentage stained area compared to the total area. Results revealed that starch concentration decreases linearly with time, during the last phase of maturity on the tree as well as during storage. The rate of decrease depends on storage temperature and it doubles for temperature increase from 0°C to 10°C.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την ωρίμανση των μήλων συμβαίνει πλήθος φυσιολογικών μεταβολών που επηρεάζουν την ποιοτική κατάσταση τους και καθορίζουν τον χρόνο συλλογής. Οι αλλαγές της αναπνευστικής δραστηριότητας, η μετατροπή του αμύλου σε διαλυτά σάκχαρα και η υδρόλυση των πηκτινών είναι μερικές από αυτές τις μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές συνεχίζονται και μετά την συλλογή κατά την διάρκεια της ωρίμανσης και της υπερωρίμανσης / γήρατος [7].
Κατά την συντήρηση η ένταση αυτών των μεταβολών σχετίζεται όπως είναι γνωστό με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης κατά την στιγμή της συλλογής καθώς και τις συνθήκες αποθήκευσης (θερμοκρασία, υγρασία) [1], [7].
Κατά την τελευταία φάση της ζωής των καρπών πάνω στο δένδρο αλλά κυρίως κατά την αποθήκευση είναι χρήσιμες οποιεσδήποτε πειραματικές συσχετίσεις μπορούν να συνδέουν τις παρατηρούμενες μεταβολές στα φρούτα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες συντήρησης ώστε αυτές να χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της ποιοτικής μεταβολής (υποβάθμισης) των συντηρούμενων προϊόντων [6].
Έχει παρατηρηθεί ότι κατά την διάρκεια των τελευταίων εβδομάδων της ζωής των μήλων πάνω στο δένδρο, το ποσοστό του αμύλου μειώνεται αφού μετατρέπεται σε διαλυτά σάκχαρα [2], [4]. Σε εγκάρσιες τομές μήλων στην ισημερινή περιοχή είναι εύκολο να εντοπιστούν οι περιοχές που υπάρχει ακόμη άμυλο με μια απλή δοκιμή ιωδίνης (τεστ αμύλου). Αμέσως μετά την εφαρμογή του διαλύματος ιωδίνης οι περιοχές όπου υπάρχει άμυλο γίνονται σκούρες ενώ στις υπόλοιπες (όπου το άμυλο έχει υδρολυθεί) δεν παρατηρείται αλλοίωση του χρώματος της σάρκας. Η υδρόλυση του αμύλου ξεκινάει από το εσωτερικό του καρπού προς την περιφέρεια. Σε ορισμένες ποικιλίες όπως είναι η Delicious Pilafa η εξέλιξη της μετατροπής αυτής ακολουθεί ακτινική πορεία όπου ο μεταχρωματισμένος (σκούρος) δακτύλιος συνεχώς στενεύει, περιοριζόμενος στην εξωτερική περιοχή του μήλου. Σε κάποιες άλλες ποικιλίες όπως είναι και η ποικιλία Granny Smith η μεταβολή της μετατροπής του αμύλου δεν ακολουθεί καθαρά ακτινική πορεία παρουσιάζοντας σε όλη την επιφάνεια διάσπαρτες περιοχές [4], [5]. Το ποσοστό της επιφάνειας που μεταχρωματίζεται με μορφή ομόκεντρου δακτυλίου χρησιμοποιείται ως ένα επιπλέον κριτήριο προσδιορισμού του χρόνου συλλογής των μήλων [2], [3], [4], [5].
Αν και η υδρόλυση του αμύλου σε διαλυτά σάκχαρα συνεχίζεται και μετά την συλλογή, δεν έχει διαπιστωθεί βιβλιογραφικά η συσχέτισή του με τις συνθήκες και το χρόνο συντήρησης. Συσχετίσεις ανάμεσα στον ρυθμό μεταβολής του αμύλου και στο χρόνο αποθήκευσης σε διάφορες συνθήκες συντήρησης θα ήταν χρήσιμες να χρησιμοποιηθούν ως ένα επιπλέον εργαλείο τόσο για ποιοτική αξιολόγηση συντηρούμενων φρούτων όσο και για πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους σε δεδομένες συνθήκες αποθήκευσης.
Στόχος λοιπόν της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της μεταβολής του αμύλου μήλων ποικιλίας Delicious Pilafa τόσο πριν όσο και μετά την συλλογή τους και για διάφορες συνθήκες αποθήκευσης καθώς και η διερεύνηση πιθανών σχέσεων που συνδέουν την μεταβολή αυτή του αμύλου με το χρόνο.

2. ΥΛΙΚΑ και ΜΕΘΟΔΟΙ

Η μελέτη αναφέρεται σε τρεις καλλιεργητικές περιόδους (1998, 1999 & 2000), η δε καταγραφή της μεταβολής του αμύλου πριν την συγκομιδή έγινε μόνο κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο.
Κατά την διάρκεια του Οκτωβρίου της πρώτης καλλιεργητικής περιόδου και σε τακτά χρονικά διαστήματα έγιναν πέντε δειγματοληψίες των 30 μήλων από τα ίδια πάντοτε δένδρα

προκειμένου να μελετηθεί η μεταβολή της ποσότητας του αμύλου των καρπών πριν την συγκομιδή.

Η κανονική συλλογή γινόταν στο τέλος Οκτωβρίου κάθε καλλιεργητικής περιόδου. Τα φρούτα μετά από διαλογή, ώστε να είναι ομοιόμορφου μεγέθους και σχήματος, ζυγίστηκαν ατομικά, τοποθετήθηκαν ανά 15 σε πλαστικά τελάρα και συντηρήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους 0° και 10^oC (R0 και R10) καθώς και σε δυο κοινές αποθήκες (W1 και W2). 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. Η πρώτη αποθήκη χαρακτηρίζεται από μεγάλη ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας (7^oC) ενώ η δεύτερη από πολύ μικρή (2^oC).

Σε κάθε χώρο αποθήκευσης (χειρισμό) τοποθετήθηκαν 12 τέτοια δείγματα των 15 μήλων. Η μέτρηση της ποσότητας του αμύλου έγινε σε τακτά χρονικά διαστήματα και κάθε φορά χρησιμοποιήθηκε ένα ολόκληρο δείγμα από κάθε χειρισμό.

Τα φρούτα μετά την συντήρηση μεταφέρονταν στο εργαστήριο, παρέμεναν αρκετή ώρα ώστε να αποκτήσουν την θερμοκρασία του περιβάλλοντος ($18\text{-}20^oC$) και στην συνέχεια ζυγίζονταν ατομικά. Εκτός από την περιεκτικότητα του αμύλου μετριόταν η σκληρότητα (αντίσταση στην διάτρηση) με και χωρίς επιδερμίδα (F_s, F_p), καθώς και η ολική συγκέντρωση των διαλυτών στερεών (SSC).

Η περιεκτικότητα του αμύλου εκτιμήθηκε σε εγκάρσιες τομές στην ισημερινή περιοχή των μήλων με δοκιμές ιωδίνης, όπου η επιφάνεια που δεν μεταχρωματίζεται θεωρείται ότι δεν περιέχει πλέον άμυλο. Για τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε διάλυμα ιωδίου 0,05 N που εφαρμόστηκε στο ένα από τα δύο ημισφαίρια κάθε μήλου. Λίγα δευτερόλεπτα μετά την έκθεση των ιστών στο διάλυμα η μεταχρωματισμένη επιφάνεια γίνονταν ευδιάκριτη, οπότε το περίγραμμα της τομής του μήλου καθώς και η διαχωριστική γραμμή μεταξύ μεταχρωματισμένης και ανεπηρέαστης περιοχής αποτυπώνονταν με ανεξίτηλο μαρκαδόρο σε εύκαμπτα πλαστικά διαφανή φύλλα. Για να υπολογιστεί η συνολική και η μεταχρωματισμένη επιφάνεια, έγινε σάρωση των πλαστικών διαφανειών (150 dpi) και στην συνέχεια επεξεργασία με το λογισμικό πρόγραμμα Photoshop. Τελικά η περιεκτικότητα του αμύλου (S) εκφράστηκε ως ποσοστό % της συνολικής επιφάνειας της τομής του φρούτου στο οποίο ανιχνεύτηκε άμυλο.

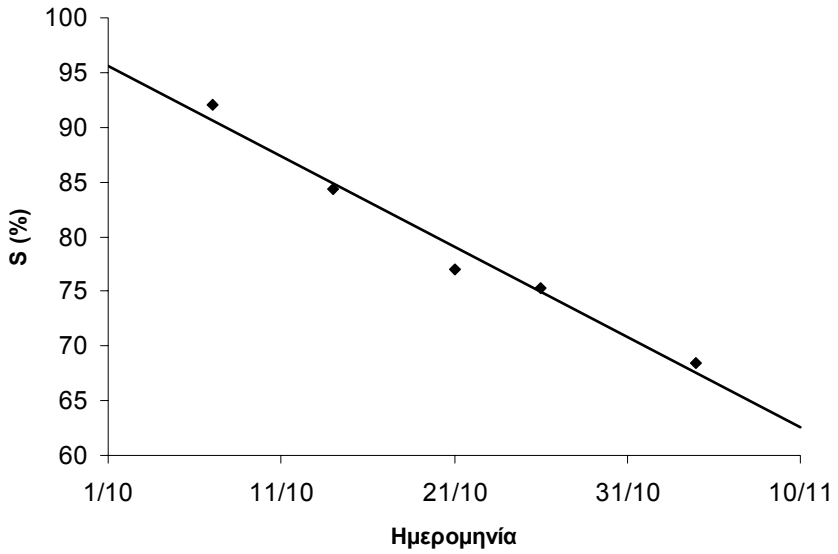
Για τη μέτρηση της σκληρότητας χρησιμοποιήθηκε σκληρόμετρο χειρός τύπου 'Effegi' με καθετήρα διαμέτρου 11 mm. Το σκληρόμετρο είχε προσαρμοστεί σε ειδική βάση για ομοιόμορφη διάτρηση και για ευκολότερο έλεγχο του βάθους διείσδυσης του καθετήρα. Σε κάθε μήλο γίνονταν δύο μετρήσεις με επιδερμίδα (F_s) και δύο χωρίς (F_p) σε αντιδιαμετρικές θέσεις του ισημερινού του καρπού. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφηκαν σε N.

Τα ολικά διαλυτά στερεά (SSC) μετρήθηκαν με επιτραπέζιο διαθλασίμετρο (AST SR 400) και εκφράστηκαν %.

Για την στατιστική επεξεργασία (ανάλυση διακύμανσης και παλινδρόμησης) χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα Statgraphics.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μεταβολή της περιεκτικότητας του αμύλου των φρούτων πριν την συγκομιδή φαίνεται στο σχήμα 1. Με γραμμική παλινδρόμηση εκτιμήθηκε ο μέσος ημερήσιος ρυθμός μεταβολής του ποσοστού αμύλου S και βρέθηκε ίσος με -0,816±0,241 (για επίπεδο σημαντικότητας 0,95) και με R^2=0,975.



Σχήμα 1. Μεταβολή του ποσοστού αμύλου (S) κατά την τελευταία φάση ωρίμανσης των μήλων Delicious Pilafa, πριν την συλλογή.

Στις τρεις καλλιεργητικές περιόδους που μελετήθηκαν, το ποσοστό του αμύλου κατά την συλλογή ήταν S_1=71,4±3,5%, S_2=62,6±8,4% και S_3=60,6±7,8% χωρίς να παρατηρούνται σημαντικές στατιστικά διαφορές μεταξύ τους σε επίπεδο σημαντικότητας 0,95.

Το ποσοστό του αμύλου, όπως είναι αναμενόμενο, μειώνεται κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Προκειμένου να βρεθεί η καλύτερη μορφή σχέσης που μπορεί να αποδώσει τη μεταβολή αυτή με το χρόνο έγιναν παλινδρομήσεις για κάθε συνδυασμό καλλιεργητικής περιόδου και θερμοκρασίας αποθήκευσης. Ο χρόνος αποθήκευσης σε όλες τις περιπτώσεις έχει εκφραστεί σε μέρες. Ως κριτήριο για την επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης (R^2). Κατά τις παλινδρομήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν απλά μοντέλα και αποκλίστηκαν αυτά που προσεγγίζουν ασυμπτωματικά τους άξονες X και Y γιατί είναι δεδομένο ότι το ποσοστό του αμύλου στην αρχή της αποθήκευσης έχει συγκεκριμένη τιμή που μπορεί να κυμαίνεται από 50% έως 70%, επιπλέον σε το ποσοστό αμύλου μηδενίζεται μετά την παρέλευση μερικών εβδομάδων ή μηνών (στις χαμηλές θερμοκρασίες) αποθήκευσης. Στον πίνακα 1 φαίνονται τα αποτελέσματα αυτών των παλινδρομήσεων για τρία μοντέλα συσχέτισης (Linear, Square-root X και square-root Y).

Πίνακας 1. Τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης (R2) τριών μοντέλων

συσχέτισης, του ποσοστού του αμύλου και του χρόνου αποθήκευσης, για όλους τους συνδυασμούς καλλιεργητικών περιόδων και θερμοκρασιών συντήρησης.

Χρονιά	Θερμοκρασία συντήρησης	R^2		
		Linear	SqX*	SqY**
1	R0	0,960	0,842	0,959
1	R10	0,930	0,775	0,929
2	R0	0,857	0,930	0,837
2	R10	0,965	0,963	0,985
3	R0	0,965	0,988	0,991
3	R10	0,942	0,981	0,993
	Μέσο R^2	**0,928**	**0,878**	**0,928**

* Square-root X ** square-root Y

Από τον πίνακα 1 φαίνεται ότι το γραμμικό μοντέλο είναι καλύτερο από το sqX και εξίσου καλό με το SqY. Για λόγους βέβαι απλότητας προτιμήθηκε το γραμμικό μοντέλο έκφρασης της μεταβολής του ποσοστού αμύλου με το χρόνο συντήρησης. Στον πίνακα 1 υπάρχουν παλινδρομήσεις που αναφέρονται μόνο σε χώρους σταθερών συνθηκών (0 και 10°C) συντήρησης.

Στον πίνακα 2 φαίνονται τα αποτελέσματα γραμμικών παλινδρομήσεων για σχέσεις της μορφής $S=a+b\times t$ για κάθε συνδυασμό καλλιεργητικής περιόδου και θερμοκρασίας συντήρησης. Στον πίνακα αυτό έχουν συμπεριληφθεί και παλινδρομήσεις που αφορούν τις δυο αποθήκες (W1 και W2).

Η κλίση b της σχέσης $S=a+b\times t$ εκφράζει την μέση ημερήσια μεταβολή του ποσοστού του αμύλου S. Συγκρίνοντας τις τιμές του πίνακα 2 (για επίπεδο σημαντικότητας 0,95), προκύπτει ότι δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις καλλιεργητικές περιόδους, ενώ αντιθέτως παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ των συνθηκών αποθήκευσης. Σε θερμοκρασία συντήρησης 0°C η μέση ημερήσια μεταβολή του ποσοστού του αμύλου κυμαίνεται από -0,485 έως -0,533%. Σε θερμοκρασία συντήρησης 10 °C η αντίστοιχη ημερήσια μεταβολή κυμαίνεται από -1,239 έως 1,260%. Η αύξηση δηλαδή της θερμοκρασίας συντήρησης από 0 σε 10°C οδηγεί σε περίπου 2,5 φορές αύξηση του ρυθμού υδρόλυσης του αμύλου.

Ανάμεσα στις δυο αποθήκες δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές, ο ρυθμός μάλιστα μεταβολής του αμύλου δεν διαφέρει στατιστικά από αυτόν που παρατηρήθηκε σε θερμοκρασία συντήρησης 10°C. Η συμπεριφορά δηλαδή των δύο αποθηκών πρακτικά ταυτίζεται με αυτή του θαλάμου σταθερής θερμοκρασίας συντήρησης 10°C.

Ο μέσος ημερήσιος ρυθμός μεταβολής του ποσοστού του αμύλου κατά την τελευταία φάση ωρίμανσης στο δένδρο περιλαμβάνεται μεταξύ του ρυθμού που παρατηρείται σε θερμοκρασία συντήρησης 0°C και του αντίστοιχου των 10°C, πλησιάζοντας περισσότερο την συμπεριφορά των μήλων που συντηρήθηκαν στους 0°C. Από συγκρίσεις των τιμών μεταβολής του αμύλου πριν και μετά την συλλογή, φαίνεται ότι ο ρυθμός μείωσης του αμύλου πάνω στο δέντρο δεν διαφέρει στατιστικά από αυτόν σε θερμοκρασία συντήρησης 0°C και για τις τρεις περιόδους συντήρησης. Όσο για το ρυθμό μείωσης του αμύλου σε θερμοκρασία συντήρησης 10°C, αυτός εμφανίζεται εντονότερος εξαιρέσει της πρώτης καλλιεργητικής περιόδου όπου δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης του ποσοστού του αμύλου (S) με το χρόνο συντήρησης (t) για σχέσεις της μορφής $S=a+b\times t$.

Χρονιά	Θερμοκρασία συντήρησης	a		b		R^2
		MO	CL*	MO	CL*	
1	R0	79,66	4,41	-0,523	0,123	0,960
1	R10	81,91	8,60	-1,239	0,269	0,944
1	W1	71,69	7,16	-1,693	0,331	0,981
2	R0	54,10	11,77	-0,485	0,197	0,857
2	R10	59,17	7,36	-1,260	0,333	0,965
2	W1	48,54	11,30	-1,394	1,056	0,771
2	W2	55,30	9,61	-1,361	1,467	0,624
3	R0	55,06	6,30	-0,499	0,109	0,965
3	R10	56,91	5,89	-1,250	0,293	0,972
3	W1	54,24	12,06	-1,317	0,470	0,938
3	W2	54,78	11,96	-1,479	0,467	0,951

* CL: Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95.

Οι παλινδρομήσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 2 αναφέρονται σε σχέσεις της μορφής $S=a+b\times t$ όπου το a είναι μια στατιστική εκτίμησης του ποσοστού αμύλου στην έναρξη της αποθήκευσης. Αν και οι κλίσεις b χαρακτηρίζουν τον ρυθμό μείωσης του αμύλου, εντούτοις αποτελεί πρόβλημα το γεγονός ότι το αρχικό στατιστικά εκτιμούμενο ποσοστό αμύλου δεν ταυτίζεται με αυτό που μετρήθηκε σε κάθε καλλιεργητική περίοδο. Έτσι στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παλινδρομήσεων για σχέσεις της μορφής $S=S_0+c\times t$, όπου S_0 είναι η μετρηθείσα τιμή του αμύλου κατά την συλλογή.

Στον πίνακα 3 οι τιμές του R^2 είναι μικρότερες σε σύγκριση με τον πίνακα 2 ειδικά στην αποθήκη W1 κατά την δεύτερη χρονιά. Αυτό βέβαια είναι αναμενόμενο αφού οι παλινδρομήσεις έγιναν με προϋπόθεση συγκεκριμένη αρχική τιμή του S.

Για κάθε συνδυασμό καλλιεργητικής περιόδου και θερμοκρασίας συντήρησης που εμφανίζεται στους πίνακες 2 και 3, οι τιμές των κλίσεων b ή c δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (για επίπεδο σημαντικότητας 0,95). Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις οι κλίσεις του συντελεστή c είναι εντονότερες από τις αντίστοιχες του b. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι τιμές του πίνακα 3 είναι ασφαλέστερες για τη πρόβλεψη του ρυθμού μεταβολής του ποσοστού αμύλου δεδομένης της θερμοκρασίας συντήρησης.

Όπως και στην περίπτωση των κλίσεων b του πίνακα 2 έτσι και σ' αυτές του πίνακα 3 δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις χρονιές αλλά μόνο μεταξύ των χειρισμών (θερμοκρασία συντήρησης).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα γραμμικής συσχέτισης του ποσοστού αμύλου (S) με το χρόνο συντήρησης (t) για σχέσεις της μορφής $S=S_0+c \times t$.

Χρονιά	Θερμοκρασία συντήρησης	c	CL*	R^2
1	R0	-0,500	0,050	0,937
1	R10	-1,038	0,197	0,909
1	W1	-1,795	0,174	0,975
2	R0	-0,606	0,118	0,783
2	R10	-1,390	0,181	0,950
2	W1	-1,959	0,669	0,578
2	W2	-2,057	0,519	0,676
3	R0	-0,579	0,076	0,930
3	R10	-1,402	0,179	0,951
3	W1	-1,530	0,247	0,905
3	W2	-1,673	0,239	0,929

* CL: Όριο εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95.

Το ποσοστό του αμύλου (ανεξάρτητα της χρονιάς) κατά την διάρκεια της συντήρησης φαίνεται ότι σχετίζεται αρκετά καλά με την σκληρότητα των φρούτων. Με γραμμική παλινδρόμηση των δεδομένων που αφορούν και τις τρεις περιόδους συντήρησης προέκυψαν οι ακόλουθες σχέσεις ανάμεσα στο ποσοστό του αμύλου S (%) και την σκληρότητα F_s και F_p (N).

$S=103,6+1,793 \times F_s$ $R^2=0,713$ (1)

$S=-54.5+1,571 \times F_p$ $R^2=0,854$ (2)

Αντίθετα με την σκληρότητα, η ολική συγκέντρωση των διαλυτών στερεών (SSC) δεν σχετίζεται με το ποσοστό του αμύλου όπως προέκυψε από γραμμική παλινδρόμηση των πειραματικών δεδομένων.

Η χρησιμότητα των σχέσεων 1 και 2 έγκειται στο γεγονός ότι συνδέουν το ποσοστό του αμύλου με ένα χαρακτηριστικό (σκληρότητα) που έχει ιδιαίτερη σημασία για την αποδοχή του φρούτου από τον καταναλωτή. Έτσι η μεταβολή του ποσοστού του αμύλου μπορεί έμμεσα να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της υποβάθμισης της ποιοτικής κατάστασης των συντηρούμενων μήλων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιεκτικότητα του αμύλου στα μήλα Delicious Pilafa, εκφρασμένη ως ποσοστό της επιφάνειας εγκάρσιας τομής στην οποία ανιχνεύεται άμυλο, μειώνεται γραμμικά με το χρόνο κατά την τελευταία φάση ωρίμανσης με μέσο ημερήσιο ρυθμό -0,816±0,241.

Κατά την αποθήκευση, η μείωση του αμύλου είναι επίσης γραμμική συνάρτηση του χρόνου χωρίς να παρατηρούνται διαφορές (στατιστικά) μεταξύ των καλλιεργητικών περιόδων.

Ο μέσος ημερήσιος ρυθμός μείωσης του αμύλου επηρεάζεται από την θερμοκρασία αποθήκευσης. Σε θερμοκρασία 0^oC η μέση ημερήσια μεταβολή του αμύλου είναι της τάξης του 0,5% ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας από 0 σε 10^oC οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού υδρόλυσης του αμύλου κατά 2,5 φορές.

Οι αποθήκες παρουσιάζουν συμπεριφορά ανάλογη με τους θαλάμους συντήρησης θερμοκρασίας 10^oC.

Ανεξάρτητα των συνθηκών αποθήκευσης, παρατηρείται καλή συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας (αντίσταση στη διάτρηση) και του ποσοστού της επιφάνειας στο οποίο ανιχνεύεται άμυλο. Αντιθέτως δεν συσχετίζεται η περιεκτικότητα του αμύλου με την ολική συγκέντρωση των διαλυτών στερεών.

Η καλή γραμμική συσχέτιση που παρατηρήθηκε ανάμεσα στο μετρούμενο ποσοστό αμύλου και τον χρόνο συντήρησης υποδηλώνει ότι το κριτήριο αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο στην πράξη για τον έλεγχο της διαδικασίας συντήρησης των μήλων Delicious Pilafa στα πρώτα τουλάχιστον στάδια της.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Blankenship. S.M. Parker. M. Unrath. R. C. 1997. Use of maturity indices for predicting postharvest firmness of 'Fuji' apples. Hortscience 32, 909-910.

2. BROOKFIELD. P. MURPHY. P. HARKER. R. MACRAE. E. 1997. Starch degradation and starch pattern indices; interpretation and relationship to maturity. Postharvest Biology and Technology. 11:23-20.

3. PEIRS A. SCHEERLINCK N. PEREZ A. B. JANCSOK P. NICOLAI B. 2002. Uncertainty analysis and modelling of the starch index during apple fruit maturation. Postharvest Biology and Technology. 26: 199–207.

4. REID. M.S. PADFIELD. C.A.S. WATKINS. C.B. HARMAN. J.E. 1982. Starch iodine pattern as a maturity index for Granny Smith apples. N.Z. J. Agric. Res. 25:229–237.

5. SMITH. R.B. LOUGHEED. E.C. FRANKLIN. E.W. MCMILLAN. I. 1979. The starch iodine test for determining stage of maturation in apples. Can. J. Plant Sci. 59:725–735.

6. TIJSKENS. L. M. M. and POLDERDIJK. J. J. 1996. A Generic Model for Keeping Quality of Vegetable Produce During Storage and Distribution. Agriculrural Sysrems. 51(4):431-452.

7. WILLS. R. MCGLASSON. B. GRAHAM. D. JOYCE. D. 1998. Postharvest, an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. CAB International. Wallingford Oxon.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΟΜΜΕΝΟΥ ΕΤΟΙΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ

Ι. Μαρίτσα[1], Ε. Μανωλοπούλου[1], Γ. Λαμπρινός[2]

1.ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή ΣΤΕΓ, Τμήμα Φ.Π, Αντικάλαμος, 24100 Καλαμάτα email: e.manolopoulou@teikal.gr
2. Γ.Π.Α- Τμήμα Α.Φ.Π & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75-118 55, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης της τροποποιημένης ατμόσφαιρας που δημιουργείται από τρία διαφορετικά εύκαμπτα φύλλα πολυαιθυλενίου,(LDPE-60, MDPE-60, PVC) στην ποιότητα κομμένου έτοιμου προς χρήση μαρουλιού τύπου Romana που συντηρήθηκε στους 5 °C για 15 ημέρες και στη συνέχεια μία ημέρα στους 20 °C (shelf-life). Οι συσκευασίες με τα πλαστικά φύλλα περιόρισαν αισθητά την απώλεια βάρους, διατήρησαν τη φωτεινότητα του χρώματος και την υφή του προϊόντος, οι δύο δε εξ αυτών (LDPE-60, MDPE-60) διατήρησαν στα αρχικά σχεδόν επίπεδα την οργανοληπτική ποιότητα

THE INFLUENCE OF PACKING ON SHREDDED READY–TO-USE LETTUCE QUALITY

I. Maritsa[1], E. Manolopoulou[1] and G. Lambrinos[2]

[1]T.E.I. of Kalamata, Dept. of Crop Science, 24 100, Antikalamos, Kalamata
[2]Agronomic University of Athens, Dept. of N.R.M.& Agr. Eng.
75, Iera Odos Str. – 118 55, Athens, Greece, e-mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

Aim of this work is to study the influence of the modified atmosphere packaging, on the quality of shredded ready-to- use Romaine type lettuce, stored for 15 days at 5°C and for one day (shelf-life) at 20 ^{o}C.

The employed plastic films (LDPE-60, MDPE-60, PVC) reduced significantly the weight loss and maintained the lightness of the colour, as well as the texture of the product; two of these packages (LDPE-60, MDPE-60) actually maintained the taste quality similar to the initial one.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Διεθνής Οργάνωση Φρέσκων κομμένων προϊόντων (IFPA)προσδιορίζει τα φρέσκα κομμένα προϊόντα σαν «φρούτα ή λαχανικά ή συνδυασμό αυτών, που έχουν υποστεί μία φυσική μεταβολή σε σύγκριση με την αρχική τους κατάσταση, αλλά διατηρούνται φρέσκα» [7].

Τα κομμένα, έτοιμα προς χρήση ψυχροσυντηρούμενα νωπά οπωρολαχανικά είναι μία ενδιαφέρουσα και γρήγορα αναπτυσσόμενη κατηγορία τροφίμων, που τράβηξε γρήγορα το ενδιαφέρον των εστιατορίων, των αλυσίδων γρήγορου φαγητού και της εργαζόμενης γυναίκας.

Τα έτοιμα αυτά προς χρήση προϊόντα είναι ωμά, φρέσκα προϊόντα που έχουν υποστεί μία ελαφριά επεξεργασία όπως ξεφλούδισμα και τεμαχισμό, ώστε να καταστούν έτοιμα προς κατανάλωση. Πρόθεση των μονάδων παραγωγής τους είναι να προμηθεύσουν τον καταναλωτή με ένα προϊόν όμοιο με το φρέσκο φρούτο ή λαχανικό, μεγάλης σχετικά διάρκειας που διατηρεί τη θρεπτική και οργανοληπτική του ποιότητα και είναι ασφαλές .

Ο τραυματισμός που προκαλείται κατά την προετοιμασία τους προάγει ορισμένες φυσικές και φυσιολογικές αλλαγές που επιταχύνουν την ποιοτική υποβάθμιση του προϊόντος [3,12]. Η πρώτη αλλαγή είναι η απομάκρυνση της επιδερμίδας και η έκθεση στον αέρα των εσωτερικών κυττάρων. Η αλλαγή αυτή διευκολύνει την απώλεια ύδατος καθώς και την είσοδο των παθογόνων μικροβίων. Η συσκευασία ή η εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών μειώνει την απώλεια ύδατος διατηρώντας μία υψηλή σχετική υγρασία κοντά στην κομμένη επιφάνεια και επιπλέον λειτουργεί σαν φυσικό εμπόδιο που προστατεύει το προϊόν από μόλυνση.

Η απώλεια νερού και η κατάρρευση των κυττάρων στην κομμένη επιφάνεια αλλοιώνουν την εμφάνιση του φρέσκου προϊόντος. Ο τραυματισμός προκαλεί αύξηση της αναπνοής και της παραγωγής του αιθυλενίου επιταχύνοντας την ωρίμανση των κλιμακτηρίων φρούτων και προάγοντας τη σύνθεση και συσσώρευση φαινολικών συστατικών που συμβάλλουν στην καστάνωση των ιστών [15]. Οι αλλαγές αυτές ελέγχονται με τη συντήρηση σε χαμηλή θερμοκρασία, τη δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας και την εφαρμογή παρεμποδιστών ειδικών χημικών αντιδράσεων.

Πριν μερικά χρόνια η συνιστώμενη θερμοκρασία για τη συντήρηση και τη διανομή των προϊόντων αυτών ήταν 8°C [13]. Η θερμοκρασία αυτή μειώθηκε σήμερα στους 4-6 ^{o}C χωρίς όμως να εφαρμόζεται στην πράξη.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης της τροποποιημένης ατμόσφαιρας που δημιουργείται από τη συσκευασία με εύκαμπτα φύλλα πολυαιθυλενίου, στην ποιότητα του κομμένου- έτοιμου προς χρήση- μαρουλιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.

2.1 Φυτικό υλικό: Χρησιμοποιήθηκαν μαρούλια τύπου Romana ποικιλίας Paris Island που αγοράσθηκαν από παραγωγό της περιοχής. Η κοπή έγινε στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας, συσκευάσθηκαν σε πλαστικά κιβώτια και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μέσα σε μία ώρα.

2.2 Προετοιμασία του προϊόντος: Απομακρύνθηκαν τα εξωτερικά καθώς και τα εσωτερικά φύλλα «καρδιά». Ακολούθησε πλύσιμο των φύλλων με νερό της βρύσης για την απομάκρυνση υπολειμμάτων εδάφους. Στη συνέχεια τα φύλλα κόπηκαν με κοφτερό λείο μαχαίρι ώστε να μην δημιουργείται πληγή στο σημείο τομής. Το μέγεθος κοπής των φύλλων ήταν περίπου 3 x 5 cm. Το κομμένο προϊόν πλύθηκε με νερό θερμοκρασίας 5°C για 1 λεπτό και φυγοκεντρήθηκε με χειροκίνητη μηχανή σαλάτας για την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού χωρίς να προκαλείται ορατή βλάβη. Περίπου 150 g έτοιμου προϊόντος τοποθετήθηκε σε δισκάκια πολυστερίνης διαστάσεων 23 x 7,5 x 2,5 cm που συσκευάσθηκαν σε σακκούλες PE χαμηλής ή

μέσης πυκνότητας. Ο μάρτυρας ετοιμάστηκε ακριβώς όπως και τα δείγματα της μελέτης αλλά καλύφθηκε με film PVC για να μη δημιουργηθεί τροποποιημένη ατμόσφαιρα στο εσωτερικό της συσκευασίας. Ετοιμάσθηκαν 28 συσκευασίες ανά χειρισμό.

2.3 Μέθοδος συσκευασίας: Χρησιμοποιήθηκαν φύλλα πολυαιθυλενίου, χαμηλής πυκνότητας, πάχους 60μm (LDPE-60), μέσης πυκνότητας πάχους 60μm (MDPE-60),και PVC πάχους 13 μm. Το κλείσιμο των συσκευασιών έγινε με θερμοσυγκολλητική μηχανή (Electronic Impulse Sealer) στην περίπτωση των φύλλων του πολυαιθυλενίου και με θερμαινόμενη πλάκα (AP-500 E2) στην περίπτωση του PVC. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα δημιουργήθηκε παθητικά.

2.4 Συνθήκες συντήρησης: Όλα τα δείγματα συντηρήθηκαν στο σκοτάδι στους 5 ^{o}C. Η θερμοκρασία αυτή είναι μία θερμοκρασία στην οποία συντηρούνται τα περισσότερα έτοιμα προς χρήση προϊόντα. (6). Η διάρκεια συντήρησης ήταν 15 ημέρες. Ακολούθησε συντήρηση 1 ημέρας στους 20 ^{o}C (shelf-life).

2.5 Ανάλυση των εσωτερικών αερίων των συσκευασιών: Η μελέτη της μεταβολής των αερίων στο εσωτερικό των συσκευασιών γινότανε καθημερινά σε 10 δείγματα ανά τύπο πλαστικού. Η μέτρηση έγινε με τη βοήθεια του οργάνου CheckMate 9000 το οποίο είναι εφοδιασμένο με αναλυτή O_2 και CO_2. Το δείγμα ελαμβάνετο με υποδερμική βελόνα από σημείο της πλαστικής συσκευασίας που είχε κατάλληλα προετοιμαστεί. Η συγκέντρωση των αερίων εκφράσθηκε επί τοις %.

2.6 Ποιοτικά χαρακτηριστικά: Για την εκτίμηση της ποιότητας του συσκευασμένου μαρουλιού χρησιμοποιήθηκαν οι κατωτέρω παράμετροι:

2.6.1απώλεια βάρους: Για τη μέτρηση της απώλειας βάρους χρησιμοποιήθηκαν 10 δείγματα ανά τύπο πλαστικού. Οι μετρήσεις γινόντουσαν καθημερινά με τη βοήθεια ζυγού ακριβείας 0,01 g. Η απώλεια βάρους εκφράσθηκε επί τοις % του αρχικού βάρους.

2.6.2 υφή: Για τη μέτρηση της υφής του τεμαχισμένου μαρουλιού χρησιμοποιήθηκε το όργανο Texture Analyser TA.XT2i που ήταν εφοδιασμένο με Krammer. Οι μετρήσεις γινόντουσαν κάθε 4 ημέρες σε 6 δείγματα ανά τύπο πλαστικού σε 10 g κομμένου μαρουλιού. Η δύναμη που απαιτήθηκε για το σπάσιμο της έτοιμης σαλάτας εκφράσθηκε σε N.

2.6.3 χρώμα: Η μέτρηση του χρώματος γινότανε κάθε 4 ημέρες, σε 6 δείγματα ανά τύπο πλαστικού, σε 3 διαφορετικά σημεία της κάθε συσκευασίας (στα δύο άκρα και στο μέσο). Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το χρωματόμετρο Minolta CR-300. Πριν από κάθε μέτρηση το όργανο ρυθμιζόταν με πλάκα βαθμονόμησης (Y=92,6 ,X=0,3135 και y=0,3193). Η μεταβολή του χρώματος εκφράσθηκε με τις εξής παραμέτρους: L* το οποίο παρουσιάζει τη φωτεινότητα του μαρουλιού (0=μαύρο, 100=λευκό), α* που παρουσιάζει το πράσινο (-α*) και το κόκκινο (+α*) χρώμα, chroma που εκφράζει την καθαρότητα του χρώματος και υπολογίζεται με τον τύπο $(\alpha^{*2} + \beta^{*2})^{1/2}$.

2.6.4 Οπτική αξιολόγηση: Η αξιολόγηση γινότανε κάθε 4 ημέρες από μία ομάδα 6 κριτών, αμέσως μετά την έξοδο από το ψυγείο και μετά τη μεταφορά τους στον αέρα στους 20 ^{o}C για μία ημέρα. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν:

γενική οπτική ποιότητα. Η υποκειμενική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή που έχει προταθεί από τους Kader et al. (1973) και οι τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 1 και 9 με 1= μη αποδεκτό, 9= εξαιρετικό, 5= ελάχιστα αποδεκτό.

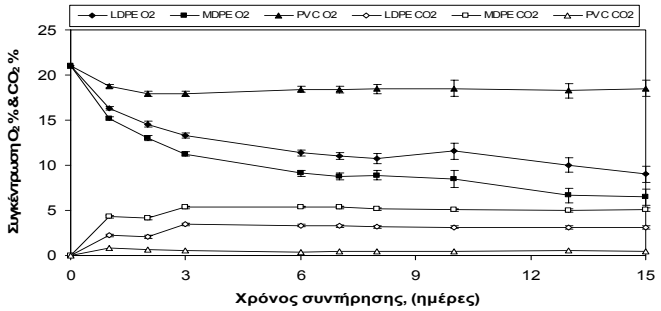
Καστάνωση της τομής. Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν από το 1 στο 5 όπου 1= χωρίς καστάνωση, 5= σοβαρό ποσοστό καστάνωσης.

2.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ: Το πείραμα επαναλήφθηκε τρεις φορές και για κάθε μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν 6 διαφορετικά δείγματα. Οι τιμές που παρουσιάζονται είναι ο μέσος όρος 18 (3x6) τιμών. Τα δεδομένα υπέστησαν ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) το δε στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Statgraphics 4.0. Η ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των μέσων όρων (p=0.05).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μεταβολή των αερίων στις συσκευασίες .

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή των αερίων (O_2 ,CO_2) στο εσωτερικό των συσκευασιών. Μπορούμε λοιπόν να παρατηρήσουμε τα εξής:

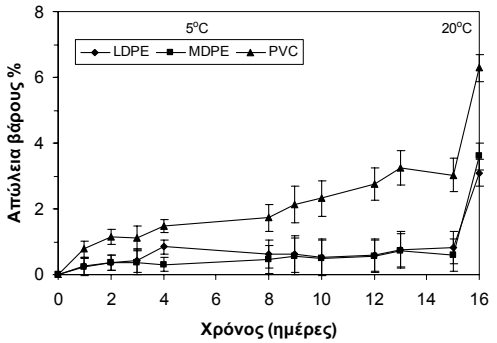


Σχήμα 1. Μεταβολή της εσωτερικής ατμόσφαιρας συσκευασιών κομμένου μαρουλιού κατά τη συντήρηση στους 5°C. (I=LSD p=0.05)

α) Μία πτώση του O_2 και μία αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 αμέσως μετά το κλείσιμο της συσκευασίας , β) η σταθεροποίηση της ατμόσφαιρας άρχισε από την $2^{η}$ ημέρα στην περίπτωση του CO_2 ενώ στην περίπτωση του O_2 δεν ολοκληρώθηκε από τις δύο συσκευασίες πολυαιθυλενίου μέχρι το τέλος της συντήρησης , γ) η συσκευασία με PVC δημιούργησε μία ατμόσφαιρα της οποίας η σύνθεση ήταν πολύ κοντά στην ατμοσφαιρική (19% O_2, 0,5% CO_2), δ) η συσκευασία με MDPE ήταν φτωχότερη σε O_2 (6,5%) και πλουσιότερη σε CO_2 (5%) έναντι της συσκευασίας με LDPE που περιείχε 11,0% O_2 και 3% CO_2. Η διαφορά αυτή ήταν στατιστικά σημαντική.

3.2. Απώλεια βάρους

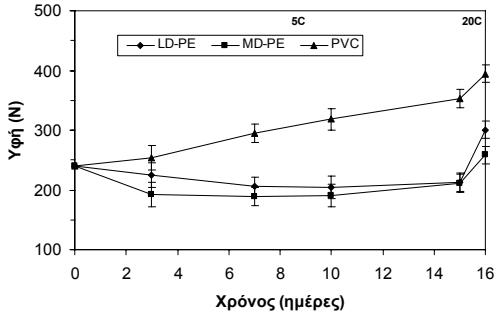
Η απώλεια βάρους του τεμαχισμένου μαρουλιού που συσκευάστηκε με τρία διαφορετικά films παρουσιάζεται στο σχήμα 2 απ' όπου παρατηρούμε ότι: α) οι συσκευασίες με MDPE και LDPE παρουσίασαν μία απώλεια της τάξης του 0,6-0,8% μέχρι το τέλος της συντήρησης, ενώ κατά τη διάρκεια της εμπορικής ζωής η απώλεια ανήλθε σε 3-3,5%, β) η συσκευασία με PVC μετά 15 ημέρες συντήρησης παρουσίασε μία απώλεια της τάξης του 3% ενώ στο τέλος της εμπορικής ζωής η απώλεια ανήλθε σε 6,3%.



Σχήμα 2. Μεταβολή του βάρους συσκευασμένου κομμένου μαρουλιού κατά τη διάρκεια της συντήρησης στους 5°C και του shelf-life στους 20°C. (I=LSD, p=0.05)

3.3 Υφή

Η μεταβολή της δύναμης που εφαρμόσθηκε για το σπάσιμο του κομμένου μαρουλιού παρουσιάζεται στο σχήμα 3. Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια της συντήρησης οι συσκευασίες με τα πλαστικά φύλλα MDPE και LDPE διατήρησαν την υφή σχεδόν στα αρχικά επίπεδα (απόκλιση 11%) ενώ η συσκευασία με PVC αύξησε την απαιτούμενη δύναμη κατά 47%. Στο τέλος της εμπορικής ζωής (shelf-life) σε όλες τις περιπτώσεις απαιτήθηκε μεγαλύτερη δύναμη για το σπάσιμο του μαρουλιού.



Σχήμα 3. Μεταβολή της υφής κομμένου μαρουλιού που συσκευάστηκε σε διαφορετικές πλαστικές συσκευασίες και συντηρήθηκε 15 ημ. στους 5°C και 1 στους 20°C.

3.4 Μεταβολή του χρώματος.

Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζεται η μεταβολή του L*, α* και chroma. Παρατηρούμε ότι: Τα πλαστικά φύλλα διατήρησαν υψηλότερες τιμές της φωτεινότητας (L*) ενώ στην περίπτωση του PVC παρατηρείται μία εντονότερη πτώση (σχ.4). Οι συσκευασίες MDPE και LDPE διατήρησαν σχεδόν στα αρχικά επίπεδα τις τιμές της χρωματικής παραμέτρου α* ενώ η συσκευασία με PVC παρουσιάζει μία αύξηση των τιμών (σχ.4). Οι πλαστικές συσκευασίες MDPE και LDPE διατήρησαν την ένταση του χρώματος ενώ η συσκευασία με PVC παρουσίασε μία απότομη πτώση μέχρι την 3^{η} ημέρα και στη συνέχεια η ένταση του χρώματος

διατηρήθηκε σχεδόν σταθερή μέχρι το τέλος της συντήρησης (σχ.5).Οι μεταβολές του χρώματος δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των προϊόντων των συσκευασιών MDPE και LDPE ενώ παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαρουλιών των δύο ως άνω αναφερθέντων συσκευασιών και αυτών της συσκευασίας με PVC.

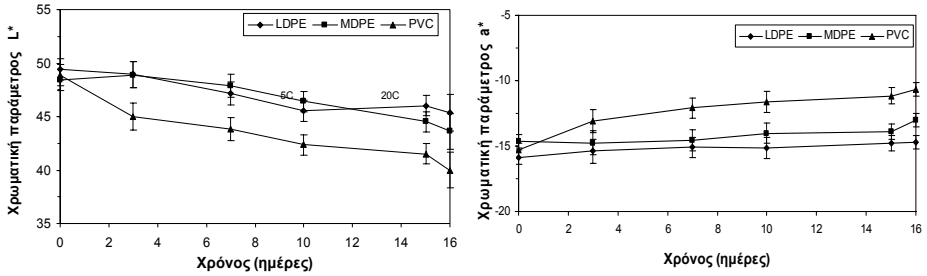
3.5 Οπτική αξιολόγηση

3.5.1 καστάνωση της τομής των φύλλων (σχ.6)

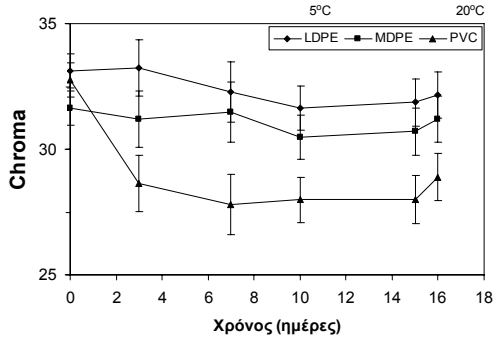
Μέχρι την 7η ημέρα συντήρησης δεν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των τριών χειρισμών. Μετά την 8η ημέρα οι συσκευασίες με MDPE και LDPE διατήρησαν σε χαμηλά επίπεδα την καστάνωση του κομμένου μαρουλιού σε σύγκριση με τη συσκευασία με PVC. Στο τέλος της συντήρησης (15η ημέρα) το κομμένο μαρούλι των συσκευασιών MDPE και LDPE κρίθηκε εμπορεύσιμο ενώ της συσκευασίας με PVC μη εμπορεύσιμο. Μετά 1 ημέρα στους 20 °C το κομμένο μαρούλι των συσκευασιών MDPE και LDPE ήταν ακόμα οριακά εμπορεύσιμο.

3.5.2 Συνολική εκτίμηση (σχ6)

Από την τρίτη ημέρα της συντήρησης υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύτου κομμένου μαρουλιού που συσκευάσθηκε με PVC και αυτού που

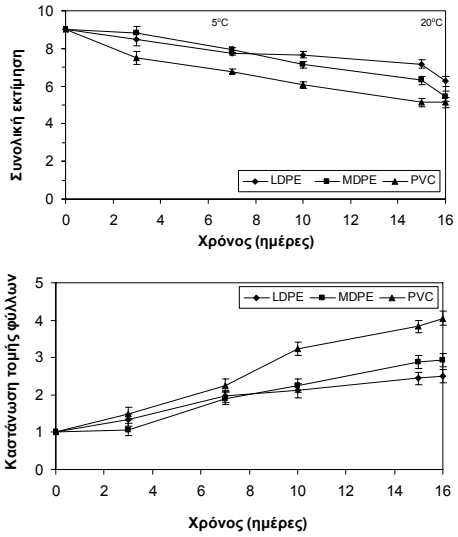


Σχήμα 4. Μεταβολή της φωτεινότητας (L*)και της χρωματικής παραμέτρου α*, κομμένου μαρουλιού που συσκευάσθηκε σε 3 διαφορετικές πλαστικές συσκευασίες και συντηρήθηκε 15 ημ. στους 5°C και 1 ημ. στους 20°C. (I=LSD, p=0.05)



Σχήμα 5. Μεταβολή του συνολικού χρώματος κομμένου μαρουλιού που συσκευάσθηκε σε πλαστικές συσκευασίες και συντηρήθηκε 15 ημ. στους 5°C και 1 ημ. στους 20°C.

συσκευάσθηκε με MDPE και LDPE. Από την 10η ημέρα της συντήρησης παρουσιάζεται σημαντική διαφορά μεταξύ της συσκευασίας με LDPE και αυτής με MDPE. Στο τέλος της συντήρησης (15η ημέρα) η συσκευασία με LDPE διατήρησε σαφώς καλλίτερη τη γενική εμφάνιση του προϊόντος, η συσκευασία με MDPE διατήρησε το προϊόν οριακά εμπορεύσιμο ενώ η συσκευασία με PVC διατήρησε το προϊόν σε ενδιάμεση κατάσταση. Στο τέλος της εμπορικής ζωής (shelf-life) δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ συσκευασίας με PVC και MDPE ενώ η συσκευασία με LDPE διαφέρει στατιστικά από τις άλλες δύο.



Σχήμα 6. Συνολική οπτική αξιολόγηση και αξιολόγηση της καστάνωσης της τομής του κομμένου και συσκευασμένου σε πλαστικές συσκευασίες μαρουλιού που συντηρήθηκε 15 ημ. στους 5°C και 1 ημ. στους 20°C. (I=LSD, p=0.05)

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.

Για να αυξηθεί ο χρόνος της εμπορικής ζωής και να καθυστερήσει η καστάνωση στο σημείο της τομής του φρεσκοκομμένου μαρουλιού τύπου Romana πρέπει να
συντηρηθεί σε θερμοκρασία 1-3 ^{o}C και σε μία τροποποιημένη ατμόσφαιρα που να περιέχει 1-3% O_2 και 3-10% CO_2 [8,6,9]. Τα πλαστικά φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν δημιούργησαν μία ατμόσφαιρα με υψηλότερα επίπεδα O_2 (6,5-11%) και χαμηλότερα επίπεδα CO_2 (3-5%) σε σύγκριση με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Και στις δύο συσκευασίες η μεταβολή της ατμόσφαιρας ήταν αργή κυρίως για το O_2. Τα κομμένα μαρούλια παρουσίασαν καστάνωση στην τομή πριν το O_2 κατέβει σε χαμηλά επίπεδα. Για τη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος και για την αύξηση της εμπορικής ζωής σύμφωνα με τους Ballantyne et al [1] θα πρέπει η συσκευασία με περατά φύλλα να συνδυασθεί με εμφύσηση με μίγμα φτωχό σε O_2 και πλούσιο σε CO_2.

Η απώλεια βάρους είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του προϊόντος, διότι προκαλεί ποσοτική μείωση και ποιοτική υποβάθμιση. Οφείλεται δε στην αναπνοή και τη διαπνοή του προϊόντος. Η μείωση της υγρασίας επηρεάζει την εμφάνιση, την υφή και τη γεύση του προϊόντος. Η εμπορευσιμότητα του μαρουλιού επηρεάζεται από μία απώλεια της τάξης του 3% [11]. Ο Kader [8] θεωρεί τη διαπνοή σαν τη μεγαλύτερη αιτία των μετασυλλεκτικών απωλειών και της υποβαθμισμένης ποιότητας των φυλλωδών λαχανικών. Οι πλαστικές συσκευασίες που χρησιμοποιήθηκαν μείωσαν αισθητά την απώλεια βάρους τόσο κατά τη διάρκεια της συντήρησης στους 5 ^{o}C όσο και κατά το shelf-life.

Το μαλάκωμα των ιστών είναι ένα σοβαρό πρόβλημα των κομμένων έτοιμων για κατανάλωση προϊόντων γιατί περιορίζει την εμπορική ζωή τους. Η υφή των έτοιμων για κατανάλωση προϊόντων είναι σημαντικός ποιοτικός παράγοντας που βρίσκονται στους ιστούς των προϊόντων και από την μείωση της σπαργής που οφείλεται στην απώλεια υγρασίας.

Η υφή του κομμένου μαρουλιού στην περίπτωση μας διατηρήθηκε από την τροποποιημένη ατμόσφαιρα που δημιουργήθηκε από τις πλαστικές συσκευασίες γεγονός που συμφωνεί με τους Portela και Cantwell [11] Η αύξηση της εφαρμοζόμενης δύναμης που απαιτείται στην περίπτωση του κομμένου μαρουλιού που συντηρήθηκε με PVC οφείλεται πιθανώς στην αυξημένη απώλεια βάρους που παρουσίασε η συσκευασία αυτή.

Το χρώμα συμβάλλει στην εμπορία των λαχανικών. Η παρατεταμένη συντήρηση προκαλεί την εμφάνιση καστανών κηλίδων που οφείλονται στην οξείδωση των φαινολών καθώς και βλαβών που οφείλονται στη γήρανση, στην αφυδάτωση ή στην βακτηριακή προσβολή [14]. Αυτές οι αλλαγές προκαλούν σκούρο χρώμα στους ιστούς και έτσι εξηγείται η μείωση της φωτεινότητας με το χρόνο συντήρησης. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα που δημιουργήθηκε από τις πλαστικές συσκευασίες LDPE και MDPE διατήρησε τις τιμές της φωτεινότητας σε υψηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με τη συσκευασία με PVC. Η τιμή της χρωματικής παραμέτρου α* αυξάνει με το χρόνο στις συσκευασίες με PVC. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε μία αλλαγή του χρώματος από το πράσινο προς το κόκκινο και οφείλεται μάλλον στην οξείδωση των φαινολών [14] και την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης [15]. Η μεταβολή της παραμέτρου α* είναι η

ίδια στους δύο τύπους των συσκευασιών LDPE και MDPE αλλά είναι μεγαλύτερη στη συσκευασία με PVC. Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα που δημιουργήθηκε από τις πλαστικές συσκευασίες φαίνεται ότι μείωσε την οξείδωση των φαινολικών ουσιών και παρεμπόδισε την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης.

Ένας σημαντικός ποιοτικός παράγοντας των κομμένων έτοιμων προς χρήση λαχανικών είναι η καστάνωση των τομών που οφείλεται στη δράση της πολυφαινολοξειδάσης η οποία παρουσία O_2 μετατρέπει τις φαινολικές ουσίες σε σκούρες χρωστικές. Το κομμένο μαρούλι που συσκευάσθηκε με PVC παρουσίασε σοβαρό ποσοστό καστάνωσης την $9^{η}$ ημέρα, ενώ η τροποποιημένη ατμόσφαιρα των συσκευασιών LDPE και MDPE καθυστέρησε την καστάνωση για 14 ημέρες γεγονός που συμφωνεί με τους Ballantyne et al. [1].

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα που δημιουργήθηκε από τις πλαστικές συσκευασίες και η θερμοκρασία των 5 ^{o}C, μπόρεσαν χωρίς σημαντική αφυδάτωση να διατηρήσουν την υφή και το χρώμα του κομμένου μαρουλιού για 15 ημέρες .

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα αυτή κατέστη δυνατή χάρις στη χρηματοδότηση του προγράμματος «Αρχιμήδης» του ΥΠΕΠΘ και της ΕΕ

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ballantyne, A., Stark, R., and J.D. Selman.1988. Modified atmosphere packaging of shredded lettuce. International Journal of Food Science and Technology, 23, PP.267-279.
2. Bolin, H.R and C.C. Huxcoll. 1991. Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of salad cut lettuce. J. Food Sci. V.56, pp. 60-67.
3. Brecht, J.K. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. HortScience 30 : 18-21
4. Burton, W.G. 1982. Post-harvest physiology of food crops. N. York Longman.
5. Gloria Lopez-Galvez, Mikal Saltveit, Marita Cantwell, 1996. The visual quality of minimally processed lettuces stored in air or controlled atmosphere with emphasis on Romaine and Iceberg types. Post harvest Biology and Technology 8, pp.179-190.
6. Hamza, F., F. Castaigne, C. Willemot, G. Doyon and J.Makhlouf. 1996. Storage of minimally processed Romaine lettuce under controlled atmosphere. J. Food Quality 19, pp.177-188.
7. International Fresh-cut Produce Association (IFPA) and the produce Marketing Association (PMA) 1999. “Handling Guidelines for the Fresh-cut Produce Industry” 3 rd edition, pp. 57 IFPA, Alexandria, V.A.
8. Kader, A,A. 1983. Post harvest quality maintenance of fruits and vegetables in developing countries. In : Post harvest physiology and crop preservation. C.M . Lieberman ed. Plenum Press, N. York, p.455.
9. Kader, A.A., Lipton, W.J. and L.L.Morris. 1973. Systems for scoring quality of harvested Lettuce. HortScience 8, pp. 408-409.
10. King, J., A.D, and H.R. Bolin. 1989. Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. Food Technologie, 43(2), pp. 132-135.

11. Portela, S.I and M.I. Cantwell. 1988. Quality changes of minimally processed honeydew melons stored in air or controlled atmospheres. Post harvest Biology Technol. V.14, pp. 351-357.
12. Saltveit, M.E. 1997. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In : Phytochemistry of fruit and vegetables. F.A Tomas- Barberan and R.J. Robins (eds), pp.205-220 Processing's of the phytochemical Society of Europe 41. Oxford Univ. Press, N.Y.
13. Scandella, D. 1988. 4eme gamme. L'évolution du code des bonnes pratiques professionnelles. Infos- CTIFL, Hors-Serie « 4eme gamme » pp.3-4.
14. Segall, K.I. and M.G. Scanlon. 1996. Design and analysis of a modified atmosphere package for minimally processed Romaine lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121, pp.722-729.
15. Toivonen, M.P., DeEll, R.J.2002. Physiology of fresh-cut Fruits and Vegetables. In : Fresh-cut Fruits and Vegetables. O. Lamikanra (ed), pp.91-123. C.R.C

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA ΚΑΙ GRANNY SMITH ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥΣ.

Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός, Ε. Αραβαντινός
Γ.Π.Α., Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά οδός 75, 11855, Αθήνα. Τηλ.: 210 5294035
email: apstore@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της κατανομής της υγρασίας στους ιστούς μήλων Delicious Pilafa και Granny Smith κατά την αποθήκευση τους. Τα φρούτα συντηρήθηκαν σε θαλάμους θερμοκρασίας 0° και 20 ^oC. Ο υπολογισμός της περιεχόμενης υγρασίας έγινε με ξήρανση δειγμάτων ιστών. Η κατανομή της υγρασίας επηρεάζεται σημαντικότερα από την απόσταση από την επιδερμίδα σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης, μπορεί δε να περιγραφεί ικανοποιητικά σαν λογαριθμική συνάρτηση της απόστασης από την επιδερμίδα. Στα μήλα Granny Smith η κατανομή της υγρασίας είναι αρκετά ομαλότερη σε σχέση με τα Delicious Pilafa.

MOISTURE DISTRIBUTION IN THE PULP OF DELICIOUS PILAFA AND GRANNY SMITH APPLES.

D. Mitropoulos, G. Lambrinos and E. Aravantinos
A.U.A., Department of Natural Resources and Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855, Athens. Tel.: 210 5294035
email: apstore@aua.gr

ABSTRACT

This study investigates the moisture distribution inside the pulp of *Delicious Pilafa* and *Granny Smith* apples, as this is formed, during their cold storage. The fruits were stored in controlled environment rooms at 0^oC and 20^oC. The moisture content calculation was carried out by drying samples, taken from the apples' pulp in a regular pattern. The experiments revealed that moisture distribution is influenced significantly by the distance from the epidermis, than the storage duration. The moisture distribution between the core and the epidermis can be expressed efficiently by a logarithmic relation. Finally was concluded that the moisture distribution in *Granny Smith* apples was more uniform than in *Delicious Pilafa* apples.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απώλεια νερού των συντηρούμενων μήλων, εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες αποθήκευσης (θερμοκρασία, σχετική υγρασία) και υποβαθμίζει την ποιότητά τους. Η αφυδάτωση των καρπών συνδέεται τόσο με μεταβολές στην εμφάνιση (ρυτίδωση) όσο και με απώλεια άλλων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (τραγανότητα) [1],[7].
Πέρα από τις συνθήκες αποθήκευσης ο ρυθμός απώλειας υγρασίας εξαρτάται και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ποικιλίας. Ορισμένες ποικιλίες όπως είναι και η Delicious Pilafa 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 σε μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιδερμίδας (πάχος, πυκνότητα και μέγεθος στοματίων) όσο και στην ύπαρξη και δράση κεριών [2].
Στην εύκολα αφυδατούμενη ποικιλία Delicious Pilafa, η απώλεια μάζας οφείλεται κυρίως σε απώλεια νερού [4]. Υπάρχουν αρκετές ήδη αναφορές σχετικά με την αφυδάτωση της ποικιλίας Delicious Pilafa σε διάφορες συνθήκες αποθήκευσης, καθώς και συσχέτιση των απωλειών μάζας με τις συνθήκες αποθήκευσης [4], [5], [6]. Η απώλεια μάζας έχει επίσης συσχετιστεί και με τη μεταβολή της σκληρότητας (αντίσταση στην διάτρηση) των φρούτων [3]. Παρόλλα αυτά δεν έχει ακόμα μελετηθεί συστηματικά η μεταβολή της κατανομής της υγρασίας μέσα στο καρπό με τον χρόνο συντήρησης.
Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της εξέλιξης της κατανομής υγρασίας στο εσωτερικό του καρπού με το χρόνο αποθήκευσης σε δύο ποικιλίες μήλων, Delicious Pilafa και Granny Smith.

2. ΥΛΙΚΑ και ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν μήλα των ποικιλιών Delicious Pilafa και Granny Smith από οπωρώνα της περιοχής Τεγέας Αρκαδίας. Η συλλογή των φρούτων έγινε στο τέλος Οκτωβρίου 2004 για την πρώτη ποικιλία και στις αρχές Νοεμβρίου για την δεύτερη. Μετά την συλλογή τα μήλα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου έγινε διαλογή ώστε να είναι κατά το δυνατό ομοιόμορφου μεγέθους και σχήματος. Οι καρποί ζυγίστηκαν ατομικά και τοποθετήθηκαν σε δύο θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών 0 και 20°C, μέσα σε πλαστικά μονόσειρα τελάρα. Οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του θαλάμου καταγράφονταν με φορητές ηλεκτρονικές συσκευές (Hobo 8H, Onset Computer Corporation, Bourne, USA).
Σε τακτά χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τον θερμοκρασιακό χειρισμό, επτά φρούτα μεταφέρονταν στο εργαστήριο σε θερμοκρασία δωματίου (18-20°C) και αφού παρέμεναν εκεί για αρκετό χρόνο ώστε να αποκτήσουν την θερμοκρασία του χώρου ζυγίζονταν ατομικά. Με ειδικό κοίλο κυλινδρικό κοπτικό όργανο αφαιρούνταν τέσσερις κύλινδροι διαμέτρου 8,5mm και μήκους 25 mm περίπου από συμμετρικές θέσεις στην ισημερινή περιοχή κάθε μήλου. Στην συνέχεια κάθε κύλινδρος τεμαχιζόταν σε μικρότερα τμήματα συγκεκριμένου μήκους (2 ή 5 mm ανάλογα με την απόσταση) με τομές σε συγκεκριμένες αποστάσεις από την επιδερμίδα (2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 mm). Φυσικά η θέση των κυλινδρικών δειγμάτων θα αντιπροσωπεύεται από την γεωμετρική θέση του κέντρου βάρους τους ήτοι 1, 3, 5, 7, 9, 12,5, και 17,5 mm. Τα τέσσερα κυλινδρικά τεμάχια ίδιου βάθους από την επιδερμίδα αποτελούσαν ένα δείγμα το οποίο

ζυγιζόταν και στην συνέχεια ξηραινόταν σε ειδικό φούρνο υπέρυθρης ακτινοβολίας (Kern RH 120-3, Kern & Sohn GmbH, Frommern, Germany). Κατά την διάρκεια της ξήρανσης η ζύγιση του δείγματος ήταν αυτόματη και συνεχής μέχρι τελικής σταθεροποίησης και καταγραφής του βάρους του πρακτικά ξηρού πλέον δείγματος.
Η περιεκτικότητα των ιστών σε νερό εκφράστηκε σε ξηρή βάση (W_d) ως ποσοστό % της ξηράς ουσίας και σε υγρή βάση (W_w) ως ποσοστό του νωπού βάρους του δείγματος με αναγωγή στις αρχικές τιμές στην έναρξη της αποθήκευσης. Για τον υπολογισμό του W_w χρησιμοποιήθηκε η μέση απώλεια μάζας (ML) που μετρήθηκε σε κάθε συνθήκη αποθήκευσης.
Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό λογισμικό πρόγραμμα statgraphics. Με ανάλυση διασποράς (ANOVA) η οποία έγινε χωριστά για κάθε ποικιλία και θερμοκρασία συντήρησης επιχειρήθηκε να εκτιμηθεί η επίδραση τόσο του χρόνου αποθήκευσης όσο και της απόστασης (βάθους) από την επιδερμίδα, στην περιεκτικότητα των ιστών σε νερό. Έγινε τέλος προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί η συσχέτιση της περιεχόμενης υγρασίας με την απόσταση από την επιδερμίδα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ και ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ανάλυση διασποράς για τα μήλα Delicious Pilafa που συντηρήθηκαν τόσο στους 0°C όσο και στους 20°C έδειξε ότι η περιεκτικότητα των ιστών σε νερό (W_d) επηρεάζεται σημαντικά (για επίπεδο σημαντικότητας 0,95) από την απόσταση (βάθος) από την επιδερμίδα καθώς επίσης και από τον χρόνο συντήρησης. Και στις δύο συνθήκες συντήρησης, η κρίσιμη πιθανότητα p για τον παράγοντα 'απόσταση από την επιδερμίδα' είναι μικρότερη από 10^{-4} ενώ οι αντίστοιχες πιθανότητες για τον παράγοντα 'χρόνο' είναι 0,0142 και 0,0022 για 0 και 20°C αντίστοιχα.
Στον πίνακα 1 φαίνονται τα αποτελέσματα παλινδρομήσεων μεταξύ της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό (W_d) και της απόστασης από την επιδερμίδα (D). Για τις παλινδρομήσεις αυτές έχει χρησιμοποιηθεί λογαριθμική σχέση της μορφής $W=a+b^x\ln(D)$. Το μοντέλο αυτό επιλέχθηκε επειδή παρουσίαζε υψηλότερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης (R^2) σε σχέση με άλλα απλά μοντέλα (γραμμικό, εκθετικό, 1/x, sqrt-x κλπ).
Οι παλινδρομήσεις του πίνακα 1 έχουν γίνει χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους των επτά μήλων που εξετάστηκαν, οι δε εξισώσεις που προκύπτουν μπορούν να εφαρμοστούν για απόσταση D από την επιδερμίδα μεταξύ 1 και 17,5 mm που είναι και τα γεωμετρικά κέντρα των δειγμάτων. Στην σχέση $W_d=a+b\times\ln(D)$, το a εκφράζει την εκτιμούμενη περιεκτικότητα των ιστών σε νερό κοντά στην ζώνη της επιδερμίδας (D=1mm) και το b συναρτάται με την κλίση της περιεκτικότητας W_d αυξανομένου του βάθους από την επιδερμίδα του φρούτου.
Από συγκρίσεις των τιμών του πίνακα 1 (ανά ζεύγη), με βάση τα όρια εμπιστοσύνης, προκύπτει ότι γενικά δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο στο b όσο και στο a, μεταξύ των διαφόρων συνδυασμών του παραπάνω πίνακα. Με παλινδρόμηση όλων των δεδομένων για κάθε θερμοκρασιακό χειρισμό, προκύπτουν οι ακόλουθες εξισώσεις για 0 και 20°C ανεξάρτητα του χρόνου συντήρησης:

$W_d=(349\pm 19)+(68,3\pm 9,5)\times\ln(D)$ με $R^2=0,983$ για 0°C (1)

$W_d=(328\pm 20)+(51,6\pm 10,3)\times\ln(D)$ με $R^2=0,965$ για 20°C (2)

Με παλινδρομήσεις ανάμεσα στην περιεκτικότητα των ιστών σε νερό (W_d) και το χρόνο συντήρησης για διάφορα βάθη από την επιδερμίδα και για τους δυο θερμοκρασιακούς χειρισμούς προκύπτουν πολύ μικρές τιμές του R^2 ανεξάρτητα του

χρησιμοποιούμενου μοντέλου υποδηλώνοντας ότι δεν είναι πρακτικά δυνατή η συσχέτιση του W_d με το χρόνο συντήρησης. Αυτό σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της ανάλυσης διασποράς που αναφέρθηκαν παραπάνω δείχνει ότι παρατηρήθηκαν αλλαγές στην περιεκτικότητα των ιστών σε νερό χωρίς όμως οι μεταβολές αυτές να έχουν σταθερή κατεύθυνση.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα παλινδρομήσεων μεταξύ της περιεκτικότητας (W_d) των ιστών μήλων Delicious Pilafa σε νερό και της απόστασης από την επιδερμίδα (D) με χρήση του μοντέλου $W_d=a+b\times\ln(D)$. Η περιεκτικότητα των ιστών σε νερό έχει εκφραστεί ως ποσοστό % της ξηράς ουσίας και η απόσταση D σε mm.

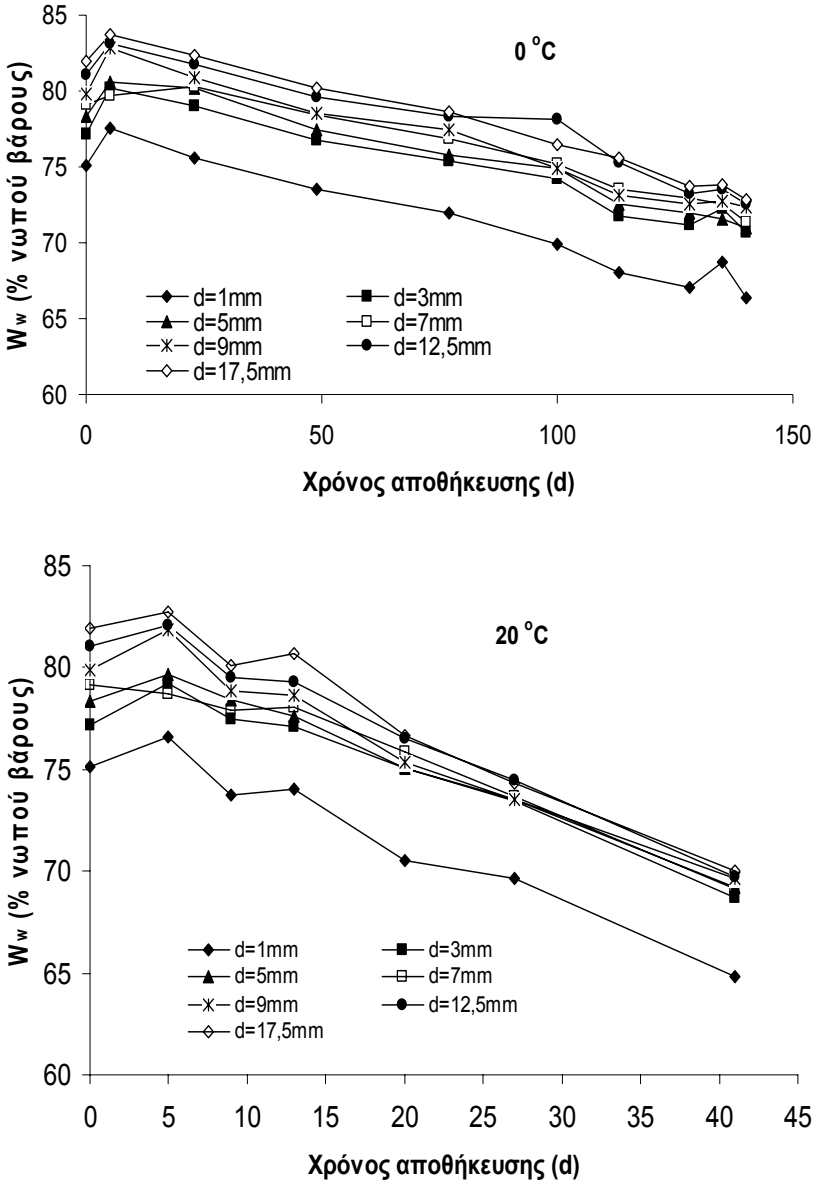
Θερμοκρασία συντήρησης	**Χρόνος συντήρησης***	**a**	**CL-a****	**b**	**CL-b****	**R^2**
0	0	288,0	28,1	52,5	14,3	0,936
0	23	343,4	16,4	65,3	8,3	0,986
0	49	336,8	17,5	66,0	8,9	0,984
0	77	346,9	21,4	76,3	10,9	0,982
0	100	360,0	36,9	71,2	19,2	0,950
0	128	342,7	34,0	69,0	17,3	0,945
20	0	288,0	28,1	52,5	14,3	0,936
20	5	340,6	64,9	61,2	33,1	0,783
20	9	326,4	27,1	51,7	13,8	0,939
20	13	338,8	32,2	62,1	16,4	0,940
20	20	330,0	39,4	49,8	20,1	0,869
20	27	349,6	40,3	40,0	20,5	0,800
20	41	324,9	36,0	43,5	18,3	0,850

* Ο χρόνος συντήρησης έχει εκφραστεί σε μέρες

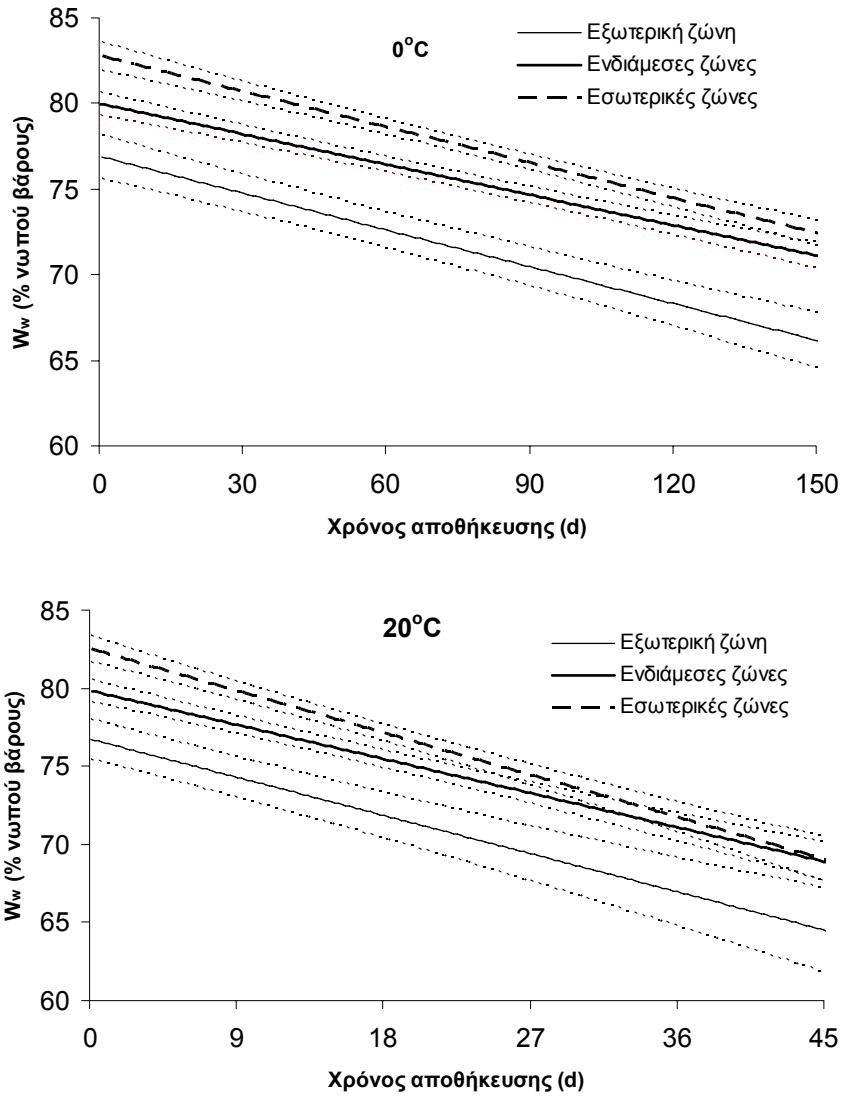
** CL: Όρια εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95.

Οι παρατηρούμενες διαφοροποιήσεις της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό (W_d) δεν μπορεί να αποδοθούν στις περιβαλλοντικές συνθήκες δεδομένου ότι οι θάλαμοι συντήρησης λειτουργούσαν σε σταθερές συνθήκες. Μια πιθανή εξήγηση αυτής της συμπεριφοράς πιθανόν να είναι η ανομοιομορφία της πρώτης ύλης. Σ΄ αυτή βέβαια την περίπτωση θα έπρεπε να χρησιμοποιούνταν μεγαλύτερος αριθμός μήλων σε κάθε μέτρηση.

Στο σχήμα 1 φαίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό (W_w) με το χρόνο αποθήκευσης για διάφορα βάθη από την επιδερμίδα και για τους δύο θερμοκρασιακούς χειρισμούς. Στο σχήμα 2 φαίνεται γραφικά η παλινδρόμηση μεταξύ της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό (W_w) και του χρόνου αποθήκευσης για τρεις διαφορετικές ζώνες ιστών. Η πρώτη ζώνη αναφέρεται σε βάθος μέχρι 2 mm, η δεύτερη (ενδιάμεση) από 2 mm έως 8 mm και η τρίτη (εσωτερική) από 8 mm έως 20 mm. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2 ενώ στην αρχή οι τρεις ζώνες διαφέρουν στατιστικά, μετά από 135 μέρες αποθήκευσης στους 0^oC και 25 στους 20^oC τα όρια εμπιστοσύνης των εσωτερικών ζωνών επικαλύπτονται, ήτοι δεν υπάρχουν πλέον σημαντικές διαφορές σε περιεκτικότητα σε νερό μεταξύ τους. Όσο για την εξωτερική ζώνη, αυτή διαφοροποιείται καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος και στις δύο θερμοκρασίες αποθήκευσης.

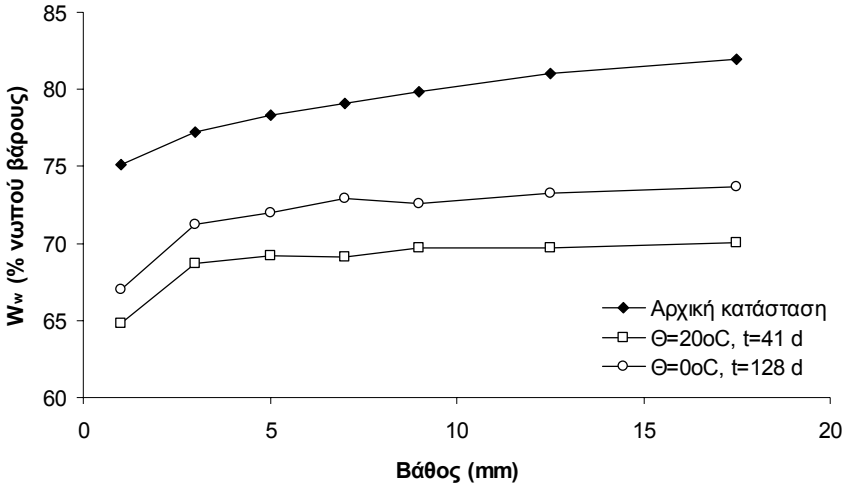


Σχήμα 1. Μεταβολή της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό (W_w) με το χρόνο αποθήκευσης για διάφορα βάθη από την επιδερμίδα και για τους δύο θερμοκρασιακούς χειρισμούς (0, 20°C).



Σχήμα 2. Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό (W_w) και του χρόνου αποθήκευσης για τρεις διαφορετικές ζώνες ιστών και για τους δύο θερμοκρασιακούς χειρισμούς (0, 20°C). Με λεπτές διακεκομμένες γραμμές έχουν σχεδιαστεί τα όρια εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95.

Στο σχήμα 3 φαίνεται ενδεικτικά η μεταβολή της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό (W_w) με την απόσταση από την επιδερμίδα, στην αρχή και στο τέλος της αποθήκευσης για τους δύο θερμοκρασιακούς χειρισμούς που μελετήθηκαν.



Σχήμα 3. Μεταβολή της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό (W_w) με το βάθος από την επιδερμίδα, για τους δύο θερμοκρασιακούς χειρισμούς (0, 20°C) στην αρχή και στο τέλος της περιόδου αποθήκευσης.

Στο σχήμα 2 και 3 είναι εμφανής μια σύγκλιση των καμπυλών περιεκτικότητας υγρασίας με το χρόνο αποθήκευσης, εσωτερικών και ενδιάμεσων ζωνών και στις δυο θερμοκρασίες αποθήκευσης, που δείχνει μια ανακατανομή της υγρασίας στις ενδότερες στρώσεις και μια τάση ομογενοποίησης στη συγκέντρωση νερού στις ζώνες αυτές. Η ομογενοποίηση αυτή των ενδότερων ζωνών στους 20°C ξεκινάει σε 25 περίπου ημέρες ενώ στους 0°C στις 135 περίπου ημέρες.

Στον πίνακα 2 φαίνονται αποτελέσματα παλινδρομήσεων για τα μήλα της ποικιλίας Granny Smith χρησιμοποιώντας λογαριθμική μορφή σχέσης όπως και στην περίπτωση της ποικιλίας Delicious Pilafa.

Από συγκρίσεις των τιμών του πίνακα 2 (ανά ζεύγη), με βάση τα όρια εμπιστοσύνης, προκύπτει ότι γενικά δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο στο b όσο και στο a, μεταξύ των διαφόρων συνδυασμών του παραπάνω πίνακα. Με παλινδρόμηση όλων των δεδομένων για κάθε θερμοκρασιακό χειρισμό, προκύπτουν οι ακόλουθες εξισώσεις για 0 και 20°C ανεξάρτητα του χρόνου συντήρησης:

$W_d=(457\pm 12)+(41,2\pm12,5)\times\ln(D)$ με $R^2=0,66$ για 0°C (3)

$W_d=(462\pm33)+(36,6\pm16,5)\times\ln(D)$ με $R^2=0,61$ για 20°C (4)

Οι τιμές του R^2 στην περίπτωση του πίνακα 2 και στις σχέσεις (3) και (4) είναι μειωμένες σε σχέση με αυτές που παρατηρήθηκαν στα μήλα Delicious Pilafa. Αυτό μάλλον οφείλεται στις μεγαλύτερες μεταβολές που παρατηρούνται στην ποικιλία Delicious Pilafa.

Η ανάλυση διασποράς για αυτή την ποικιλία έδωσε ανάλογα αποτελέσματα με την ποικιλία Delicious Pilafa. Ο παράγοντας 'απόσταση από την επιδερμίδα' εμφανίζεται

να έχει ισχυρότερη επίδραση από τον χρόνο αποθήκευσης. Στην θερμοκρασία των 0°C η μέση περιεκτικότητα των ιστών σε νερό παρουσιάζει αυξομοιώσεις με το χρόνο συντήρησης που πιθανόν να οφείλονται σε ανομοιομορφία της πρώτης ύλη. Στους 20°C παρουσιάζει αυξητική τάση με το χρόνο συντήρησης που δεν μπορεί να αποδοθεί σε κάποιο άλλο παράγοντα παρά σε διαφορές της πρώτης ύλης. Φαίνεται δηλαδή ότι είναι αναγκαίο να μετριέται η περιεκτικότητα του νερού σε σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό μήλων προκειμένου να μειωθεί η επίδραση της ανομοιομορφίας αυτής.
Η παράμετρος b της σχέσης $W=a+b\times\ln(D)$ δείχνει μεγαλύτερη σταθερότητα στο χρόνο σε σχέση με την ποικιλία Delicious Pilafa. Επίσης οι τιμές των κλίσεων b είναι αρκετά μικρότερες στην περίπτωση των μήλων Granny Smith όπως φαίνεται στους πίνακες 1 και 2 αλλά και στις σχέσεις (1) έως (4). Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην μεγαλύτερη αντίσταση της επιδερμίδας των μήλων Granny Smith στην απώλεια νερού που προφανώς μειώνει την κλίση της συγκέντρωσης νερού στο εσωτερικό των μήλων.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα παλινδρομήσεων μεταξύ της περιεκτικότητας (W_d) των ιστών μήλων Granny Smith σε νερό και της απόστασης από την επιδερμίδα (D) με χρήση του μοντέλου $W_d=a+b\times\ln(D)$. Η περιεκτικότητα των ιστών σε νερό έχει εκφραστεί ως ποσοστό % της ξηράς ουσίας και η απόσταση D σε mm.

Θερμοκρασία συντήρησης	**Χρόνος συντήρησης***	**a**	**CL-a****	**b**	**CL-b****	**R^2**
0	0	430,3	29,3	38,4	14,9	0,877
0	61	487,1	52,8	38,5	26,9	0,677
0	85	434,8	69,0	46,2	35,2	0,634
0	113	452,2	48,9	38,6	24,9	0,714
0	141	480,5	51,7	44,6	26,3	0,749
20	0	430,3	29,3	38,4	14,9	0,877
20	5	437,3	46,2	39,1	23,5	0,749
20	20	460,7	37,9	21,6	12,3	0,747
20	50	467,4	55,2	42,3	27,4	0,776
20	63	522,3	58,3	40,5	29,7	0,650

* Ο χρόνος συντήρησης έχει εκφραστεί σε μέρες
** CL: Όρια εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 0,95.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη αυτή προκύπτει ότι η περιεκτικότητα των ιστών των μήλων σε νερό κατά την διάρκεια της αποθήκευσης μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά σαν λογαριθμική συνάρτηση της απόστασης από την επιδερμίδα με καλύτερα αποτελέσματα στην ποικιλία Delicious Pilafa.
Ο χρόνος συντήρησης δεν φαίνεται να παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην περιεκτικότητα των ιστών των μήλων σε νερό όσο η απόσταση από την επιδερμίδα. Αύξηση του αριθμού των μήλων που μετρούνται κάθε φορά ενδεχομένως να μείωνε την επίδραση της ποικιλομορφίας της πρώτης ύλης και να αναδείκνυε καλύτερα την πιθανή επίδραση του χρόνου αποθήκευσης.
Στα μήλα Granny Smith η μεταβολή της περιεκτικότητας των ιστών σε νερό με την απόσταση από την επιδερμίδα είναι αρκετά ομαλότερη σε σχέση με τα Delicious Pilafa.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα αυτή κατέστη δυνατή χάρις στην χρηματοδότηση του προγράμματος 'Πυθαγόρας' από το Υπ.Ε.Π.Θ. και την Ε.Ε.

6. 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. and Lambrinos. G. in press. Changes in firmness of apples affected by moisture loss during storage. Journal of Horticultural Science & Biotechnology.

4. 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.

5. 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.

6. Μητρόπουλος. Δ. και Λαμπρινός. Γ. 2000. Αφυδάτωση μήλων ποικιλιών Pilafa Delicious και Granny Smith κατά την αποθήκευση. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργ. Μηχανικής. Βόλος. 433-440.

7. 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.

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΥΚΩΝ ΣΕ ΜΟΝΗ ΣΤΡΩΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Γ. Ξανθόπουλος*, Ν. Οικονόμου*, Ε. Μανωλοπούλου και Γρ. Λαμπρινός***

*Γ.Π.Α – Τμήμα Α.Φ.Π & Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 – 118 55, Αθήνα
e-mail: refrigenergy@aua.gr
**Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, 24 100, Αντικάλαμος, Καλαμάτα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή τη μελέτη παρουσιάζεται η μαθηματική προτυποποίηση ξήρανσης σε μονή στρώση, σύκων (*Ficus carica L. var. tsapela*) με αντλία θερμότητας κλειστού τύπου. Δοκιμάστηκαν συνδυασμοί ταχυτήτων αέρα 1.0–5.0 m/s και θερμοκρασιών (46.1–60°C) για την ξήρανση ολόκληρων σύκων έως τελική περιεχόμενη υγρασία 20% w.b. Επτά ημιεμπειρικά μοντέλα ξήρανσης σε μονή στρώση υιοθετήθηκαν για την περιγραφή των πειραματικών καμπυλών ξήρανσης και ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τους στατιστικούς συντελεστές (R^2, SSE, χ^2, RMSE). Η συσχέτιση της θερμοκρασίας T και της ταχύτητας V του αέρα, με τους συντελεστές και τις σταθερές των μοντέλων ξήρανσης έγινε με γραμμική πολλαπλή παλινδρόμηση.

MATHEMATICAL MODELLING OF A THIN LAYER DRYING OF FIGS IN AN EXPERIMENTAL HEAT PUMP

G. Xanthopoulos[*], N. Oikonomou[*], E. Manolopoulou[**] and G. Lambrinos[*]

[*]Agronomic University of Athens, Dept. of N.R.M.& Agr. Eng.
75, Iera Odos Str. – 118 55, Athens, Greece, e-mail: refrigenergy@aua.gr
[**]T.E.I. of Kalamata, Dept. of Crop Science, 24 100, Antikalamos, Kalamata

ABSTRACT

In this study the mathematical modelling of a thin layer drying of figs (*Ficus carica L. var. tsapela*) with the use of an experimental heat pump of closed circuit, is presented. A range of air velocities (1.0–5.0 m/s) and temperatures (46.1–60°C) were tested for the efficiency of the apparatus to dry uncut figs to moisture content 20% wb. Seven different thin layer drying models were compared according to their coefficients of determination (R^2, SSE, χ^2, RMSE) to estimate drying curves. The influence of the drying air temperature T and velocity V on the drying model constants and coefficients were predicted by multiple regression adopting a linear type model.

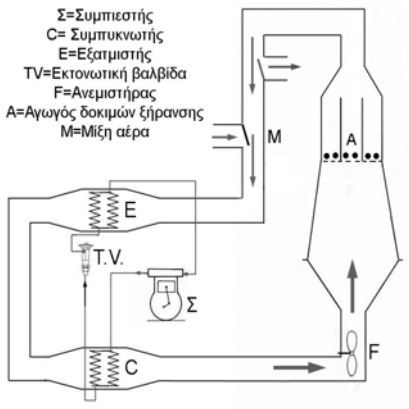
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξήρανση γεωργικών προϊόντων είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος συντήρησης η οποία συντελεί στην φυσικο-χημική σταθερότητα μέσω της ελάττωσης της ενεργότητας του νερού. Έτσι προκύπτουν νέα προϊόντα, με νέες ποιοτικές και θρεπτικές ιδιότητες. Έχουν δημοσιευθεί πολλές επιστημονικές εργασίες στην ξήρανση φρούτων (δαμάσκηνα, βερίκοκα, σύκα, σταφίδα, κ.α.) με ήλιο ή σε ρεύμα αέρα [13, 10, 11, 6, 14, 1, 3]. Οι υψηλές θερμοκρασίες ξήρανσης με τις οποίες λειτουργούν τα συμβατικά ξηραντήρια προκαλούν ποιοτική υποβάθμιση του προϊόντος. Μία εναλλακτική μέθοδος ξήρανσης είναι αυτή με αντλία θερμότητας. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, χαμηλότερη υγρασία του αέρα ξήρανσης και χαμηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης σε σύγκριση με τα συμβατικά ξηραντήρια. Προκαταρκτικές έρευνες [17] έδειξαν ότι το χρώμα και το άρωμα των ξηραινόμενων προϊόντων με αντλία θερμότητας, ήταν καλύτερο από αυτό των συμβατικών ξηραντηρίων αέρα.
Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός στατιστικού μοντέλου το οποίο να περιγράφει την ξήρανση ολόκληρων σύκων σε πειραματικό ξηραντήριο με αντλία θερμότητας για διάφορους συνδυασμούς συνθηκών (θερμοκρασία αέρα ταχύτητα αέρα).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματική συσκευή

Μία πειραματική αντλία θερμότητας κλειστού κυκλώματος (Σχήμα 1), σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο "Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας" του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών [15].



Σχήμα 1. Πειραματική διάταξη της αντλίας θερμότητας

Οι συνθήκες ξήρανσης (θερμοκρασία, ταχύτητα και απόλυτη υγρασία του αέρα ξήρανσης) μπορούν να ελεγχθούν εντός των ορίων λειτουργίας της πειραματικής συσκευής.
Ο αγωγός δοκιμών ξήρανσης αποτελείται από δύο ομόκεντρους, κυλινδρικής διατομής,

διαφανείς πλαστικούς σωλήνες με διατομή 0.3 m και 0.15 m αντίστοιχα, οι οποίοι φέρουν στη βάση τους μεταλλικό πλέγμα επάνω στο οποίο τοποθετούνται τα σύκα προς ξήρανση. Ο εσωτερικός σωλήνας φέρει ένα καλάθι από συρμάτινο πλέγμα, εντός του οποίου τοποθετούνται σύκα προς ξήρανση και τακτικό έλεγχο. Σε τακτά χρονικά διαστήματα τα σύκα ζυγίζονταν ατομικά και καταγραφόταν η απώλεια υγρασίας τους. Ο αέρας πριν την είσοδό του στο χώρο ξήρανσης διερχόταν από μία ειδική διάταξη σκοπός της οποίας ήταν η ομογενοποίηση του προφίλ του ρεύματος αέρα ώστε να εξασφαλίζονται συνθήκες σταθερής μεταφοράς θερμότητας στη στρώση ξηραινόμενων σύκων. Η διαστασιολόγηση αυτής της κατασκευής πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ρευστομηχανικής, Fluent 5.1 [7, 15].

2.2 Πειραματική διαδικασία

Η θερμοκρασία και η απόλυτη υγρασία του ανακυκλούμενου αέρα μειωνόταν κατά την δίοδό του από τον εξατμιστή. Στη συνέχεια, στο συμπυκνωτή, ο αέρας αυτός θερμαινόταν ισοϋγρασιακά και κατευθυνόταν στο θάλαμο ξήρανσης.
Γινόταν συστηματική καταγραφή της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας καθώς και των συνθηκών στα διάφορα μέρη της αντλίας θερμότητας. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνταν θερμοζεύγη τύπου Κ με ακρίβεια ±1.0^{o}C και διακριτικής ικανότητας 0.1^{o}C. Η σχετική υγρασία εντός του θαλάμου ξήρανσης μετριόταν με έναν αισθητήρα υγρασίας, μοντέλο AHLBORN MESS και τύπου THERM 2280–1, υγρού–ξηρού θερμομέτρου, ο οποίος είχε ακρίβεια ±2.0% και διακριτική ικανότητα 0.5%.
Η θερμοκρασία και σχετική υγρασία του αέρα αμέσως μετά τη στρώση των ξηραινόμενων σύκων, καταγραφόταν από έναν ηλεκτρονικό καταγραφέα Hobo 8H (Onset Computer Corp.) του οποίου η διακριτική ικανότητα ήταν 0.4^{o}C και 0.5% ενώ η ακρίβεια ήταν ±0.7^{o}C και ±3.0% για τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία αντίστοιχα.
Η ταχύτητα του αέρα μετριόταν με ένα ανεμόμετρο, μοντέλο CLIMATHERM, θερμαινόμενου νήματος πριν την είσοδό του στο θάλαμο ξήρανσης, το οποίο είχε ακρίβεια ±0.05m/s, και διακριτική ικανότητα 0.1m/s.
Τα ξηραινόμενα δείγματα ζυγίζονταν σε έναν ηλεκτρονικό ζυγό, ακρίβειας ±0.2g, διακριτικής ικανότητας 0.1g και μέγιστης χωρητικότητας 0.4kg.
Οι μετρήσεις συλλέγονταν από έναν ηλεκτρονικό σταθμό καταγραφής CR10X της Campbell Scientific Ltd. ο οποίος έστελνε τα δεδομένα σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα σε προσωπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή

2.3 Προετοιμασία δείγματος και συνθήκες ξήρανσης

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με φρέσκα σύκα, ποικιλίας *Τσαπέλα*, προελεύσεως Καλαμών, μέσης αρχικής περιεχόμενης υγρασίας 2.48 kg νερού ανά kg ξηράς ουσίας (71.3% υγρής βάσης) και μέσης διαμέτρου 39.5cm. Σε όλες τις περιπτώσεις, η μέση πυκνότητα των σύκων, εντός του θαλάμου ξήρανσης, ήταν 6.6 kg/m^2 σε μονόσειρη διάταξη. Τα φρέσκα σύκα ξηραίνονταν ολόκληρα, χωρίς καμία χημική εφαρμογή πριν την ξήρανσή τους.
Η θερμοκρασία του αέρα εντός του θαλάμου ξήρανσης κυμάνθηκε από 46.1–49.6^{o}C με την εφαρμογή ταχυτήτων αέρα 1.0–5.0 m/s και χωρίς συμπληρωματική θέρμανση. Η αύξηση της ταχύτητας του αέρα μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης, οπότε για τον έλεγχο υψηλότερων θερμοκρασιών ξήρανσης, 55°C και 60°C, απαιτήθηκε και η χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων. Οι ταχύτητες αέρα που εφαρμόστηκαν ήταν 1.0, 2.0,

3.0 και 3.5 m/s. Οι συνθήκες ξήρανσης, (Πίνακας 1), που ελέγχθηκαν στόχευαν στην ελαχιστοποίηση του χρόνου ξήρανσης, θέτοντας ως τελική περιεχόμενη υγρασία των σύκων το 20% υγρής βάσης.

Πίνακας 1. Οι συνθήκες ξήρανσης που ελέγχθηκαν

Συνθήκη Ξήρανσης	Μέση Σχετική Υγρασία Αέρα (%)	Θερμοκρασία Αέρα (^oC)	Ταχύτητα Αέρα (m/s)
A	12.60	49.6	1.0
B	17.65	47.2	2.0
C	10.65	60.0	2.0
D	9.00	60.0	3.0
E	13.88	47.9	3.0
G	10.34	55.0	3.5
H	9.77	55.0	3.0
I	12.90	46.1	4.0
K	9.70	55.0	2.0
L	15.64	46.8	5.0
N	10.37	55.0	1.0

Οι χρόνοι ξήρανσης κυμάνθηκαν από 23 h (60°C, 3.0 m/s) έως 53.3 h (47.2^{o}C, 2.0 m/s). Η μελέτη της ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε συνθήκη ξήρανσης περιγράφεται από τους Οικονόμου *κ.α.* 2005.

Η απόλυτη υγρασία του αέρα εντός του θαλάμου ξήρανσης κυμάνθηκε από 7 έως 10 g νερού ανά kg ξηρού αέρα. Η μεταβολή του βάρους των ξηραινόμενων σύκων (ατομικά) καταγραφόταν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η περιεχόμενη υγρασία των φρέσκων σύκων υπολογίστηκε μετά από ξήρανση σε φούρνο 105°C μέχρι σταθερού βάρους [2].

2.4 Υπολογισμός του ισόρροπου ποσοστού υγρασίας και μαθηματική προτυποποίηση των καμπύλων ξήρανση.

Το ισόρροπο ποσοστό υγρασίας των σύκων M_{eq}, υπολογίστηκε από την εξίσωση GAB (Guggenheim–Anderson–DeBoer) η οποία συνήθως χρησιμοποιείται στην ξήρανση φρέσκων αγροτικών προϊόντων [18] και έχει την ακόλουθη αναλυτική μορφή:

$$M_{eq} = \frac{M_{gm} \cdot Y \cdot K \cdot \alpha_w}{(1 - K \cdot \alpha_w) \cdot (1 - K \cdot \alpha_w + Y \cdot K \cdot \alpha_w)} \qquad (1)$$

όπου οι συντελεστές Y και K δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$Y = \alpha \cdot \exp\left(\frac{\Delta H_y}{R_g \cdot T_{abs}}\right) \qquad K = \beta \cdot \exp\left(\frac{\Delta H_k}{R_g \cdot T_{abs}}\right)$$

Οι σταθερές των προηγούμενων σχέσεων έχουν τις ακόλουθες τιμές για σύκα, M_{gm}=12% ξηρά βάση, α=3.95 10^{-4}, $\Delta H_y = H_{mo} - H_{mu}$=1,144.7 kJ/kg, β=1.104, $\Delta H_k = H_l - H_{mu}$=-19.83 kJ/kg, [20].

Οι καμπύλες ξήρανσης των σύκων, M=f(t), όπου M είναι η περιεχόμενη υγρασία των

σύκων σε υγρή βάση και t είναι ο χρόνος ξήρανσης σε h, μετασχηματίστηκαν στην αδιάστατη περιεχόμενη υγρασία (επί ξηράς βάσης) MR και προσαρμόστηκαν σε επτά διαφορετικά ημιεμπειρικά μοντέλα ξήρανσης μονής στρώσης (Πίνακας 2) με στατιστική ανάλυση (Statgraphics Plus 5.1), [19].

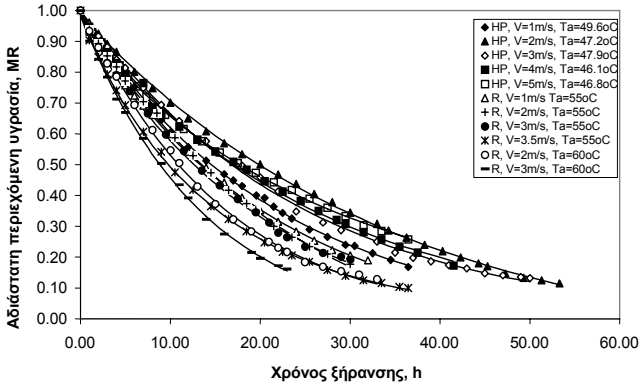
Πίνακας 2. Ημιεμπειρικά μοντέλα ξήρανσης μονής στρώσης

Μοντέλο	**Μαθηματική έκφραση**	**Βιβλιογραφία**
Newton	$MR=\exp(-kt)$	[4], [16]
Page	$MR=\exp(-kt^n)$	[4], [16]
Henderson and Pabis	$MR=a\exp(-kt)$	[23], [9]
Logarithmic	$MR=a\exp(-kt)+c$	[22]
Two term	$MR=a\exp(-k_o t)+b\exp(-k_1 t)$	[8]
Wang and Singh	$MR=1+a t+b t^2$	[21]
Modified Henderson and Pabis	$MR=a\exp(-kt)+b\exp(-gt)+c\exp(-ht)$	[12]

Έγινε σύγκριση των R^2, RMSE, SEE και χ^2 για την επιλογή του καλύτερα προσαρμοζόμενου μοντέλου. Τέλος με εφαρμογή πολλαπλής παλινδρόμησης μελετήθηκε η επίδραση των μεταβλητών ξήρανσης στις σταθερές και στις μεταβλητές του επιλεγέντος μοντέλου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Η περιεχόμενη υγρασία των σύκων από κάθε πειραματική δοκιμή (θερμοκρασία αέρα x ταχύτητα αέρα) M=f(t) μετατράπηκε σε αδιάστατη περιεχόμενη υγρασία, MR και ελέγχθηκε στατιστικά ποιο από τα επτά μοντέλα ξήρανσης σε μονή στρώση (Πίνακας 2) περιγράφει καλύτερα τις καμπύλες της αδιάστατης περιεχόμενης υγρασίας. Στο (Σχήμα 2), παρουσιάζονται για κάθε περίπτωση, τόσο η μεταβολή της πειραματικής αδιάστατης περιεχόμενης υγρασίας όσο και η αντίστοιχη καμπύλη του καλύτερα προσαρμοσμένου μοντέλου, αναλυτικά στοιχεία του οποίου εμφανίζονται στον (Πίνακα 3).



Σχήμα 2. Μεταβολή της αδιάστατης περιεχόμενης υγρασίας με το χρόνο ξήρανσης για όλες τις συνθήκες ξήρανσης.

Πίνακας 3. Συντελεστές και σταθερές του *Λογαριθμικού* μοντέλου ξήρανσης για όλες

τις συνθήκες ξήρανσης.

No	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ & ΣΤΑΘΕΡΕΣ	SEE	R^2	x^2	RMSE
A	a=1.0056071, k=0.046151357, c=-0.013237985	0.00652445	0.999364	0.0009365	0.0287076
B	a=1.1169051, k=0.028833762, c=-0.12988083	0.00608847	0.999570	0.0010009	0.0300131
C	a=1.0197639, k=0.063100218, c=-0.01436378	0.01061000	0.998808	0.0020263	0.041675 3
D	a=1.0205352, k=0.072802629, c=-0.036033118	0.00950433	0.999006	0.0011743	0.030889 1
E	a=1.0223836, k=0.039575342, c=-0.02457264	0.01167390	0.998620	0.0031344	0.052657 1
G	a=0.95471733, k=0.071333125, c=0.026834532	0.00635800	0.999564	0.0008085	0.026514 7
H	a=1.0420133, k=0.049273369, c=-0.057944816	0.00960807	0.998862	0.0015694	0.036523 3
I	a=0.99207967, k=0.038380454, c=-0.015301956	0.01251600	0.997743	0.0034463	0.055070 4
K	a=1.1711725, k=0.040476592, c=-0.17976026	0.00712934	0.999382	0.0008132	0.026169 3
L	a=0.87807302, k=0.045790788, c=0.10484571	0.00972928	0.998383	0.0017985	0.039411 5
N	a=1.0184935, k=0.04795613, c=-0.036323406	0.00695022	0.999360	0.0008695	0.027299 9

Το *Λογαριθμικό* μοντέλο ξήρανσης αποδείχθηκε το καλύτερο και γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκε ως το αντιπροσωπευτικότερο για το σύνολο των πειραματικών δοκιμών.
Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι το *Λογαριθμικό* μοντέλο ξήρανσης μπορεί να εφαρμοστεί στην προτυποποίηση της ξήρανσης σύκων με αντλία θερμότητας, αλλά μόνο του δεν μπορεί να προσδιορίσει την επίδραση της θερμοκρασίας και ταχύτητας του αέρα ξήρανσης στην εξέλιξη του φαινομένου. Η επίδραση αυτών των παραγόντων ξήρανσης στη σταθερά k (h^{-1}) και στους αδιάστατους συντελεστές a και c του μοντέλου, εκφράστηκε μετά από εφαρμογή γραμμικής πολλαπλής παλινδρόμησης όλων των δυνατών συνδυασμών των τιμών των k, a και c ως προς τη θερμοκρασία T και ταχύτητα V του αέρα ξήρανσης.
Από την τελευταία αυτή επεξεργασία προέκυψε το παρακάτω μοντέλο:

$$MR(a,k,c) = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c \qquad (2)$$

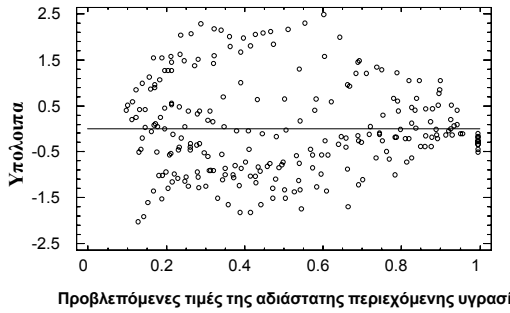
όπου:

$$a = 1.11395 + 0.000108651 \cdot T - 0.0364236 \cdot V$$
$$k = -0.0901637 + 0.00243023 \cdot T + 0.0044668 \cdot V$$
$$c = -0.133468 + 0.0001551 \cdot T + 0.0339942 \cdot V$$

Η περιεχόμενη υγρασία των σύκων κατά τη διάρκεια της ξήρανσής τους με την αντλία θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί με αρκετή ακρίβεια από το προκύψαν μοντέλο όπως φαίνεται και από τις τιμές των παρακάτω στατιστικών παραγόντων:

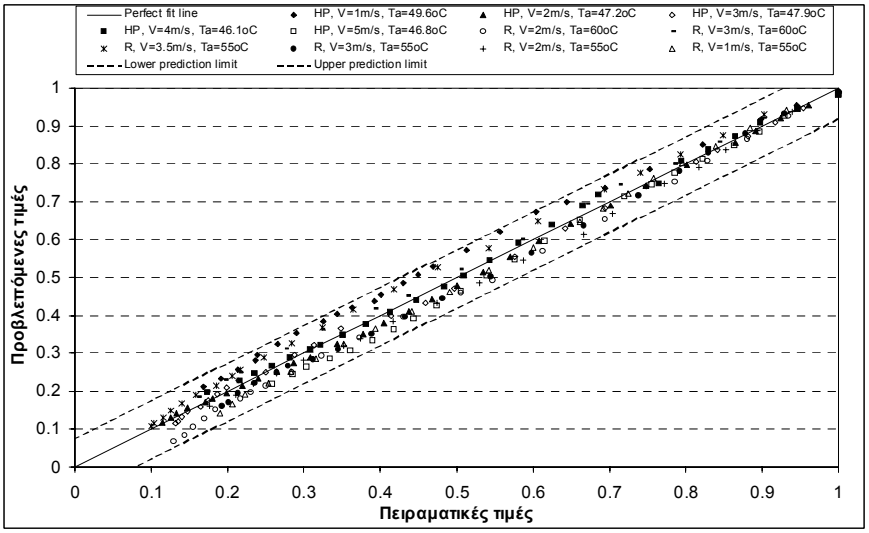
R^2=0.9883 χ^2=0.2133 RMSE=0.4609 SEE=0.0294

Το αντίστοιχο γράφημα *υπολοίπων* (Σχήμα 3) δείχνει ότι οι τιμές περιορίζονται σε μία οριζόντια ζώνη γύρω από το μηδέν, χωρίς την εμφάνιση συστηματικών τάσεων [5].



Σχήμα 3. *Υπόλοιπα* έναντι προβλεπόμενων τιμών της αδιάστατης περιεχόμενης υγρασίας.

Το στατιστικό τέλος μοντέλο, εκτιμήθηκε συγκρίνοντας τις προβλεπόμενες με τις πειραματικές τιμές της αδιάστατης περιεχόμενης υγρασίας για κάθε πειραματική συνθήκη (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Πειραματικές έναντι υπολογιζόμενων τιμών της αδιάστατης περιεχόμενης υγρασίας.

Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι οι τιμές της αδιάστατης περιεχόμενης υγρασίας, όπως

αυτές υπολογίζονται από το μοντέλο με πιθανότητα 0.99, τοποθετούνται γύρω από την *τέλεια* ευθεία προσαρμογής X=Y, και εντός της ζώνης που οριοθετείται από τα αντίστοιχα άνω και κάτω όρια πρόβλεψης (upper and lower prediction limits).
Αυτή η τάση παρέχει ένα πρόσθετο κριτήριο της ικανότητας πρόβλεψης του προτεινόμενου μοντέλου ξήρανσης σύκων με αντλία θερμότητας εντός των λειτουργικών ορίων της συγκρινόμενης εγκατάστασης ξήρανσης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μία πειραματική αντλία θερμότητας αναπτύχθηκε πρωτίστως για τον κλιματισμό μικρών αγροτικών κτιρίων και δευτερευόντως για την ξήρανση αγροτικών προϊόντων. Μελετήθηκε με αυτήν και περιγράφηκε μαθηματικά η επίδραση στην ξήρανση των σύκων της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα ξήρανσης στο εύρος 46.1–60°C και 1.0–5.0 m/s αντίστοιχα.
Για την περιγραφή της ξήρανσης των σύκων υιοθετήθηκαν επτά γνωστά μοντέλα ξήρανσης μονής στρώσης. Μεταξύ αυτών, το *Λογαριθμικό* μοντέλο έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη συμφωνία πειραματικής και υπολογιζόμενης αδιάστατης περιεχόμενης υγρασίας.
Η στατιστική ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, της επίδρασης της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα ξήρανσης στις σταθερές και στους συντελεστές του *Λογαριθμικού* αυτού μοντέλου παρήγαγε ένα μοντέλο με R^2=0.9883, χ^2=0.2133, RMSE=0.4609 και SEE=0.0294.
Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί να περιγράψει την ξήρανση σύκων σε μονή στρώση με θερμό ρεύμα αέρα σε εύρος θερμοκρασίας, 46.1–60°C και ταχύτητας αέρα 1.0–5.0 m/s.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα αυτή κατέστη δυνατή χάρις στην χρηματοδότηση του προγράμματος ***Πυθαγόρας*** από το ΥΠ.Ε.Π.Θ. και την Ε.Ε.

Nomenclature

M	περιεχόμενη υγρασία [$kg_{νερό}/kg_{Ξ.O}$] ή [$kg_{νερό}/kg_{Υ.Β}$]
t	χρόνος ξήρανσης [h]
MR	αδίαστατη περιεχόμενη υγρασία, πηλίκο
R^2	συντελεστής συσχέτισης
SEE	τυπικό σφάλμα εκτίμησης
χ^2	Χ–τετράγωνο
RMSE	τετραγωνική ρίζα του μέσου σφάλματος
M_{eq}	ισόρροπο ποσοστό υγρασίας [$kg_{H2O}/kg_{Ξ.O}$]
M_{gm}	μονοστρωματική περιεχόμενη υγρασία [$kg_{H2O}/kg_{Ξ.O}$]
Y, K,	σταθερές εξίσωσης GAB [–]
α, β	εντροπικοί συντελεστές προσαρμογής
a_w	ενεργότητα νερού [–]
H_{mo}, H_{mu}, H_l	μονοστρωματική, πολυστρωματική και υγρού ενθαλπία απορρόφησης [kJ/kg]
R_g	σταθερά των τελείων αερίων για τον υδρατμό [0.462 KJ/kg K]
T_{abs}	απόλυτη θερμοκρασία αέρα [K]

a, k, c	σταθερές της Εξίσωσης (2)
T	θερμοκρασία αέρα ξήρανσης [^{o}C]
V	ταχύτητα αέρα ξήρανσης [m/s]
a, b, c, g, h, n	εμπειρικές σταθερές των μοντέλων ξήρανσης
k, k_o, k_1	εμπειρικοί συντελεστές των μοντέλων ξήρανσης

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1 Akpinar E.K., Sarsilmaz C. & Yildiz C. 2004. Mathematical modelling of a thin layer drying of apricots in a solar energized rotary dryer. *International Journal of Energy Research*, 28, 739–752.

2 AOAC 1997. *Official methods of analysis* (16th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

3 Babalis S.J. & Belessiotis V.G. 2004. Influence of drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin–layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, 65, 449–458.

4 Brooker D.B., Bakker–Arkema F.W. & Hall C.W. 1992. *Drying and storage of grains and oilseeds* (1st ed., pp. 212–213). Van Nostrand Reinhold, New York.

5 Chen C.C. & Morey R.V. 1989. Comparison of four EMC/ERH equations. *Transactions of the ASAE*, 32(30), 983–990.

6 El-Sebaii A.A., Aboul–Enein S., Ramadan M.R.I. & El–Gohary H.G. 2002. Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables. *Energy*, 27, 845–859.

7 Fluent 5.1 1999. *User's Guide*. Fluent Inc., Fluent Europ. Ltd.

8 Henderson S.M. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*, 17, 1167–1172.

9 Jayas D.S., Cenkowski S., Pabis S. & Muir W.E. 1991. Review of thin–layer drying and wetting equations. *Drying Technology,* 9(3), 551–588.

10 Karathanos V.T. & Belessiotis V.G. 1997. Sun and artificial air–drying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering*, 31, 35–46.

11 Karathanos V.T. & Belessiotis V.G. 1999. Application of a thin–layer equation to drying data of fresh and semi–dried fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74, 355–361.

12 Karathanos V.T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39, 337–344.

13 Kiranoudis C.T., Tsami E., Maroulis Z.B. & Marinos–Kouris D. 1997. Drying kinetics of some fruits. *Drying technology*, 15(5), 1399–1418.

14 Krokida M.K., Karathanos V.T., Maroulis Z.B. & Marinos–Kouris D. 2003. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, 59, 391–403.

15 Oikonomou N. Xanthopoulos G. & Lambrinos G. 2005. Experimentally determination of the dehumidification rate and consumption of power during drying of figs with an experimental heat pump. 4th Greek National Conference in Agricultural Engineering (in Greek–in preparation).

16 Pabis S., Jayas D.S. & Cenkowski S. 1998. *Grain Drying: Theory and Practice*. (1st ed., pp. 110–111). John Wiley & Sons, Inc., New York.

17 Prasertsan S. & Saen–saby P. 1998. Heat pump drying of agricultural materials. *Drying Technology*, 16(1 & 2), 235–250.

18 Rahman S. 1995. *Food properties handbook* (1st ed., pp. 29–46). CRC Press Inc., Florida.

19 Statgraphics Plus 5.1 2001. *Online Manual*, Statistical Graphics Corp.
20 Tsami, E., Marinos–Kouris, D. & Maroulis, Z.B. 1990. Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes and apricots. *Journal of Food Science*, 55(6), 1594 (cited by Rahman S. (1995). *Food properties handbook* (1st ed., pp. 29–46). CRC Press Inc., Florida).
21 Wang C.Y. & Singh R.P. 1978. A single layer drying equation for rough rice. *ASAE Paper No. 3001*.
22 Yaldiz O. & Ertekin C. 2002. Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19, 583–596.
23 Zhang Q. & Litchfield J.B. 1991. An optimisation of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. *Drying Technology*, 9, 383–395.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΜΩΛΩΠΙΣΜΟ ΤΡΙΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ

Χ. Παπαϊωάννου, Μ. Κόκκορα, Π. Ντιούδης, Ι. Κόκκορας
Τ.Ε.Ι. Λάρισας - Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας,
Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων, 411 10, Λάρισα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνήθηκε η επίδραση του χρόνου συντήρησης στη μέγιστη δύναμη που αναπτύσσεται κατά τη συμπίεση των καρπών σε σταθερή παραμόρφωση καθώς και το μέγεθος του μώλωπα που δημιουργείται από τη συμπίεση αυτή, σε τρεις ποικιλίες μήλων (*Golden Delicious, Granny Smith και Red Delicious)*. Η ποικιλία *Golden Delicious* είναι ευαίσθητη καθώς εμφάνισε τα μικρότερα θλιπτικά φορτία ενώ η ποικιλία *Red Delicious* εμφάνισε τον μεγαλύτερο όγκο μώλωπα.

COMPARATIVE EVALUATION OF BRUISING SUSCEPTIBILITY FOR THREE APPLE CULTIVARS

X. Papaioannou, M. Kokkora, P. Dioudis, I. Kokkoras
Technological Education Institute of Larissa, School of Agricultural Technology,
Department of Farm Machinery and Irrigation , 411 10 Larissa, Greece

ABSTRACT

The effect of storage duration for three apple cultivars *(Golden Delicious, Granny Smith and Red Delicious)* on maximum compression force under constant quasi-static deformation along with the size of the bruising that occurred, were studied. The cultivar *Golden Delicious* was characterized by the least compression forces while the cultivar *Red Delicious* had the greatest bruising volume than the other cultivars.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα οπωροκηπευτικά προϊόντα, η ποιότητα των οποίων είναι αδύνατο να βελτιωθεί μετά τη συγκομιδή, υφίστανται μετασυλλεκτικά μηχανικές κακώσεις, που οδηγούν σε μωλωπισμούς της σάρκας και αποτελούν βασικό πρόβλημα στην προώθησή τους στην αγορά.

Οι μωλωπισμοί από φυσιολογικής απόψεως είναι τοπικοί εκφυλισμοί των ιστών οι οποίοι σε συνδυασμό με την έξοδο ενδοκυτταρικού νερού (free water) προκαλούν οξείδωση των φαινολικών ουσιών των καρπών και σταδιακή μετατροπή του χρώματος των ιστών σε καφέ χρώμα [1]. Δεν γίνονται αντιληπτοί στο στάδιο της διαλογής, εμφανίζονται μετά τη συσκευασία των καρπών, με τη μορφή αποχρωματισμών ή παραμορφώσεων με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας.

Το είδος των καταπονήσεων που ευθύνεται για την πρόκληση μωλωπισμών στους καρπούς μπορεί να είναι ημι-στατικό (θλίψη) ή δυναμικό (κρούση) [2]. Η καταπόνηση που υφίστανται τα μήλα των κατωτέρων στρώσεων των κιβωτίων συσκευασίας, από το βάρος των υπερκειμένων καρπών με τα οποία βρίσκονται σε επαφή, ανήκει στην πρώτη κατηγορία [3], ενώ καταπονήσεις που υφίστανται οι καρποί στα εκμηχανισμένα στάδια συγκομιδής – διαχείρισης – μεταφοράς ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία. Μωλωπισμοί επίσης μπορεί να συμβούν και στο στάδιο της προ-διαλογής και προ-ταξινόμησης που περιλαμβάνει την εμβάπτιση σε διάλυμα κατάλληλο για την προστασία των καρπών [4].

Γενικά οι πληγές στη σάρκα ή τον φλοιό μειώνουν τη διάρκεια ζωής των καρπών γιατί επιτρέπουν την είσοδο μικροοργανισμών, επιταχύνουν την αναπνοή και την απώλεια νερού και μαζί με άλλα οξειδωτικά φαινόμενα όπως προαναφέρθηκε, οδηγούν σε σήψη και καταστροφή των προϊόντων [5], το κόστος της οποίας είναι αρκετά υψηλό. Συγκεκριμένα, το 1998 στην αμερικανική βιομηχανία τροφίμων που εμπλέκεται με το μήλο, το κόστος αυτό έφθασε τα $1,2*10^9$ δολάρια [6].

Επομένως η γνώση της αντοχής κάθε ποικιλίας στις καταπονήσεις, που αποτελεί και το σκοπό της συγκεκριμένης έρευνας, συμβάλλει στην αποτίμηση της εμπορικότητας, επειδή οι μηχανικές κακώσεις αποτελούν σημαντικό παράγοντα μείωσης της εμπορικής αξίας της παραγωγής. Στην παρούσα εργασία θα συγκριθούν οι τρεις χαρακτηριστικότερες ποικιλίες μήλων της περιοχής Αγιάς Λάρισας δηλαδή οι *Golden Delicious, Granny Smith και Red Delicious*. Η συγκεκριμένη περιοχή συνεισφέρει κατά το ¼ στο σύνολο της εγχώριας παραγωγής μήλων [7]. Μελετήθηκε η αντοχή των συγκεκριμένων ποικιλιών στη θλίψη καθώς και το μέγεθος του δημιουργούμενου μώλωπα σε σχέση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους και τη διάρκεια συντήρησης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η προμήθεια των καρπών έγινε από το ψυγείο της Ένωσης Αγροτικών συνεταιρισμών Λαρίσης Τυρνάβου και Αγιάς, τον Οκτώβριο του 1999. Επιλέχθηκαν 90 καρποί από κάθε ποικιλία που προέρχονταν από τον ίδιο παραγωγό (ίδια προσυλλεκτική μεταχείριση). Τα 2/3 κάθε ποικιλίας παρέμειναν στο ψυγείο (1^0 C) για να αναλυθούν μετά από 1 και 2 μήνες (1/3 κάθε φορά). Οι υπόλοιποι 30 καρποί (από κάθε ποικιλία) μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο του Τμήματος Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων του Τ.Ε.Ι. Λάρισας για να άμεση ανάλυση (μήνας 0).

Δέκα καρποί από κάθε ποικιλία εξετάσθηκαν αμέσως (ημέρα 0), οι άλλοι δέκα την επόμενη (ημέρα 1) και οι υπόλοιποι δέκα την μεθεπόμενη (ημέρα 2). Για την εξέταση

των καρπών στο διάστημα των 0, 1 και 2 ημερών οι καρποί παρέμειναν σε συνθήκες δωματίου (20 ^{0} C).

Η εξέταση των καρπών έγινε ως εξής:

- μέτρηση του βάρους ανά καρπό.
- μέτρηση της σκληρότητας της σάρκας στο μέσο της απόστασης κάλυκα – ποδίσκου (Magness – Taylor fruit firmness tester, 11 mm διάμετρος κυλίνδρου διάτρησης [8]) μετά από αφαίρεση του φλοιού.
- μέτρηση των διαστάσεων του μώλωπα μετά την εφαρμογή θλίψης, στα δύο τμήματα που προέκυπταν τεμαχίζοντας του καρπούς στη μέση (κάθετα στον ισημερινό), στο σημείο που είχε γίνει η προηγούμενη μέτρηση (Universal testing machine τύπου Zwick Z010, 5 KN κυψέλη φόρτισης, 0,5N ανάλυση, 10 mm/min πρόωση) [9]. Η επάνω κεφαλή συγκράτησης είχε αντικατασταθεί με σφαίρα διαμέτρου 19 mm, προσαρμοσμένη έτσι ώστε άξονας της θλίψης και ισημερινός του καρπού να συμπίπτουν. Επιλέχθηκαν δύο μεγέθη μώλωπα δημιουργούμενα κατά τη συμπίεση της σφαίρας στη μάζα του καρπού, σε δύο σταθερά βάθη (1,5 και 3,0 mm). Στο μισό καρπό εφαρμόζονταν το 1,5 mm και στον άλλο μισό τα 3,0 mm παραμόρφωση. Έγινε καταγραφή της μέγιστης θλιπτικής δύναμης που κατέγραψε το μηχάνημα στα συγκεκριμένα βάθη.
- μέτρηση των διαλυτών στερεών συστατικών (αναλογικό διαθλασίμετρο, 0-32% διαβάθμιση της κλίμακας ^{o}Brix, 0,2 % ανάλυση).

Οι καρποί μετά τη μέτρηση των στερεών διαλυτών συστατικών αφέθηκαν δύο ώρες, προκειμένου να εξελιχθεί η οξείδωση των φαινολικών και να είναι δυνατή η ανίχνευση του μώλωπα. Για τη μέτρηση των διαστάσεων του μώλωπα τεμαχίσθηκαν εκ νέου στη μέση, στο σημείο εφαρμογής του μώλωπα. Μετρήθηκε με παχύμετρο το πλάτος και το βάθος του μώλωπα και υπολογίσθηκε ο όγκος του μώλωπα με βάση τη σχέση:

$$V=\pi\, d^2\, h/6\ (cm^3)$$

όπου V είναι ο όγκος, d η διάμετρος και h *το* ύψος του μώλωπα [10].

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS 10. Για τη σύγκριση των μέσων όρων των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο πολλαπλών ευρών Duncan σε επίπεδο σημαντικότητας $p<0,05$. Χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση παραλλακτικότητας ANOVA. Οι παράμετροι της στατιστικής ανάλυσης φαίνονται στον Πίν. 1. Εξετάσθηκε η αλληλεπίδραση των εξαρτημένων μεταβλητών.

Πίνακας 1. *Παράμετροι πειραματικού σχεδιασμού.*

Ανεξάρτητες μεταβλητές	*Εξαρτημένες μεταβλητές*
Παραμορφώσεις : (2)	Βάρος καρπών (g)
Μήνες συντήρησης σε 1^0C : (3)	Διαλυτά στερεά συστατικά (%BRIX)
Ημέρες συντήρησης σε 20^0C : (3)	Σκληρότητα της σάρκας (N)
Ποικιλίες : (3)	Μέγιστη δύναμη (N)
	Όγκος του μώλωπα (cm^3)

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Το **βάρος των καρπών** εξαρτάται από την ποικιλία (F=88,751 Sig=0,000), τους μήνες (F=4,024 Sig=0,019) καθώς και τις ημέρες συντήρησης (F=7,828 Sig=0,001).

Συγκεκριμένα μεγαλόκαρπη είναι η ποικιλία *Red Delicious* με μέσο βάρος καρπών ίσο με 275.23 *g* ακολουθούμενη από τη *Granny Smith* με μέσο βάρος καρπών ίσο με 242.14 *g* και τη *Golden Delicious* με μέσο βάρος καρπών ίσο με 202.30 *g*.

Σχετικά με τους μήνες συντήρησης δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική μείωση στο βάρος των καρπών μεταξύ 0 και $1^{ου}$ ή μεταξύ $1^{ου}$ και $2^{ου}$ μήνα ενώ βρέθηκε ότι ο $2^{ος}$ μήνας είναι κρίσιμος για τη μεταβολή του βάρους των καρπών (Πίν.2).

Πίνακας 2. *Μεταβολή του βάρους των καρπών με τους μήνες αποθήκευσης*

Μήνες αποθήκευσης σε 1^0C (0-$1^{ος}$-$2^{ος}$)	240,58α	238,69αβ	235,45β

Όσον αφορά την παραμονή των καρπών σε συνθήκες δωματίου υπάρχει διαφορά στο βάρος των καρπών σε όλο το διάστημα (Πίν.3).

Πίνακας3. *Μεταβολή του βάρους των καρπών με τις ημέρες αποθήκευσης*

Ημέρες αποθήκευσης σε 20^0C($0^η$-$1^η$-$2^η$)	245,38α	237,78β	225,94γ

3.2 Η **περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά** εξαρτάται μόνο από την ποικιλία (F=103,763 Sig=0,000). Τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα έχει η ποικιλία *Golden Delicious* ακολουθούμενη από τη *Red Delicious*, ενώ η *Granny Smith* έχει τη μικρότερη (Πίν. 4).

Πίνακας 4. *Περιεκτικότητα των τριών ποικιλιών σε διαλυτά στερεά συστατικά (%BRIX).*

Granny Smith - Red Delicious - Golden Delicious	14,34γ	15.61β	17,45α

3.3 Η **σκληρότητα της σάρκας** εξαρτάται από την ποικιλία (F=77,304 Sig=0,000) και τους μήνες συντήρησης (F=3,677 Sig=0,027). Συγκεκριμένα τη μεγαλύτερη σκληρότητα παρουσιάζει η ποικιλία *Granny Smith* ενώ από άποψη σκληρότητας οι άλλες 2 ποικιλίες είναι ίδιες. Το γεγονός ότι δεν βρέθηκαν διαφορές στη σκληρότητα μεταξύ των ποικιλιών *Golden Delicious* και *Red Delicious* οφείλεται μάλλον στη στατιστική. Οι τιμές της ποικιλίας *Granny Smith* ήταν ιδιαίτερα υψηλές με αποτέλεσμα το δείγμα για τις άλλες 2 ποικιλίες να μη διαφοροποιείται, γιατί σύμφωνα με άλλους ερευνητές η ποικιλία *Red Delicious* έχει μεγαλύτερη σκληρότητα από τη *Golden Delicious* [11]. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με κείνα άλλων ερευνητών, ως προς το ότι η ποικιλία *Granny Smith* έχει μεγαλύτερη σκληρότητα από τη *Golden Delicious* [12] (Πίν. 5).

Πίνακας 5. *Σκληρότητα της σάρκας* για κάθε ποικιλία *(N).*

Granny Smith - Red Delicious - Golden Delicious	107,31α	81,6β	79,01β

Γενικά οι τιμές της σκληρότητας που μετρήθηκαν για τις συγκεκριμένες ποικιλίες, είναι μεγαλύτερες από τις τιμές άλλων ερευνητών [11]. Επειδή οι μηχανικές ιδιότητες

των οπωροκηπευτικών εξαρτώνται και από προσυλλεκτικούς παράγοντες ενδεχόμενα η απόκλιση αυτή να μπορεί έτσι να δικαιολογηθεί.

3.4 Η **μέγιστη θλιπτική δύναμη** εξαρτάται από την ποικιλία (F=19,022 Sig=0,000) (Πίν. 6). Συγκεκριμένα η μέγιστη δύναμη που αναπτύσσεται κατά την καταπόνηση των καρπών σε σταθερή παραμόρφωση, έχει τη μικρότερή της τιμή στην ποικιλία *Golden Delicious*, ενώ οι ποικιλίες *Red Delicious* και *Granny Smith* από την άποψη αυτή παρουσιάζονται ίδιες.

Πίνακας 6. *Μέγιστη θλιπτική δύναμη* για κάθε ποικιλία *(N).*

Granny Smith - Red Delicious - Golden Delicious	51,79α	48,13α	35,32β

3.5 Ο **όγκος του μώλωπα** εξαρτάται από την ποικιλία (F=6,088 Sig=0,003) Πίν. 7. και τις ημέρες διατήρησης στους 20^0C (F=4,799 Sig=0,009) (Πίν. 8). Συγκεκριμένα το μεγαλύτερο μέγεθος μώλωπα εμφανίζει η ποικιλία *Red Delicious* ενώ οι άλλες δύο ποικιλίες συμπεριφέρονται το ίδιο. Στις δυο αυτές ποικιλίες (*Golden Delicious* και *Granny Smith)*, τις κιτρινοπράσινες (yellow/green apple varieties) όπως αποκαλούνται, ο μώλωπας ανιχνεύεται ευκολότερα παρά στις κόκκινες ποικιλίες (*Red Delicious*) [1] και όσον αφορά στην επιδεκτικότητά τους στις μηχανικές κακώσεις η *Red Delicious* είναι πιο ευαίσθητη από την Golden Delicious [13].

Πίνακας 7. *Όγκος του μώλωπα στις τρεις ποικιλίες (*cm^3*).*

Granny Smith - Red Delicious - Golden Delicious	0,32β	0,48α	0,31β

Το μέγεθος του μώλωπα είναι μεγαλύτερο τη μέρα 0 σε σχέση με τις επόμενες 2 ημέρες, ενώ η παραμονή των καρπών σε συνθήκες δωματίου δεν τροποποιεί το μέγεθος του μώλωπα στο διάστημα μεταξύ $1^{ης}$ και $2^{ης}$ ημέρας (Πίν. 8).

Πίνακας 8. *Μεταβολή του όγκου του μώλωπα με τις ημέρες συντήρησης (*cm^3*).*

Ημέρες αποθήκευσης σε 20^0C($1^η$-$2^η$-$3^η$)	0,47α	0,32β	0,33β

Οι καρποί όταν βγαίνουν από το ψυγείο (0 ημέρα) και κατά συνέπεια είναι κρύοι είναι επιδεκτικότεροι στις κακώσεις γι αυτό και το μέγεθος του μώλωπα είναι μεγαλύτερο το διάστημα αυτό.

Το ισχύον πρότυπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το μέγεθος του μώλωπα στους σαρκώδεις καρπούς (άρα και στα μήλα) είναι 1 cm^2 [1]. Το ισοδύναμο της επιφάνειας αυτής με τον όγκο του μώλωπα (equivalent bruise surface) είναι 0,5 cm^3. Επομένως το μέγεθος του μώλωπα που μετρήθηκε (Πίν. 8) μπορεί να θεωρηθεί μεγάλο μόνο την ημέρα 0, ενώ τις άλλες δύο ημέρες όχι.

Το γεγονός ότι οι μήνες συντήρησης σε 1^0C δεν επηρέασαν τον όγκο του μώλωπα ενδεχομένως να οφείλεται στο ότι το διάστημα αυτό είναι μικρό, γιατί σύμφωνα με τη βιβλιογραφία στην ποικιλία *Golden Delicious* έχουν βρεθεί σημαντικές διαφορές στον όγκο του μώλωπα μετά τον 3° μήνα συντήρησης σε ανάλογες συνθήκες [3].

Στα μήλα το μέγεθος του μώλωπα που μπορεί να προκαλέσει μείωση του χρόνου αποθήκευσης κατά 50%, βρέθηκε ίσο με 10 cm^3 [11].

3.6 Η **συσχέτιση των εξαρτημένων μεταβλητών έδειξε ότι** (2-tailed, N=246, όπου ** σημαίνει ότι η συσχέτιση είναι διακριτή σε επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και * σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05) **:**

Το βάρος καρπού συσχετίζεται με τη μέγιστη θλιπτική δύναμη (+0,194**), την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά (-0,257**) και τον όγκο του μώλωπα (+0,191**). Επίσης η μέγιστη δύναμη στη θλίψη συσχετίζεται με τη σκληρότητα της σάρκας (+0,156*), την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά (-0,244**) και τον όγκο του μώλωπα (+0,496**). Τέλος η σκληρότητα σάρκας συσχετίζεται με την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά (-0,219**).

Δηλαδή όσο βαρύτεροι είναι οι καρποί τόσο μειώνεται η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, ενώ ο όγκος του μώλωπα και η μέγιστη δύναμη κατά τη θλίψη αυξάνουν. Η μείωση της σκληρότητας της σάρκας καθιστά τους καρπούς επιδεκτικότερους στη μέγιστη δύναμη κατά τη θλίψη.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι τρεις ποικιλίες διαφέρουν ως προς το βάρος, την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, την επιδεκτικότητα στη θλίψη και το μέγεθος του μώλωπα που εμφανίζουν σε συγκεκριμένη καταπόνηση.

Η ποικιλία *Red Delicious* είχε το μεγαλύτερο μέγεθος καρπών και το μεγαλύτερο μέγεθος του μώλωπα.

Η ποικιλία *Golden Delicious* ήταν η πιο 'γλυκιά' (μεγαλύτερες τιμές της περιεκτικότητας σε διαλυτά στερεά συστατικά) και είχε το μικρότερο βάρος καρπών και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη μετασυλλεκτική μεταχείριση γιατί εμφάνισε τις μικρότερες τιμές της μέγιστης δύναμης στη θλίψη

Η απώλεια στο βάρος των καρπών λόγω της συντήρησης σε 1^0C, εμφανίσθηκε τον $2^ο$ μήνα ενώ η απώλεια στο βάρος λόγω της συντήρησης σε 20^0C, παρατηρείται και την $1^η$ και τη $2^η$ ημέρα.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η Ένωση Αγροτικών Συνεταιρισμών Λαρίσης Τυρνάβου και Αγιάς (Εγκαταστάσεις Ανάβρας Αγιάς) προσέφερε τα μήλα και το χώρο συντήρησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bollen, A. F., I. M. Woodhead and B.T. Dela Rue., 1995. Compression forces and damage in the postharvest handling system, p. 168-175. In: L. Kushwaha, R. Serwatokowski, and R. Brook (eds.) Proc. Intl. Conf. - Harvest and postharvest technologies for fresh fruits and vegetables. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, Mich.

2. Brown, G. K., Schulte N. L., Timm E. J., Armstrong P. R. Marshall D. E., 1993. Reduce apple Bruise Damage. J. Tree Fruit Postharvest 4(3):6-10.

3. Barreiro P. 1999. Detailed procedure for fruits damaging. ASTEQ CA Newsletter, No. 2: 3-5.

4. Peleg Kalman. Israel 1985. Produce handling, packaging and distribution. AVI Pub. Co., 625 p.

5. Dewey, D. H., Stout, B. A. and Herrick, J.F., 1972. Evaluation of a hydrohandling system for sorting and sizing apples for storage in pallet boxes. USDA Marketing Res. Rep. No. 948.

6. USDA. 1999. Agricultural Statistics, United States Government Printing Office. Washighton, DC.

7. Διονύσιος Βαλασσάς (Διευθυντής Αγροτικού Συνεταιρισμού Αγιάς), προσωπική επικοινωνία.
8. Abbott J. A. and F. R. Harker., (2000) Texture. Produce Quality and Safety Laboratory, USDA, ARS, Beltsville, Maryland The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd. Mt. Albert Research Centre, Auckland, New Zealand.
9. ASAE S368.4 DEC00, 2000. Compression Test of Food Materials of Convex Shape.
10. Blahovec J., Vlckova M., Paprstein F., 2001. Static low-level bruising in pears. RES. AGR. ENG., 48, 2002 (2): 41–46.
11. Zhang W., Hyde G. M., 1992. Apple Bruising Research Update. Tree fruit Postharvest J. 3(3): 10-11.
12. Thomson E. G., Cotter F.D., Daly A.P., 1995. Temperature effects on bruise darkness of Granny Smith, Golden Delicious and Jonathan apples. New Zeland J. of Crop and Horticultural Sci. 24: 99-101.
13. Baritelle A. L., Hyde G. M., Varith J., 2000. Turgor and temperature effects on apple tissue failure stress and strain. Washington State University.

ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΛΩΡΙΟΥΧΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΕ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΨΥΞΗ ΠΙΠΕΡΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Α. Κουφάκη, Ε. Μανωλοπούλου
Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας, Σχολη ΣΤΕΓ, Τμήμα Φ.Π, 24100 Αντικάλαμος
e-mail: e.manolopoulou@teikal.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ασβέστιο συνδέεται με τη ρύθμιση της διαδικασίας της ωρίμανσης και της μετασυλλεκτικής ζωής των φυτικών οργάνων. Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της μετασυλλεκτικής εφαρμογής διαφόρων συγκεντρώσεων χλωριούχου ασβεστίου στα ποιοτικά χαρακτηριστικά συντηρούμενης πράσινης πιπεριάς.
Από τις τρεις συγκεντρώσεις χλωριούχου ασβεστίου που χρησιμοποιήθηκαν (0.1Μ, 0.2Μ και 0.3Μ), η εμβάπτιση σε συγκέντρωση 0.1Μ μείωσε την απώλεια βάρους τόσο στο τέλος της συντήρησης όσο και στο τέλος της εμπορικής ζωής, διατήρησε την περιεκτικότητα σε βιταμίνη C, τη σκληρότητα και δεν επηρέασε την παραμόρφωση των καρπών και το χρώμα τους.

THE POSTHARVEST APPLICATION OF CALCIUM CHLORIDE IN COLD STORED PEPPER AND THE INFLUENCE IN ITS QUALITY

A. Koufaki, E. Manolopoulou
T.E.I. of Kalamata, Dept. of Crop Science, 24 100, Antikalamos, Kalamata
e-mail: e.manolopoulou@teikal.gr

ABSTRACT

Calcium is related to the control of the maturity process and to the postharvest life of fruits and vegetables. Aim of this work is to study the influence of different calcium chloride concentrations in the stored green pepper quality characteristics.
Among the three tested calcium chloride concentrations, (0.1M, 0.2M and 0.3M), the first one (0.1M) managed to reduce weight loss at the end of the pepper storage, as well as at the end of the shelf–life. Moreover, this treatment maintained the vitamin C concentration and the firmness and it did not affect either the deformation of the fruits nor their colour.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ασβέστιο παίζει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο του μαλακώματος των ιστών, στις βιοχημικές και φυσιολογικές διαδικασίες, στην καθυστέρηση της γήρανσης και στην εμφάνιση φυσιολογικών βλαβών στα φρούτα και λαχανικά[4,17,18].

Η διατήρηση σχετικά υψηλών συγκεντρώσεων ασβεστίου στους ιστούς των φρούτων έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής, περιορισμένη παραγωγή αιθυλενίου, χαμηλότερο ρυθμό ωρίμασης και ως εκ τούτου καθυστέρηση του μαλακώματος των ιστών [18].

Ο πολλαπλός ρόλος του ασβεστίου συνδέεται με το κύτταρο [2,5]. Ένα μεγάλο ποσοστό του κυτταρικού ασβεστίου βρίσκεται στο κυτταρικό τοίχωμα και την πρωτοπλασματική μεμβράνη, από όπου παίζει σημαντικό ρόλο στην ωρίμαση και τη γήρανση [18].

Μετασυλλεκτική εφαρμογή του ασβεστίου με σκοπό την αύξηση της συγκέντρωσης του στο κυτταρικό τοίχωμα είναι αποτελεσματική στην καθυστέρηση της γήρανσης και του μαλακώματος και τη διατήρηση της ποιότητας στα μήλα [20], στα αχλάδια [23], στη φράουλα [6], σε φέτες πεπονιού [7] και την καυτερή πιπεριά [11].

Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τη μετασυλλεκτική εφαρμογή του ασβεστίου. Αυτές περιλαμβάνουν την εμβάπτιση [3], τη διείσδυση με κενό [19], τη διείσδυση με πίεση [3] ή συνδυασμό των μεθόδων αυτών.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης της μετασυλλεκτικής εφαρμογής διαφόρων συγκεντρώσεων χλωριούχου ασβεστίου, στην ποιότητα της πράσινης πιπεριάς που συντηρήθηκε στους 10°C.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Φυτικό υλικό

Πιπεριές (*capsicum annuum*, L) ποικιλίας Spartakus F1 συλλέχθηκαν από τοπική παραγωγή, στο πράσινο στάδιο ωριμότητας και μεταφέρθηκαν μέσα σε 1 ώρα στο εργαστήριο. Ακολούθησε διαλογή ως προς το χρώμα, το μέγεθος και τη φυτοϋγειονομική κατάσταση των καρπών. Στη συνέχεια οι καρποί χωρίσθηκαν σε 4 ομάδες (Α, Β, Γ, Δ) των 36 καρπών εκάστη.

2.2 Χειρισμός με ασβέστιο και συνθήκες συντήρησης

Η εφαρμογή του ασβεστίου έγινε με εμβάπτιση. Μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις χλωριούχου ασβεστίου (Carlo Erba), 0.1M ,0.2M και 0.3M. Οι χειρισμοί που εφαρμόσθηκαν ήταν οι ακόλουθοι: Ομάδα Α, δεν εμβαπτίστηκε και χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας (ξηρός μάρτυρας), ομάδα Β, εμβαπτίστηκε σε διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου συγκέντρωσης 0.1M, ομάδα Γ, εμβαπτίστηκε σε διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου συγκέντρωσης 0.2M και ομάδα Δ εμβαπτίστηκε σε διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου συγκέντρωσης 0.3M. Η εμβάπτιση διήρκεσε 20 λεπτά, η θερμοκρασία δε του νερού ήταν 25°C. Στη συνέχεια οι καρποί στέγνωσαν με απορροφητικό χαρτί και τοποθετήθηκαν σε ψυκτικό θάλαμο.

Οι πιπεριές συντηρήθηκαν στο σκοτάδι σε θερμοκρασία 10°C και σχετική υγρασία 95%.

2.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Για την επίδραση του ασβεστίου στην ποιότητα της πιπεριάς μελετήθηκαν τα εξής χαρακτηριστικά :

2.3.1 Απώλεια βάρους : Προσδιορίστηκε σε 10 δείγματα ξεχωριστά ανά χειρισμό. Οι μετρήσεις γινόντουσαν με ζυγό ακριβείας (0,01 g). Η απώλεια εκφράσθηκε επί τοις % του αρχικού βάρους.

2.3.2 Χρώμα : Προσδιορίστηκε σε 10 δείγματα ατομικά, ανά χειρισμό. Σε κάθε δείγμα γινόντουσαν μετρήσεις σε δύο εκ διαμέτρου αντίθετα σημεία που είχαν οριστεί από την αρχή του πειράματος. Οι μετρήσεις έγιναν με χρωματόμετρο Minolta CR-300. Πριν από κάθε μέτρηση το όργανο ρυθμιζόταν με λευκή πλάκα βαθμονόμησης (Y=92,6 ,X=0,3135 ,ψ= 0,3193), η δε χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η L*, a*, b*, CIE. Η μεταβολή του χρώματος εκφράσθηκε με τις εξής παραμέτρους:
L* φωτεινότητα (0=μαύρο, 100=λευκό), a*= κόκκινο (+)- πράσινο (-), b*= κίτρινο (+)- μπλε (-).

2.3.3 Σκληρότητα :Προσδιορίσθηκε η αντίσταση που παρουσιάζει η σάρκα στην είσοδο εμβόλου πάχους 2mm, καθώς και η παραμόρφωση του καρπού στην εφαρμογή σταθερής δύναμης 2 Kg. Για τον προσδιορισμό της παραμόρφωσης χρησιμοποιήθηκε πλάκα διαμέτρου 7,5 cm, η δε μέτρηση της αντίστασης έγινε σε επίπεδο τμήμα των τοιχωμάτων της πιπεριάς διαστάσεων 2 x 2 cm. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Texture Analyser TA.2Txi . Οι μετρήσεις γινόντουσαν ατομικά σε 6 καρπούς ανά χειρισμό και τα αποτελέσματα εκφράσθηκαν σε Newton (N) στην περίπτωση της αντίστασης στη διείσδυση και επί τοις % μεταβολή της αρχικής διαμέτρου στην περίπτωση της παραμόρφωσης.

2.3.4 Περιεκτικότητα σε βιταμίνη C: Ο προσδιορισμός της περιεχόμενης βιταμίνης C έγινε ογκομετρικά με δείκτη 2,6 διχλωροφαινολ-ινδοφαινόλη και τα αποτελέσματα εκφράσθηκαν σε mg ασκορβικού οξέος / 100g φρέσκου βάρους. Οι μετρήσεις γινόντουσαν ατομικά σε 6 καρπούς ανά χειρισμό, στην αρχή της συντήρησης (0 ημ), στο τέλος της συντήρησης (15 ημ.) και στο τέλος της εμπορικής ζωής (shelf-life) (18 ημ.)

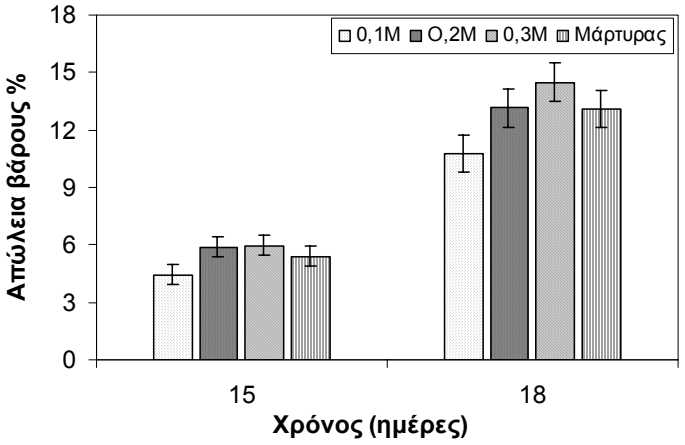
2.3.5 Φυσιολογικές ασθένειες και μυκητολογικές προσβολές: Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος γινόταν συνεχής έλεγχος για τυχόν εμφάνιση μυκητολογικών προσβολών ή φυσιολογικών ασθενειών.

3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Το πείραμα επαναλήφθηκε τρεις φορές στην ίδια καλλιεργητική περίοδο. Οι τιμές είναι ο μ.ο. 30 μετρήσεων (3x10) στην περίπτωση της απώλειας του βάρους και του χρώματος ή 18 (3x6) στην περίπτωση της σκληρότητας, της παραμόρφωσης και της βιταμίνης C . Τα πειραματικά δεδομένα υπέστησαν στατιστική επεξεργασία με την ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA), το δε στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Statgraphics 4.0. Η ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των μέσων όρων (p=0.05).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η απώλεια βάρους, στο τέλος της συντήρησης (15 ημ) καθώς και στο τέλος της εμπορικής ζωής (18ημ) των καρπών πιπεριάς που υπέστησαν διάφορους χειρισμούς με χλωριούχο ασβέστιο.



Σχήμα 1. Επίδραση της συγκέντρωσης του χλωριούχου ασβεστίου στην απώλεια βάρους πιπεριάς ποικιλίας Spartakus F1, στο τέλος της συντήρησης (15 ημ) στους 10°C καθώς και στο τέλος της εμπορικής ζωής (18 ημ) στους 20 °C. (I=LSD)

Παρατηρούμε ότι η απώλεια βάρους επηρεάζεται από τη θερμοκρασία συντήρησης και τους χειρισμούς με χλωριούχο ασβέστιο. Έτσι στο τέλος της εμπορικής ζωής η απώλεια βάρους όλων των χειρισμών είναι σαφώς μεγαλύτερη σε σύγκριση με την απώλεια βάρους που παρουσιάζεται στο τέλος της συντήρησης στους 10°C. Οι καρποί που εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα συγκέντρωσης 0.1Μ χλωριούχου ασβεστίου παρουσίασαν τη μικρότερη απώλεια βάρους τόσο στο τέλος της συντήρησης (15η ημ) όσο και στο τέλος της εμπορικής ζωής ($18^{η}$ ημ). Η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική. Δεν παρατηρείται καμιά διαφορά μεταξύ του μάρτυρα και των δύο άλλων χειρισμών.

Οι πιπεριές αμέσως μετά τη συγκομιδή χάνουν εύκολα υγρασία γεγονός που έχει σαν συνέπεια τη μείωση του χρόνου συντήρησης τους. Σύμφωνα με τους Lownds και Bonsland [10] μετά τρεις ημέρες στους 20°C οι πιπεριές χάνουν περίπου το 7-10% του βάρους τους, γεγονός που τις καθιστά μη εμπορεύσιμες γιατί η μέγιστη αποδεκτή απώλεια υγρασίας είναι 7% [13]. Στην περίπτωση της μελέτης μετά 15 ημέρες στους 10°C όλοι οι χειρισμοί παρουσίασαν απώλεια βάρους σαφώς μικρότερη του 7% και χαρακτηρίζονται εμπορεύσιμοι ως προς το κριτήριο αυτό. Στο τέλος της εμπορικής ζωής οι καρποί των διαφόρων χειρισμών παρουσίασαν απώλεια βάρους κυμαινόμενη μεταξύ 11και 14%, αλλά οργανοληπτικά χαρακτηρίσθηκαν εμπορεύσιμοι. Η εμβάπτιση της πιπεριάς σε 0,1 Μ διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου φαίνεται να ελαττώνει την υδατοπερατότητα του καρπού όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση της φράουλας [6].

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή των χρωματικών παραμέτρων L*,a* και b* τόσο στο τέλος της συντήρησης στους 10°C όσο και στο τέλος της εμπορικής ζωής. Παρατηρούμε ότι το χρώμα μεταβάλλεται συναρτήσει της θερμοκρασίας γι΄αυτό

Πίνακας 1. Επίδραση της συγκέντρωσης του χλωριούχου ασβεστίου στη μεταβολή του χρώματος πιπεριάς που συντηρήθηκε 15 ημέρες στους 10°C και 3 ημέρες στους 20°C.

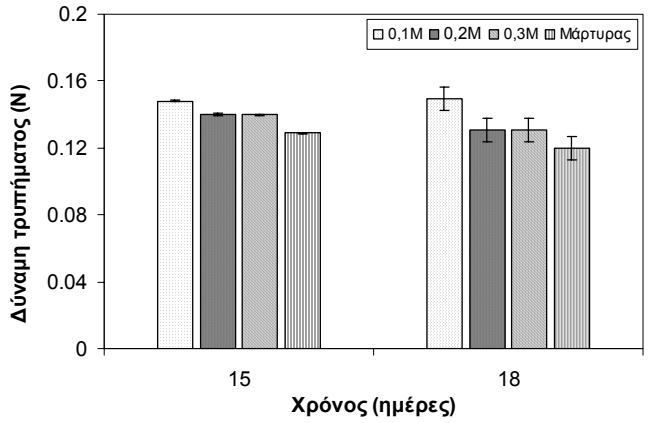
Συγκέντρωση Χλωριούχου ασβεστίου	Μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων [w]					
	L* Χρόνος συντήρησης (ημέρες)		a* Χρόνος συντήρησης (ημέρες)		b* Χρόνος συντήρησης (ημέρες)	
	15	18	15	18	15	18
Μάρτυρας	-1,09 [χ] α	-1,38 α	-2,5 α	-4,33 α	0,22 α	0,86 α
0.1M	-1,09 α	-1,12 α	-1,12 α	-3,41 α	0,45 α	0,48 α
0.2M	-0,92 α	-0,8 α	-2,61 α	-5,29 α	0,72 α	0,91 α
0.3M	-1,10 α	-1,42 α	-1,49 α	-3,64 α	1,41 α	1,43 α

w Οι τιμές των χρωματικών παραμέτρων είναι η διαφορά της τελικής τιμής μείον της αρχικής

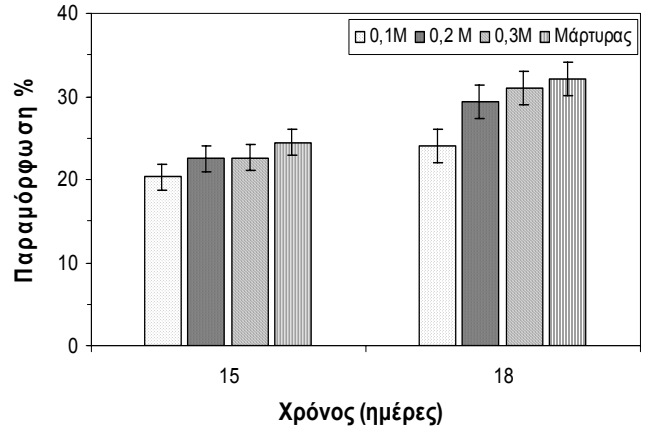
χ Οι τιμές είναι ο μέσος όρος 18 (3x6) μετρήσεων. Μέσοι όροι της ίδιας στήλης που χαρακτηρίζονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά συγκρινόμενοι με το test της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD p=0.05)

η μεταβολή των χρωματικών παραμέτρων αυξάνεται στο τέλος της εμπορικής ζωής. Οι χειρισμοί με το ασβέστιο δεν επηρέασαν τη μεταβολή του χρώματος. Χειρισμοί με ασβέστιο καθυστέρησαν την αλλαγή του χρώματος λεμονιών ποικιλίας Verna που συγκομίσθηκαν στο στάδιο αλλαγής του χρώματος [22]. Το χλωριούχο ασβέστιο σε συγκεντρώσεις 0,04M-0,08M καθυστερεί τη διαδικασία της ωρίμασης και της γήρανσης, την καταστροφή των χλωροπλαστών καθώς και την απώλεια του πράσινου χρώματος σε μήλα Golden Delicious [15] και σε πεπόνια [9]. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλούν επιτάχυνση της αποικοδόμησης της χλωροφύλλης. Η εφαρμογή του ασβεστίου επηρεάζει το ρυθμό γήρανσης γιατί επιδρά άμεσα στην περατότητα της πρωτοπλασματικής μεμβράνης επηρεάζοντας πιθανώς την καταστροφή των λιπιδίων καθώς και στην οσμωτική πίεση του κυττάρου [9].

Στο τέλος της συντήρησης και της εμπορικής ζωής οι πιπεριές που εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα συγκέντρωσης 0.1M χλωριούχου ασβεστίου παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερη τιμή σκληρότητας (σχ.2) και μικρότερη τιμή παραμόρφωσης (σχ.3) σε σύγκριση με τους άλλους χειρισμούς. Οι πιπεριές που εμβαπτίστηκαν σε διαλύματα 0.2M και 0.3M χλωριούχου ασβεστίου στο τέλος της συντήρησης ήταν πιο σκληρές από το μάρτυρα, η διαφορά αυτή όμως δεν διατηρήθηκε στο τέλος της εμπορικής ζωής,. Ως προς την παραμόρφωση οι συγκεντρώσεις 0,2M και 0,3M χλωριούχου ασβεστίου δεν παρουσίασαν καμιά διαφορά από το μάρτυρα τόσο στο τέλος της συντήρησης όσο και της εμπορικής ζωής. Από τους χειρισμούς που εφαρμόσθηκαν μόνο η εμβάπτιση σε 0,1M διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου επηρέασε σημαντικά την σκληρότητα και την ελαστικότητα της πιπεριάς. Σε όλες τις περιπτώσεις η σκληρότητα διατηρήθηκε σχεδόν σταθερή καθ'όλη τη διάρκεια της εμπορικής ζωής ενώ η παραμόρφωση (ελαστικότητα) μεταβλήθηκε με το χρόνο. Η απώλεια βάρους μάλλον επηρεάζει την σκληρότητα και συμβάλλει σημαντικά στη αύξηση της ελαστικότητας των καρπών.



Σχήμα 2. Σκληρότητα καρπών πιπεριάς που εμβαπτίστηκαν σε διαλύματα χλωριούχου ασβεστίου συγκεντρώσεων 0.1M, 0.2M και 0.3M καθώς και του μάρτυρα, στο τέλος της συντήρησης (15 ημ) και στο τέλος της εμπορικής ζωής (18 ημ) (I=LSD p=0.05)



Σχήμα 3. Παραμόρφωση καρπών πιπεριάς που εμβαπτίστηκαν σε διαλύματα χλωριούχου σβεστίου συγκεντρώσεων 0.1M, 0.2M και 0.3M καθώς και του μάρτυρα στο τέλος της συντήρησης (15 ημ) και στο τέλος της εμπορικής ζωής (18 ημ) (I=LSD p=0.05)

Η συσχέτιση μεταξύ απώλειας βάρους και σκληρότητας ή παραμόρφωσης είναι γραμμική με R^2 >0,89 στην περίπτωση των χειρισμών με διαλύματα 0,1M και 0,3 M, στην περίπτωση του μάρτυρα ο συντελεστής συσχέτισης έχει τιμή 0,80, ενώ δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση στην περίπτωση του χειρισμού με 0.2M.

Μετά 15 ημέρες συντήρησης στους 10°C παρουσιάζεται έντονη μείωση της βιταμίνης C (πίνακας 2) σε όλους τους χειρισμούς. Τη μεγαλύτερη όμως μείωση παρουσιάζουν ο

Πίνακας 2. Μεταβολή της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C πιπεριάς που συντηρήθηκε στους 10°C και υπέστη διάφορους χειρισμούς με χλωριούχο ασβέστιο.

Χρόνος (ημέρες)	Θ°C	Περιεκτικότητα σε βιταμίνη C (mg/100g)			
		0,1M	0,2M	0,3M	Μάρτυρας
15	10	105,27 a	85,13 b	66,95 c	64,5 c
18	20	91,17 a	80,67 ab	69,8 bc	57,2c
Αρχική μέτρηση 136 mg/100g Οι τιμές είναι ο μέσος όρος 18 (3x6) μετρήσεων. Μέσοι όροι της ίδιας γραμμής που χαρακτηρίζονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά συγκρινόμενοι με το test της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD p=0.05)					

μάρτυρας και ο χειρισμός με 0.3M χλωριούχο ασβέστιο, ενώ τη μικρότερη οι καρποί που εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα 0.1M χλωριούχου ασβεστίου. Στο τέλος της εμπορικής ζωής παρατηρείται μία περαιτέρω μείωση της περιεχομένης βιταμίνης αλλά όχι τόσο έντονη όσο στο τέλος της συντήρησης, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στη μεγαλύτερη απώλεια βάρους. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι χειρισμοί με χλωριούχο ασβέστιο επηρέασαν την περιεκτικότητα σε βιταμίνη C, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Abdelaziz et al [1] στα πορτοκάλια. Στην περίπτωση όμως των λεμονιών ποικιλίας "Verna" οι χειρισμοί με χλωριόχο ασβέστιο δεν επηρέασαν την περιεκτικότητα της βιταμίνης C. Η διατήρηση της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C που παρατηρήθηκε στους καρπούς της πιπεριάς που εμβαπτίστηκαν σε διαλύματα χλωριούχου ασβεστίου μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι το Ca μειώνει τη δράση των ενζύμων που είναι υπεύθυνα για την αποικοδόμησή της [12].

Τέλος δεν εμφανίστηκαν φυσιολογικές ασθένειες, γεγονός το οποίο αποδεικνύει ότι η θερμοκρασία των 10°C είναι ιδανική για τη συντήρηση της πράσινης πιπεριάς. Όσον αφορά την εμφάνιση μυκητολογικών προσβολών μόνο ο μάρτυρας παρουσίασε ένα ποσοστό της τάξης του 3% στο τέλος της συντήρησης και 5% στο τέλος της εμπορικής ζωής.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη αυτή προκύπτει ότι η εμβάπτιση της πιπεριάς σε μικρή συγκέντρωση χλωριούχου ασβεστίου (0.1M) μπορεί να επηρεάσει θετικά την απώλεια βάρους, το μαλάκωμα και την περιεκτικότητα σε βιταμίνη C. Υψηλές συγκεντρώσεις (0.3M) δεν ήταν αποτελεσματικές ίσως λόγω δημιουργίας stress. Όλες όμως οι συγκεντρώσεις εμπόδισαν την εμφάνιση μυκητολογικών προσβολών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdelaziz, F.H.. Ahmed, F.F. Ebrahiem, T.A. 2000. Effect of postharvest treatment of some calcium salts on shelf-life and quality of Valencia orange fruits during cold storage .Improving Postharvest Technology of Fruits Vegetables and Ornamentals. Eds. F.Artes, M.I.,Gill, M.A Conesa, V.1, 54-60

2. Bush, D.S.1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., V.46, 95-122.
3. Conway,W.S. Sams,C.E..1985. Calcium infiltration of Golden Delicious apples and its effect on decay. Phytopathology, V.73, 1068-1071.
4. Conway,W.S. Sams,C.E..Kelman, A.1994. Enhancing the natural resistance of plant tissue to postharvest diseases through calcium applications. HortScience, V.29, 751-754.
5. Ferguson,I.B..Drobak,B.K. 1988. Calcium and the regulation of plant growth and senescence. HortScience, V.23, 262-266.
6. Garcia,M.J..Herrera,S. and Ana Morilla.1996. Effects of Postharvest dips in calcium chloride on strawberry. J. Agric. Food Chem.,V.44,30-33
7. Irene Luna- Guzman, Diane, M. Barrett.2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. Postharvest Biology and Technology, V.19, 61-72.
8. Izumi, H. and Watada, A.E. 1994. Calcium treatments affect storage quality on shredded carrots. J. Food Science, V.59(1),106-109.
9. Lester, G.1996.Calcium alters senescence rate of postharvest muskmelon fruits disks. Postharvest Biology and Technology, V.7, 91-96.
10. Lownds, N.K and P.W. Bosland 1988. Studies on postharvest storage. HortScience, V.23, 71-74
11. Mohammed,M..Wilson, L.A and Gomes.1991. Effects of postharvest dips on the storage quality of fruit from two hot pepper cultivars. Trop. Agric. (Trinidad), V.68 (1), 81-87.
12. Nijjar, G.S.1985. Nutrition of fruits trees. Kalayani Publishers, New Delhi Ludhiana, 73-270.
13. Passam, .X. 1994. Μετασυλλεκτική Φυσιολογία και Τεχνολογία των Κηπευτικών. Σημειώσεις Γεωργικού Πανεπιστημίου.
14. Perera, A.N.. Karnnaratne, A.M. 2002. Postharvest calcium chloride treatments do not help to increase shelf-life of bananas. Fruits, V. 57(2),87-93.
15. Picchioni, G.A..Watada ,A.E. Conway, W.S..Whitaker, B.D and Sams, C.E. 1995. Phospholipid, galactolipid and steryl lipid composition of apple fruit cortical tissue following postharvest $CaCl_2$ infiltration. Phytochemistry, V.39, 763-769.
16. Picchioni, G.A..Watada ,A.E. Conway, W.S..Whitaker, B.D and Sams, C.E. 1998. Postharvest calcium infiltration delays membrane lipid catabolism in apple fruit. J. of Ag. And Food Chemistry, V.46, 2452-7.
17. Poovaiah, B.W.1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. Food Technology, V.40, 86-89.
18. Poovaiah, B.W.1988. Calcium and fruit softening. Physiology and Biochemistry. Horticultural Revews, V.10, 107-152.
19. Rajapakse, N.C.Hewett, E.W...Banks, N.H...Cleland, D.J.1992.Vacuum infiltration with calcium chloride influences oxygen distribution in apple fruit flesh. Postharvest Biol. Technol., V.1, 221-229.
20. Saftner, R.A..Conway, W.S and Sams, C.E. 1998. Effects of postharvest calcium chloride treatments on tissue watter relations, cell wall calcium levels and postharvest life of “Golden Delicious”apples. J. Amer. Soc. for Horticultural Science, V.123, 893-897.
21. Saftner,A.R..Conway,S.W..Sams,E.C. 1999.Postharvest Calcium infiltration alone and combined with surface coating treatments influence volatile levels,

respiration, ethylene production and internal atmospheres of “Golden Delicius” apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci., V.124 (5), 553-558.

22. Valero, D..Martinez-Romero, D..Serrano, M and Riquelme,M. 1998. Influence of postharvest treatment with putrescine and calcium on endogens polyamines, firmness and abscisic acid in lemon. J. of Agr. And Fod Chemistry, V.46, 2102-9.
23. Wills, R.B.H and S.I.H. Tirmazi. 1982. Effect of postharvest application of calcium on ripening rates of pears and bananas. J. of Hort. Science, V. 57(4), 431-435.

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΑΝΤΑΡΙΝΙΟΥ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ "ENCORE"

Γ. Λύχνος*, Γ. Λαμπρινός*, Ε. Μανωλοπούλου** και Ι. Συκιώτης*

*Γ.Π.Α, Τμήμα Α.Φ.Π. – ΓΜ, Εργαστήριο Γ. Μηχ/γίας, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα
**ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή Τ.Ε.Γ, Τμήμα Φ.Π., 24100 Αντικάλαμος, Καλαμάτα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η συμπεριφορά ασυσκεύαστου και συσκευασμένου μανταρινιού ποικιλίας 'Encore' κατα τη συντήρηση σε θερμοκρασία 6°C και σχετική υγρασία 90%RH. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν οι εξής: η απώλεια βάρους, το χρώμα του φλοιού, τα ολικά διαλυτά στερεά (Brix), το pH, η ογκομετρούμενη οξύτητα, το ασκορβικό οξύ, η απόδοση σε χυμό % και οι μυκητολογικές προσβολές. Μελετήθηκε επίσης η συγκέντρωση των αερίων O_2 και CO_2 μέσα στις συσκευασίες και η αναπνοή των μανταρινιών. Η διάρκεια συντήρησης του ασυσκεύαστου μανταρινιού ξεπερνάει το μήνα, ενώ το συσκευασμένο σε σάκκους πολυαιθυλενίου συντηρείται δύο μήνες χωρίς κανένα χειρισμό με μυκητοστατικές ουσίες. Η χρησιμοποίηση πλαστικών συσκευασιών περιορίζει σημαντικά τις απώλειες μάζας των μανταρινιών.

THE EFFECT OF FILM PACKAGING ON RESPIRATION AND QUALITY PARAMETERS OF *ENCORE* MANDARINS

G. Lichnos*, G. Lambrinos*, H. Manolopoulou** και I. Sykiotis*

* Agricultural University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering, 75 Iera Odos street – 11855 Greece
** TEI of Kalamata, Dept. of Crop production - 24100 Antikalamos, Kalamata, Greece

ABSTRACT

This study investigates the effect of thin medium polyethylene film packaging on respiration, quality deterioration and storage life of *Encore* mandarins. The quality parameters that were investigated are the following: amount of juice expressed as percent age of fruit weight, juice soluble solid content, juice total titratable acidity, juice pH, juice ascorbic acid content, peel colour change, fungal infection. The changes in O_2 and CO_2 concentration inside the packages were also studied as well as the respiration of mandarins. Storage of the unpackaged fruits can be satisfactory for a period of more than 4 weeks, while the packaged fruits can be well stored for a period up to 8 weeks without any fungicide application.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάρκεια της μετασυλλεκτικής ζωής των καρπών των εσπεριδοειδών εξαρτάται εκτός από τους χειρισμούς πριν και μετά τη συγκομιδή και από τις συνθήκες συντήρησης. Η υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών των εσπεριδοειδών μετά την συγκομιδή τους οφείλεται κυρίως στην αναπνοή και στη διαπνοή τους. Εξαιτίας της διαπνοής τα φρούτα χάνουν τη σπαργή τους, συρρικνώνονται, μαλακώνουν και παραμορφώνονται [1]. Οι Ben – Yehoshua [2,3,4] και Λαμπρινός [6] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι πλαστικές συσκευασίες λεπτού φιλμ πολυαιθυλενίου διπλασιάζουν την διάρκεια συντήρησης των εσπεριδοειδών. Ειδικότερα ο χρόνος συντήρησης του μανταρινιού 'Encore' στους 5^oC σε πλαστικές συσκευασίες λεπτού φιλμ πολυαιθυλενίου μπορεί να ανέλθει έως και 10 εβδομάδες [7].

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα φρούτα που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα προέρχονταν από την Πελοπόννησο, το Ν. Αργολίδας και συγκεκριμένα από τη Π. Επίδαυρο, η δε συγκομιδή τους έγινε κατα το πρώτο δεκαήμερο του Απριλίου. Μετά την άφιξή τους στο εργαστήριο έγινε διαλογή και απομάκρυνση των τραυματισμένων φρούτων. Εν συνεχεία χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες : τρεις ομάδες με διαφορετική συσκευασία, ανα τέσσερα φρούτα, σε σάκους πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας που διέφερε ως προς το πάχος, και μία ομάδα ασυσκεύαστων καρπών ως μάρτυρα. Δεν υπέστησαν χειρισμό με μυκητοστατικές και αντιδιαπνευστικές ουσίες (κέρωμα).

Η πρώτη ομάδα (μάρτυρας) συντηρήθηκε χωρίς χρήση συσκευασίας, η δεύτερη ομάδα συντηρήθηκε συσκευασμένη σε φιλμ πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας πάχους 20μm (PEMD-20), η τρίτη ομάδα συντηρήθηκε συσκευασμένη σε φιλμ πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας πάχους 30μm (PEMD-30) και τέλος η τέταρτη ομάδα συντηρήθηκε συσκευασμένη σε φιλμ πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας πάχους 40μm (PEMD-40).

Οι πλαστικές συσκευασίες και τα μανταρίνια, πριν αρχίσει η διαδικασία της συσκευασίας, τοποθετήθηκαν στον ψυκτικό θάλαμο για να αποκτήσουν τη θερμοκρασία του θαλάμου. Στη συνέχεια τα μανταρίνια συσκευάστηκαν εντός του ψυκτικού θαλάμου. Οι συσκευασίες σφραγίστηκαν αεροστεγώς χρησιμοποιώντας μηχάνημα θερμικής συγκόλλησης. Ο ψυκτικός θάλαμος συντήρησης είχε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας 6^0C και 90% αντίστοιχα. Σε κάθε συσκευασία τοποθετήθηκαν τέσσερα φρούτα, οι δε διαστάσεις των σάκων συσκευασίας που κατασκευάστηκαν ήταν 18 X 16cm. Κάθε είκοσι μέρες γινόταν άνοιγμα ορισμένων συσκευασιών και λήψη τυχαίου δείγματος δέκα μανταρινιών από κάθε ομάδα. Ακολουθούσαν οι μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η εμπορική ζωή των μανταρινιών (shelf-life) διαρκούσε έξι μέρες και στο τέλος πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν οι εξής : η απώλεια μάζας, το χρώμα του φλοιού, τα ολικά διαλυτά στερεά (Brix), το pH, η ογκομετρούμενη οξύτητα, το ασκορβικό οξύ, η απόδοση σε χυμό % και τέλος οι μυκητολογικές προσβολές. Επίσης μελετήθηκε η συγκέντρωση των αερίων O_2 και CO_2 μέσα στις συσκευασίες, καθώς και η αναπνοή των μανταρινιών τόσο μέσα στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα όσο και εκτός των συσκευασιών πριν τη συσκευασία και μετά το άνοιγμα αυτής. Τέλος μετρήθηκε η

αναπνοή των ασυσκεύαστων καρπών σε τέσσερις διαφορετικές θερμοκρασίες (6°, 10°, 17°, 20°).

Η μέτρηση του βάρους (για τον προσδιορισμό της απώλειας μάζας) γινόταν με τη χρήση ζυγού ακριβείας της εταιρείας AND μοντέλο FA-2000 με ακρίβεια 0,01g. Τα συσκευασμένα μανταρίνια σε PEMD-20, PEMD-30, PEMD-40 και ο μάρτυρας ζυγίζονταν κάθε δέκα ημέρες. Η απώλεια βάρους % υπολογίζεται αφαιρώντας από την αρχική μέτρηση την τελευταία με αναγωγή στην αρχική, δηλαδή $(B_\alpha - B_\tau) / B_\alpha X100$.

Οι μετρήσεις του χρώματος του φλοιού πραγματοποιούνταν με φορητό χρωματόμετρο MINOLTA μοντέλο CR 300 χρησιμοποιώντας το διεθνές σύστημα Lab τρισδιάστατης μέτρησης των παραμέτρων L*, a*, b*. Σε κάθε συσκευασία τα δύο από τα τέσσερα μανταρίνια είχαν αριθμηθεί και μαρκαριστεί έτσι ώστε οι μετρήσεις να γίνονται πάντοτε στο ίδιο φρούτο και στην ίδια κυκλική επιφάνεια του φρούτου.

Οι μετρήσεις των ολικών διαλυτών στερεών πραγματοποιούνταν με επιτραπέζιο διαθλασίμετρο της εταιρείας A.S.T μοντέλο SR400. Οι μετρήσεις λαμβάνονται σε Brix.

Οι μετρήσεις του pH πραγματοποιούνταν με πεχάμετρο Messgerate Bischof. Η μέτρηση της οξύτητας γινόταν με ογκομέτρηση N/10 NaOH και δείκτη φαινολοφθαλεΐνη 1%. Η μέτρηση του ασκορβικού οξέος (βιταμίνη C) γινόταν με ογκομέτρηση με 2,6-διχλωροφαινολ-ινδοφαινόλη.

Η απόδοση σε χυμό % των μανταρινιών υπολογιζόταν από τη σχέση

$A\% = M_\chi / M_\mu \times 100$,

όπου Α είναι η απόδοση σε χυμό %, M_χ = μάζα χυμού, M_μ = μάζα μανταρινιού.

Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των αερίων O_2 και CO_2 εντός των συσκευασιών πραγματοποιούνταν με χρωματογράφο αερίων PERKIN ELMER 8700 αφού πρώτα είχαν τοποθετηθεί septa σιλικόνης σε κάθε πλαστική συσκευασία. Μ΄αυτόν τον τρόπο κατέστη δυνατή η λήψη αερίου δείγματος με σύριγγα χωρητικότητας 1ml χωρίς επικοινωνία του εσωτερικού περιβάλλοντος της συσκευασίας με το εξωτερικό περιβάλλον. Συνεπώς οι μεταβολές της ατμόσφαιρας του αέρα εντός των συσκευασιών ήταν αποκλειστικά συνάρτηση της αναπνευστικής λειτουργίας των μανταρινιών και της περατότητας των συσκευασιών.

Οι μετρήσεις της αναπνοής πραγματοποιούνταν με τη διάταξη RICKLOS [8] με ανακύκλωση του αέρα του αναπνευστικού θαλάμου. Η αναπνοή των μανταρινιών μέσα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα μετριόταν τοποθετώντας κάθε συσκευασία (μετά τη σταθεροποίηση της σύστασής της) στον αναπνευστικό θάλαμο (πλαστικό δοχείο) της διάταξης RICKLOS. Μετά το σφράγισμα του αναπνευστικού θαλάμου καταγράφεται η αρχική ένδειξη της οθόνης και μετά από χρονικό διάστημα Δt καταγράφεται η τελική ένδειξη. Ο ρυθμός αναπνοής δίνεται από τη σχέση :

$$q_R = (\Delta C / \Delta t) \times (V / m) \times 10^{-4} \quad (1)$$

Όπου :

q_R : ρυθμός αναπνοής σε ml CO_2/h/100g καρπού.

$\Delta C = C_f - C_i$: Μεταβολή της συγκέντρωσης CO_2

$V = V_c - V_{fr}$: Όγκος αέρα κυκλώματος σε ml

C : Συγκέντρωση CO_2 σε ppm

t : Χρόνος σε h

m : Μάζα του καρπού σε g

i : Αρχική κατάσταση

f : Τελική κατάσταση

c : κύκλωμα διάταξης

fr : καρπός

$Vc = V_{δοχ} - V_{σωλ}$

Η κλίση της ευθείας $\kappa = f(t) = (\Delta C / \Delta t)$ υπολογίζεται με τη μέθοδο της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων. Τελικά ο ρυθμός αναπνοής υπολογίζεται από τη σχέση :

$$q_R = \kappa \times (V/m) \times 10^{-4} \quad (2)$$

Όπου κ η κλίση της ευθείας σε ppm/h [8]

Η αναπνοή των μανταρινιών μετά το άνοιγμα των συσκευασιών (πρόκειται για τις ίδιες συσκευασίες που μετρήθηκαν προηγουμένως) μετρήθηκε με τη διάταξη RICKLOS. Η διαδικασία μέτρησης σε ασυσκεύαστα μανταρίνια ήταν ίδια με τη προηγούμενη όπως και ο υπολογισμός της αναπνοής που γίνεται από τους τύπους (1), (2), αλλά η διαδικασία επιδίωκε τελική μείωση και σταθεροποίηση του ρυθμού αναπνοής.

Τα χαρακτηριστικά των φρούτων στην αρχή του πειράματος ήταν τα ακόλουθα :

βάρος 128,458g	Brix 10,011
απόδοση σε χυμό 29,7%	ογκομ. οξ. 0,7694g κιτρ./100ml χυμού
pH 3,395	ασκορβικό οξύ 20,54mg/100ml χυμού
χρώμα L^* 56,791 a^*/b^* 0,8042	

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ

3.1 Συγκέντρωση αερίων εντός των συσκευασιών

Στο σχήμα 1, παρουσιάζονται οι μεταβολές της ατμόσφαιρας με το χρόνο συντήρησης. Οι αρχικές συγκεντρώσεις των αερίων εντός των συσκευασιών είναι ίδιες με αυτές του περιβάλλοντος (21% για το O_2 και 0% για το CO_2). Παρατηρούνται τα εξής :

1) Η μεταβολή των αερίων αρχικά είναι έντονη, η δε σταθεροποίηση επέρχεται πρακτικά μετά το πρώτο δεκαήμερο.

2) Οι ατμόσφαιρες που τελικά δημιουργούνται μέσα στις συσκευασίες για κάθε φιλμ πολυαιθυλενίου είναι :

- Για τη συσκευασία PEMD-20 15-16% O_2 και γύρω στο 2% CO_2.
- Για τη συσκευασία PEMD-30 18% O_2 και γύρω στο 2% CO_2.
- Για τη συσκευασία PEMD-40 17-19% O_2 και γύρω στο 2,5% CO_2.

Συνεπώς οι ατμόσφαιρες που δημιουργήθηκαν σε όλες τις πλαστικές συσκευασίες παρέμειναν πλούσιες σε οξυγόνο (15-19%) ενώ δεν εμπλουτίστηκαν σημαντικά σε διοξείδιο του άνθρακα (2-2,5%).

3.2 Αναπνοή των μανταρινιών μέσα σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα

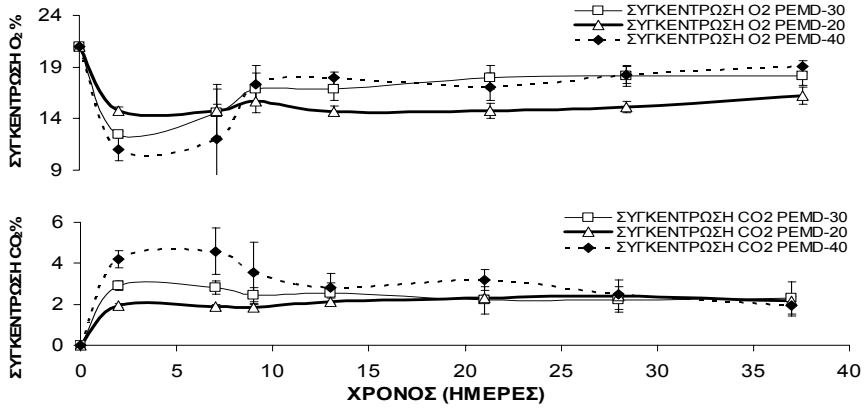
Οι μετρήσεις της αναπνοής των συσκευασμένων μανταρινιών μετά από 43 ημέρες συντήρησης και σταθεροποίηση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Παρατηρείται ότι ο ρυθμός αναπνοής στα συσκευασμένα μανταρίνια σε PEMD-20 είναι μεγαλύτερος σχετικά με αυτόν της αναπνοής των συσκευασμένων μανταρινιών σε PEMD-30 και των συσκευασμένων μανταρινιών με PEMD-40, δηλαδή ισχύει $RR_{PEMD-20} > RR_{PEMD-30} > RR_{PEMD-40}$.

3.3 Αναπνοή των μανταρινιών εκτός των συσκευασιών

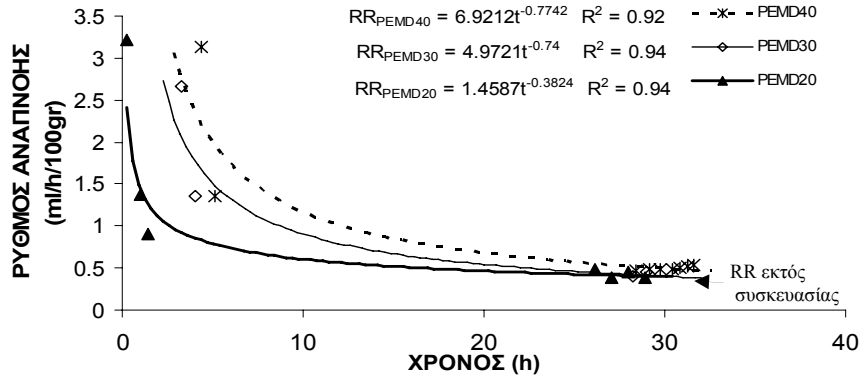
Οι μετρήσεις της αναπνοής των μανταρινιών μετά το άνοιγμα των συσκευασιών και μέχρι τη σταθεροποίησή της παρουσιάζονται στο σχήμα 2 και στον πίνακα 1. Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι η αναπνοή όλων των μανταρινιών τελικά σταθεροποιείται γύρω από τιμές 0,4-0,5 ml/h/100g που είναι μεγαλύτερες από τις αρχικές και απ' αυτές στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

Πίνακας 1. Αναπνευστική δραστηριότητα πριν, κατά και μετά τη συσκευασία.

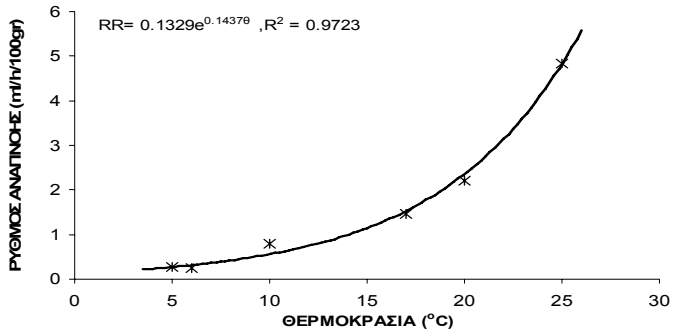
Θ = 6°C	ΑΝΑΠΝΟΗ (ml/h/100gr)		
	PEMD-20	PEMD-30	PEMD-40
ΠΡΙΝ ΤΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ	0.2465	0.2465	0.2465
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ και ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ	0.4375	0.3198	0.2016
ΜΕΤΑ ΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ και ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ	0.3921	0.4492	0.533



Σχήμα 1.Μεταβολές της ατμόσφαιρας εντός των συσκευασιών με το χρόνο συντήρησης



Σχήμα 2.Μεταβολές της ατμόσφαιρας εκτός των συσκευασιών με το χρόνο συντήρησης



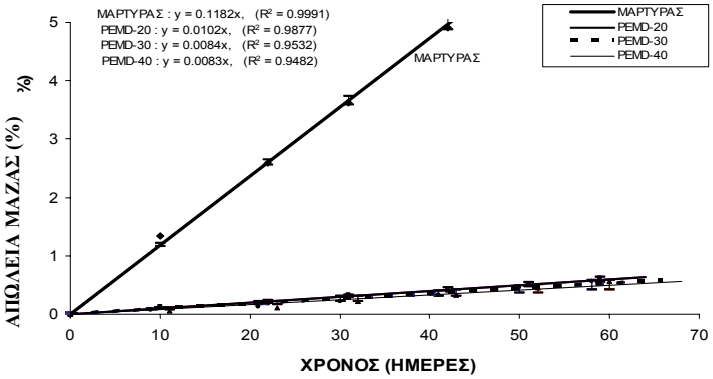
Σχήμα 3. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής των μανταρινιών encore με τη θερμοκρασία συντήρησης

3.4 Απώλειες μάζας

Η απώλεια μάζας είναι ένας από τους σημαντικότερους περιοριστικούς παράγοντες της συντήρησης των εσπεριδοειδών που επηρεάζεται τόσο από το χειρισμό όσο και από τη θερμοκρασία. Τα φρούτα που υπόκεινται σε χειρισμό με αντιδιαπνευστικές ουσίες παρουσιάζουν μικρότερες απώλειες μάζας από αυτά που δεν υπόκεινται σε χειρισμό με αντιδιαπνευστικό στην ίδια θερμοκρασία [6].

Στο συγκεκριμένο πείραμα δεν έγινε χρήση κάποιας αντιδιαπνευστικής ουσίας. Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται οι απώλειες μάζας % σε σχέση με το χρόνο συντήρησης που αφορούν το μάρτυρα και τις συσκευασίες PEMD-20, PEMD-30, PEMD-40. Παρατηρούνται τα εξής :

- Ο μάρτυρας, ο οποίος ήταν ασυσκεύαστα και ακέρωτα μανταρίνια τα οποία συντηρήθηκαν στους 6^0C στον ίδιο ψυκτικό θάλαμο με τα συσκευασμένα, παρουσίασε τις μεγαλύτερες απώλειες μάζας σε όλη τη χρονική περίοδο συντήρησής του συγκριτικά με τα συσκευασμένα.
- Συνολικά και οι τρεις συσκευασίες παρουσίασαν, σε σχέση με το μάρτυρα, υποδεκαπλάσιες απώλειες μάζας γιατί μέσα στις συσκευασίες δημιουργούνται σχεδόν κορεσμένες σε υδρατμούς ατμόσφαιρες, με αποτέλεσμα η αφυδάτωση των φρούτων να είναι ελάχιστη. Οι διαφορές απώλειας μάζας των μανταρινιών των τριών τύπων συσκευασίας ήταν ασήμαντες.



Σχήμα 4. Οι απώλειες μάζας % σε σχέση με το χρόνο συντήρησης

3.5 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Οι μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Από τις τιμές αυτές συμπεραίνονται τα εξής : α) το pH παρουσιάζει μια μικρή σχετικά αύξηση, β) τα ολικά διαλυτά στερεά δεν παρουσιάζουν αξιόλογη μεταβολή, γ) η απόδοση σε χυμό αυξάνεται σημαντικά κατά 32-36% (το φαινόμενο εξηγείται και λόγω της αφυδάτωσης και συνεπώς των απωλειών μάζας που επισυμβαίνουν στο φλοιό), δ) η βιταμίνη C κυρίως στα shelf-life παρουσιάζει αύξηση γιατί ο χυμός έχει γίνει πυκνότερος λόγω αφυδάτωσης, ε) η οξύτητα παρουσιάζει μικρή αύξηση.
Τελικά κανένας χειρισμός δεν παρουσιάζει σημαντικές στατιστικές διαφορές σε κάποιο ποιοτικό χαρακτήρα καθ' όλη τη περίοδο συντήρησης.

Πίνακας 2. Μέσοι όροι και όρια εμπιστοσύνης των ποιοτικών χαρακτηριστικών

		ΧΡΟΝΟΣ		PH	Ολ. Διαλυτά Στερεά (Brix)	Απόδοση σε χυμό %	Οξύτητα gΚιτρ.οξέος/100ml	Vit C mg/100ml
	ΑΡΧΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΑΦ	ΜΟ	3.4	9.8	29.67	0.77	20.54
			ΟΕ	3.35-3.45	9.06-10.55	28.03-32.32	0.72-0.82	19.28-21.81
ΑΝΟΙΓΜΑ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	60	ΜΟ	3.79	10.30	43.91	0.60	23.11
			ΟΕ	3.72-3.86	9.28-11.32	39.42-48.40	0.56-0.65	21.84-24.39
	PEMD-20	60	ΜΟ	3.76	10.10	44.73	0.69	20.26
			ΟΕ	3.65-3.87	8.79-11.50	41.35-48.10	0.58-0.79	16.98-23.54
	PEMD-30	60	ΜΟ	3.81	10.50	44.61	0.58	21.82
			ΟΕ	3.71-3.91	9.43-11.57	42.36-46.86	0.53-0.62	20.85-22.79
	PEMD-40	60	ΜΟ	3.69	9.32	45.06	0.65	22.18
			ΟΕ	3.62-3.76	7.81-10.83	41.57-48.56	0.62-0.69	19.24-25.12
SHELF LIFE	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	66	ΜΟ	4.05	10.54	44.58	0.57	23.37
			ΟΕ	3.96-4.14	9.52-11.57	42.38-46.77	0.47-0.66	20.91-25.84
	PEMD-20	66	ΜΟ	3.84	9.81	45.40	0.64	24.15
			ΟΕ	3.70-3.98	8.03-11.60	42.05-48.75	0.59-0.69	21.83-26.47
	PEMD-30	66	ΜΟ	4.00	7.80	46.81	0.58	23.63
			ΟΕ	3.62-4.38	1.45-14.15	46.23-47.38	-	-
	PEMD-40	66	ΜΟ	4.04	11.00	46.45	0.51	20.91
			ΟΕ	3.40-4.68	5.45-11.15	45.49-47.40	-	-

3.6 Χρώμα

Οι μετρήσεις του χρώματος παρουσιάζονται στον πίνακα 3. Ειδικότερα παρουσιάζεται ο λόγος a^* / b^* σε σχέση με το χρόνο συντήρησης όπως επίσης και ο λόγος $\Delta L^* / L_o^*$ σε

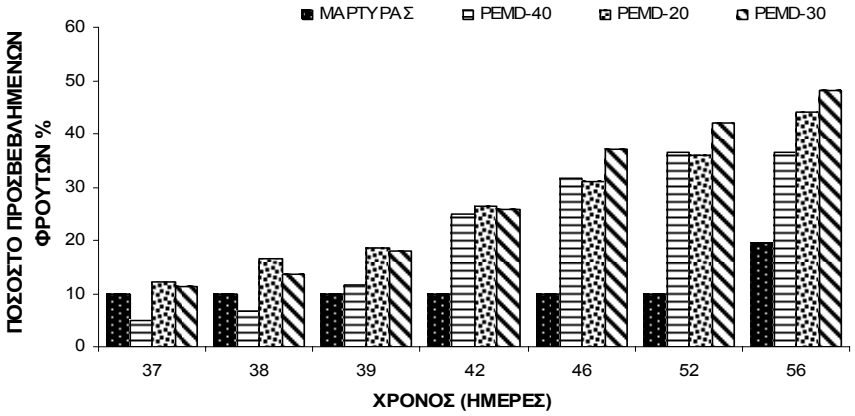
σχέση με το χρόνο συντήρησης. Το χρώμα δεν παρουσίασε αξιόλογη μεταβολή καθόλη τη διάρκεια συντήρησης.

3.7 Μυκητολογικές προσβολές

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα κατά τη συντήρηση των μανταρινιών είναι οι απώλειες από μυκητολογικές προσβολές, ειδικά όταν δεν έχει προβλεφθεί προστασία από μυκητοστατικό. Από το σχήμα 5, συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι μυκητολογικές προσβολές στα μανταρίνια που συσκευάστηκαν σε PEMD-20, PEMD-30, PEMD-40 ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τις προσβολές στα μανταρίνια που δεν συσκευάστηκαν (Μάρτυρας). Η αυξημένη υγρασία εντός των συσκευασιών ευνόησε την ανάπτυξη των μυκήτων και κατά συνέπεια την αύξηση των απωλειών. Η χρησιμοποίηση μυκητοστατικών προϊόντων επιβάλλεται στην περίπτωση που επιδιώκεται μεγάλος χρόνος συντήρησης.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι και όρια εμπιστοσύνης των μετρήσεων του χρώματος

		ΧΡΟΝΟΣ		a^*/b^*		$\Delta L^*/L^*_o$	
					SL 18°C		SL 18°C
1ο ΑΝΟΙΓΜΑ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	20	ΜΟ	0.7810		0.0002	
			ΟΕ	0.7225-0.7785		0.0031-0.0108	
	PEMD-20	20	ΜΟ	0.6851	0.7056	-0.0452	-0.0066
			ΟΕ	0,6414 - 0,8169	-	-0.0052-0.0269	
	PEMD-30	20	ΜΟ	0.7573	0.8930	-0.0463	0.0049
			ΟΕ	0,6742 - 0,7866	-	-0.0213-0.0473	
	PEMD-40	20	ΜΟ	0.6835	0.7050	-0.034	-0.0214
			ΟΕ	0,4442 - 0,9803	-	-0.0025-0.0185	
2ο ΑΝΟΙΓΜΑ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	40	ΜΟ	0.7178		44.58	
			ΟΕ	0.7477-0.6894		42.38-46.77	
	PEMD-20	40	ΜΟ	0.6907	0.6370	45.40	-0.0078
			ΟΕ	0,5907 - 0,7748	-	42.05-48.75	
	PEMD-30	40	ΜΟ	0.6430	0.8800	46.81	-0.0185
			ΟΕ	0,5816 - 0,6966	-	46.23-47.38	
	PEMD-40	60	ΜΟ	0.5930		46.45	
			ΟΕ	0,1491 - 1,0161		45.49-47.40	
3ο ΑΝΟΙΓΜΑ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ	60	ΜΟ	0.6954		0.0218	
			ΟΕ	0.7374-0.6471		0.0092-0.0308	
	PEMD-20	60	ΜΟ	0.6540	0.6385	0.0192	0.038
			ΟΕ	0,508 - 0,7773	-	-0.0146-0.0767	
	PEMD-30	60	ΜΟ	0.5503		-0.0038	



Σχήμα 5**.** Ποσοστό % των προσβεβλημένων φρούτων από μύκητες σε σχέση με το χρόνο συντήρησης

3.8 Εμφάνιση και γεύση των φρούτων

Στο τέλος της συντήρησης έγινε οργανοληπτικός έλεγχος των φρούτων για να διαπιστωθεί η ύπαρξη ξένων οσμών ή αλλοίωση της γεύσης τους. Όλα τα φρούτα των συσκευασιών είχαν πολύ καλή γεύση χωρίς την ύπαρξη ξένων οσμών. Αντίθετα τα ασυσκεύαστα είχαν κακή εμφάνιση, ήταν ζαρωμένα και εμφανώς αφυδατωμένα ενώ η γεύση τους ήταν όχι ευχάριστη με χαρακτηριστικά γηρασμένου φρούτου και ίχνη αλκοόλης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα σπουδαιότερα προβλήματα κατά τη συντήρηση των μανταρινιών, όπως και των άλλων εσπεριδοειδών, είναι δύο : η απώλεια βάρους, και οι απώλειες από μυκητολογικές προσβολές. Για τον περιορισμό των απωλειών βάρους πρέπει να χρησιμοποιούνται ατμόσφαιρες με υγρασία της τάξεως του 88–92% και θερμοκρασία 5–7°C. Η χρήση αντιδιαπνευστικού (κέρωμα) κρίνεται απαραίτητη όταν επιδιώκεται μακροχρόνια συντήρηση και το φρούτο δεν είναι συσκευασμένο με Μ.Α.Ρ.

Η χρησιμοποίηση μυκητοστατικών προϊόντων κρίνεται επίσης απαραίτητη για την παρεμπόδιση της ανάπτυξης μούχλων.

Η χρησιμοποίηση πλαστικών συσκευασιών και τροποποιημένης ατμόσφαιρας (Μ.Α.), ενώ δεν επηρεάζει τη φυσιολογία και τους ποιοτικούς χαρακτήρες των καρπών, περιορίζει σημαντικά τις απώλειες βάρους των μανταρινιών.

Η διάρκεια συντήρησης του μανταρινιού "Encore" ασυσκεύαστου και ακέρωτου και χωρίς μυκητοστατικό ξεπερνάει τον μήνα. Επομένως με μυκητοστατικό και αντιδιαπνευστικό (κερί) μπορεί να παραταθεί περισσότερο η διάρκεια συντήρησης. Η συντήρηση με πλαστικές συσκευασίες ξεπερνάει τους δύο μήνες όταν χρησιμοποιηθεί και μυκητοστατικό [7].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Albrigo L.G. and Ismail M. A. (1983) "Potential and problems of film-wrapping citrus in Florida", Proc. Fla State Hort. Sci. **94**: 524-528.
[2] Ben-Yehoshua S. (1985) "Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film. A new postharvest technique. Hort.Science **20**: 32-37.
[3] Ben-Yehoshua S., Kobiler I. and Shapiro B. (1979) "Some physiological effects of delaying deterioration of citrus fruits by individual seal – packaging in high – density polyethylene film", J.Amer.Soc. Hort. Sci. **104**: 868-872.
[4] Ben-Yehoshua S., Kobiler I. and Shapiro B. (1981) "Effects of cooling versus, seal-packaging with high-density polyethylene on keeping qualities of various citrus cultivars", J.Amer.Soc.Hort.Sci **106**: 536-540.
[5] Grierson W. (1968) "Consumer packaging of citrus fruits", Proceedings of the 1st International Citrus Symposium (Riverside, California) Vol. III.
[6] Lambrinos G., Manolopoulou H. (2000) "Effects of film thickness and storage temperature on water loss and internal quality of film-packaged oranges", Improving Postharvest Technologies of Fruits, (Ed.) F.Artes, M.I Gil, M.A. Conesa, IIR, Murcia, pp.565-572
[7] Manolopoulou H., Lychnos G., Lambrinos G., Xanthopoulos G., (2004) "Effect of polyethylene film packaging on quality parameters of Encore mandarins", European Agricultural Engineering Conference, Leuve, Belgium
[8] Μητρόπουλος Δ., Κοζής Γ., Μανωλοπούλου Ε. και Λαμπρινός Γρ. (2000) "Εκτίμηση του χρόνου συλλογής με μέτρηση αναπνοής στον αγρό", Πρακτικά Τρίτου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα, Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, σ. 425-431.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΥΚΩΝ

Ν. Οικονόμου, Γ. Ξανθόπουλος, Γρ. Λαμπρινός
Γ.Π.Α. - Τμήμα Α.Φ.Π.&Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 - 11855 Αθήνα.
e-mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο πειραματικός προσδιορισμός του ρυθμού απώλειας νερού των σύκων σε διάφορες συνθήκες τεχνητής ξήρανσης και η εκτίμηση της αντίστοιχης καταναλούμενης ισχύος. Η πειραματική εγκατάσταση που χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση των σύκων, ήταν ένα "κλειστού τύπου" πειραματικό τούνελ συνεχούς ανακύκλωσης του αέρα, ο οποίος ψυχόταν και αφυγραινόταν στον εξατμιστή αντλίας θερμότητας και επαναθερμαινόταν στον συμπυκνωτή της. Από τις καμπύλες μεταβολής απωλειών νερού και κατανάλωσης ενέργειας προκύπτει ότι ο χρόνος ξήρανσης κυμαίνεται μεταξύ 30 και 68 ώρες. Η απαιτούμενη ενέργεια ξήρανσης μεγαλώνει με την αύξηση του χρόνου ξήρανσης, η δε επίδραση της ταχύτητας του αέρα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DRYING RATE AND THE CONSUMED ENERGY DURING AIR–DRYING OF FIGS

N. Oikonomou, G. Xanthopoulos, G. Lambrinos
Agronomic University of Athens, Dept. of N.R.M.& Agr. Eng.
75, Iera Odos Str. – 118 55, Athens, Greece,
e-mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

Aim of this project, was the experimental determination of the drying rate of figs under various air–drying conditions and the evaluation of the consumed energy. The developed drying experimental installation was a tunnel of hermetic–type where the drying air was re–circulated. The air in this tunnel was initially chilled and dehumidified passing through the evaporator coils and warmed over passing through the condenser coils. Considering the water losses and the consumed energy diagrams it was concluded that the drying time was ranged between 30 and 68 hours. It was also figured out that the required drying energy, increases with the elapsed drying time, whilst the influence of the air–drying velocity diminishes as the drying temperature increases.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

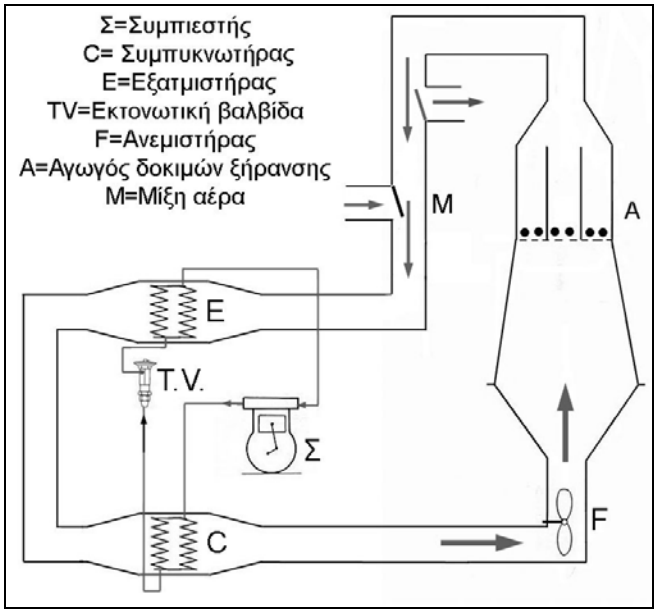
Η φυσική ξήρανση των σύκων, στον Ελλαδικό χώρο και κυρίως στις περιοχές Καλαμάτας και Εύβοιας, αποτελεί μια πολύ παλιά μέθοδο η οποία ναι μεν εξασφαλίζει την ετήσια συντήρηση των σύκων με μικρή οικονομική δαπάνη, αλλά η μεγάλη χρονική διάρκεια του φυσικού τρόπου ξήρανσης και οι μεταβολές στις κλιματικές συνθήκες έχουν σαν αποτέλεσμα την ανομοιομορφία ξήρανσης, τη ρύπανση του προϊόντος τις πάσης φύσεως προσβολές καθώς επίσης και την ανομοιομορφία οργανοληπτικών ιδιοτήτων [10]. Αντί της φυσικής ξήρανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί τεχνητός τρόπος με τη βοήθεια ξηραντήριου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ξηραντηρίων για τη τεχνητή ξήρανση σύκων [2,4,7,8]. Η αντλία θερμότητας χρησιμοποιούμενη ως πηγή ξήρανσης και θέρμανσης του αέρα πλεονεκτεί έναντι των άλλων ενεργειακών πηγών στο ότι παρέχει αέρα με πρακτικά σταθερές τιμές όχι μόνο θερμοκρασίας αλλά και περιεχόμενης υγρασίας καθ' όλη τη διάρκεια της ξήρανσης, αφού λειτουργεί σχεδόν ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Επί πλέον έχει υψηλό συντελεστή απόδοσης (COP), η δε λειτουργία της δεν επηρεάζει αρνητικά το περιβάλλον [1,3,9]. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η τεχνητή ξήρανση σύκων σε ξηραντήριο κλειστού κυκλώματος με αντλία θερμότητας.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα πειράματα είχαν σκοπό τη μελέτη τόσο του χρόνου ξήρανσης όσο και της καταναλούμενης ισχύος, πραγματοποιήθηκαν δε στο ΤΕΙ Καλαμάτας αφού τα προς ξήρανση σύκα προέρχονταν από την περιοχή. Οι καρποί οι οποίοι προορίζονταν για ξήρανση, (Ficus carica L. ποικιλίας «τσαπέλα») συλλέγονταν πάντοτε (σε όλες τις πειραματικές σειρές) από τα ίδια δέντρα και βρισκόντουσαν σε στάδιο πλήρους ωριμότητας και έναρξης της αφυδάτωσης. Είχαν αρχικό βάρος που κυμαινόταν από 40g έως 55g και η περιεχόμενη αρχική υγρασία τους σε υγρή βάση κυμαινόταν από 65% έως 80%. Τα σύκα ετοποθετούντο ολόκληρα στον αγωγό δοκιμών ξήρανσης χωρίς καμία χημική προεπεξεργασία η δε πυκνότητα στον αγωγό ξήρανσης είχε μία μέση τιμή 6,6kg/m^3. Η ολική ξήρανση των σύκων σε φούρνο στους 105°C οδήγησε στον προσδιορισμό της ξηράς ουσίας αυτών.

Η πειραματική εγκατάσταση ξήρανσης σχεδιάστηκε με σκοπό να μας εξασφαλίσει πολύ καλό έλεγχο συνθηκών ξήρανσης (θερμοκρασία, υγρασία και ταχύτητα του αέρα ξήρανσης). Η πειραματική εγκατάσταση (σχήμα 1) ήταν μία κλειστού τύπου αεροσύραγγα που περιλάμβανε την αντλία θερμότητας, τον αγωγό δοκιμών ξήρανσης, τον ανεμιστήρα και τα όργανα ελέγχου.

Ο συμπιεστής της αντλίας θερμότητας ήταν εμβολοφόρος ερμητικού τύπου ονομαστικής ισχύος 2kW, το δε ψυκτικό ρευστό R-22. Η διάταξη στραγγαλισμού της αντλίας θερμότητας ήταν θερμοστατική βαλβίδα εκτονώσεως με ρύθμιση υπερθέρμανσης από 5°C έως 8°C Τόσο ο συμπυκνωτής όσο και ο εξατμιστής της αντλίας θερμότητας ήταν εγκυβωτισμένοι με φύλλα λαμαρίνας και μονωμένοι εξωτερικά έτσι ώστε να γίνονται εναλλαγές της θερμότητας μόνο μεταξύ του ψυκτικού ρευστού και του κυκλοφορούντος αέρα. Ο αγωγός δοκιμών ξήρανσης περιλάμβανε ένα διάφανο πλαστικό αγωγό διαμέτρου 0.3m, ο οποίος στη βάση του είχε προσαρτημένο κατάλληλο μεταλλικό πλέγμα για τη στήριξη των προς ξήρανση σύκων.



Σχήμα 1. Σχηματική διάταξη της πειραματικής συσκευής.

Στο εσωτερικό του αγωγού δοκιμών ξήρανσης υπήρχε δεύτερος πλαστικός διάφανος αγωγός, (διαμέτρου 0.15m), στον οποίο ετοποθετείτο καλάθι κατασκευασμένο από μεταλλική σίτα κατάλληλων ανοιγμάτων με τα προς ξήρανση σύκα που ζυγίζονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα με ζυγό ακριβείας 0,2g και διακριτικής ικανότητας 0,1g. Στην υπόλοιπη περιφέρεια του αγωγού ξήρανσης τοποθετούσαμε σύκα τα οποία ξηραίνονταν και αυτά αλλά είχαν σα σκοπό την ομαλοποίηση του προφίλ της ταχύτητας του αέρα σε όλη τη διάμετρο του αγωγό δοκιμών ξήρανσης. Πριν από τον αγωγό ξήρανσης περενεβλήθει σύστημα για την εξομάλυνση και ομογενοποίηση του προφίλ των ταχυτήτων. Η κατάλληλη διαστασιολόγηση έγινε με προσομοίωση της ροής του αέρα σε Η/Υ με τη βοήθεια του λογισμικού Fluent v.5.1 Ο ανεμιστήρας ήταν μονοφασικός φυγοκεντρικού τύπου ακτινικής ροής ονομαστικής ισχύος 1.5kW. Η παροχή του αέρα που κυκλοφορούσε στο κλειστό κύκλωμα του ξηραντηρίου ρυθμίζονταν μεταβάλλοντας την ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα με τη βοήθεια ενός ροοστάτη (variac). Στην έξοδο του θαλάμου ξήρανσης και πριν τον εξατμιστή ήταν τοποθετημένο σύστημα εκτροπής του εσωτερικού αέρα στο περιβάλλον και αναρρόφησης εξωτερικού αέρα που επέτρεπε την ελεγχόμενη μίξη του αέρα και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του αέρα στα επιθυμητά όρια. Το ποσοστό μίξης με τον αέρα του περιβάλλοντος καθοριζόταν σύμφωνα με τη θερμοκρασία του αέρα πριν τον εξατμιστή .ώστε να μην υπερβαίνει κάποιο όριο το οποίο θα δημιουργούσε προβλήματα λειτουργίας στην αντλία θερμότητας. Για τις συνθήκες των πειραματικών σειρών το ποσοστό μίξης δεν ξεπερνούσε το 50%.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος γινόταν συστηματική καταγραφή των θερμοκρασιών στα διάφορα τμήματα της αντλίας θερμότητας, του αέρα πριν και μετά τους εναλλάκτες καθώς και του αέρα πριν και μετά του αγωγού ξήρανσης σύκων. Για

τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνταν θερμοζεύγη τύπου Κ ακρίβειας 0.5^{o}C και διακριτικής ικανότητας 0.1^{o}C. Η μέτρηση της υγρασίας του αέρα πριν και μετά τον αγωγό ξήρανσης γινόταν με υγρόμετρο σημείου δρόσου στηριζόμενο σε μέτρηση ξηρού και υγρού θερμομέτρου μάρκας AHLBORN MESS και τύπου THERM 2280-1 με ακρίβεια 2% και διακριτικής ικανότητας 0.1^{o}C. Η καταγραφή υγρασίας και θερμοκρασίας του αέρα γινόταν με καταγραφικό σύστημα δεδομένων συνδεδεμένο με αισθητήρες μάρκας HOBO Micro Station ακρίβειας 3% και 0.7^{o}C. Για τη μέτρηση των πεδίων ταχύτητας του αέρα, χρησιμοποιήθηκε ανεμόμετρο CLIMATHERM τύπου θερμαινόμενου νήματος με ακρίβεια 1.5% των κλιμάκων 0-1.5 και 0-25ms^{-1} και διακριτική ικανότητα 0.1 ή 0.5ms^{-1} αντίστοιχα. Η μέτρηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων γίνονταν με κιλοβατοωρόμετρο ακρίβειας 0.05 kWh και διακριτικής ικανότητας 0,01kWh.

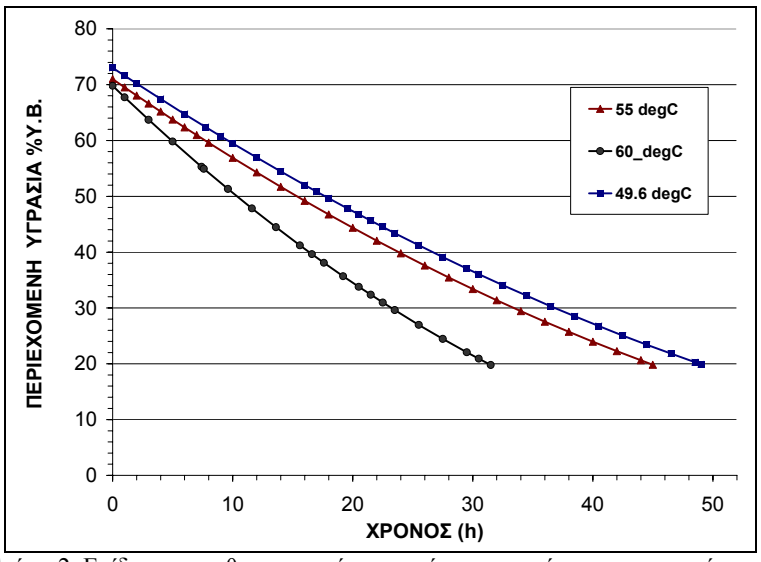
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Σε κάθε πειραματική σειρά επιλέγονταν η ταχύτητα και η θερμοκρασία του αέρα στον αγωγό δοκιμών. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 12 πειραματικές σειρές τα δε ζεύγη ταχύτητας θερμοκρασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Η απόλυτη υγρασία του αέρα ξήρανσης ήταν πρακτικά σταθερή σ' όλες τις πειραματικές σειρές και η τιμή της κυμαινόταν μεταξύ 7 και 10$g_{W.}$ /kg_{a}.

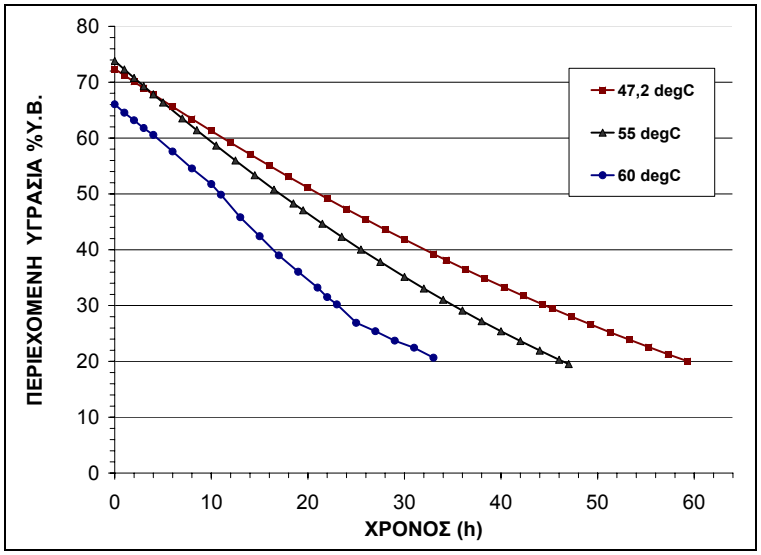
Πίνακας 1. Ταχύτητα, θερμοκρασία και χρόνος ξήρανσης των πειραματικών σειρών.

Πειρ/κή σειρά	Ταχύτητα m/s	Θερμοκρασία ^{o}C	Χρόνος ξήρανσης h
1	1	49,6	49
2	1	55	45
3	1	60	31.5
4	2	47,2	59.3
5	2	55	47
6	2	60	33
7	3	47,9	63.5
8	3	55	30
9	3	60	31
10	3,5	55	38.5
11	4	46,1	59.5
12	5	46,8	68

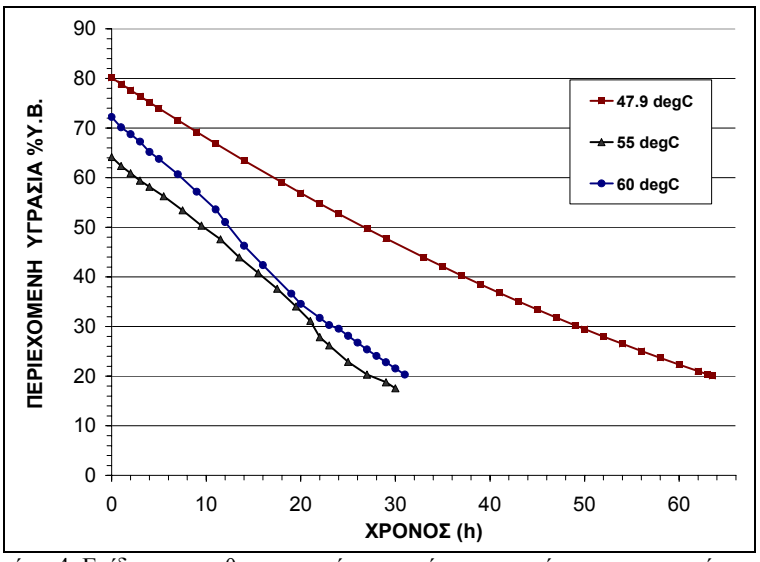
Η επίδραση των συνθηκών ξήρανσης (θερμοκρασίας και ταχύτητας του αέρα) στην απώλεια υγρασίας % υγρής βάσης με το χρόνο ξήρανσης παρουσιάζεται στα σχήματα 2-6.



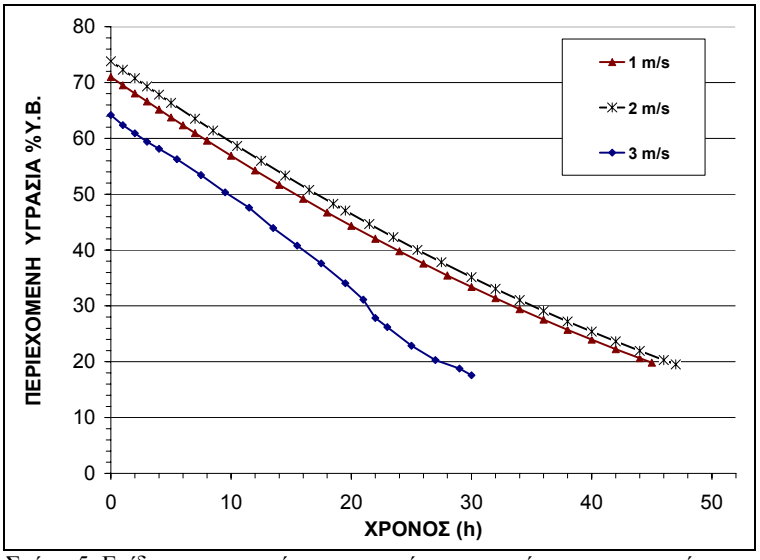
Σχήμα 2. Επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα στην μείωση της περιεχόμενης υγρασίας για σταθερή ταχύτητα 1ms^{-1}.



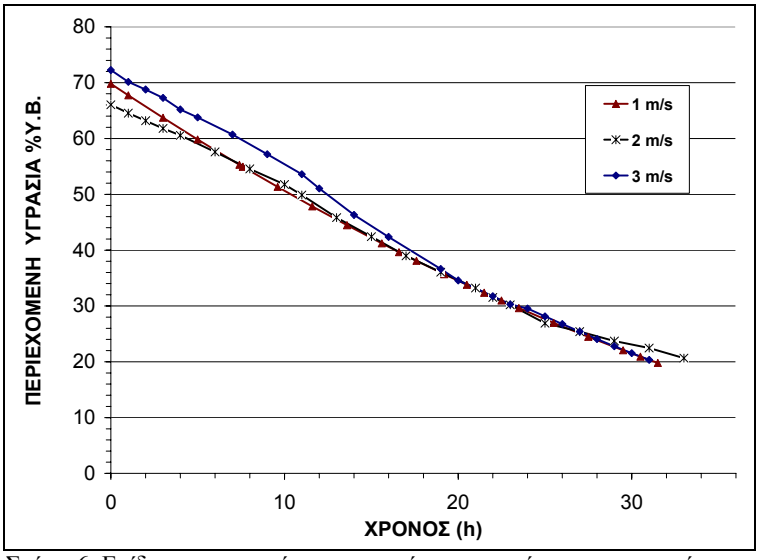
Σχήμα 3. Επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα στην μείωση της περιεχόμενης υγρασίας για σταθερή ταχύτητα 2ms^{-1}.



Σχήμα 4. Επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα στην μείωση της περιεχόμενης υγρασίας για σταθερή ταχύτητα 3ms^{-1}.



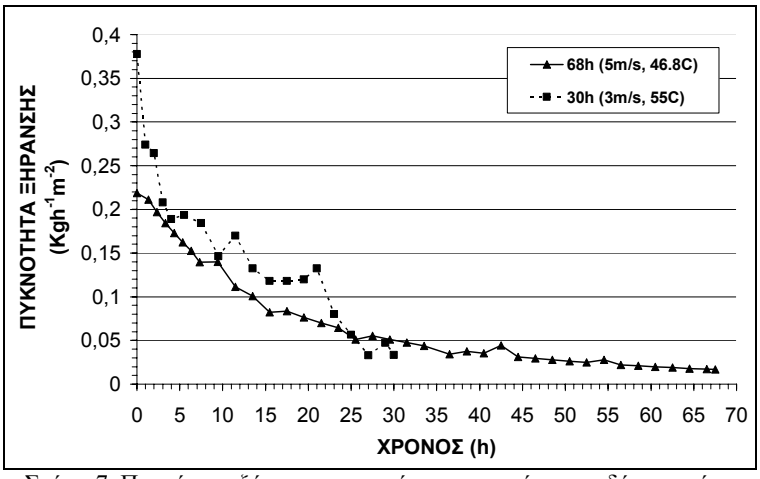
Σχήμα 5. Επίδραση της ταχύτητας του αέρα στην μείωση της περιεχόμενης υγρασίας για σταθερή θερμοκρασία 55°C.



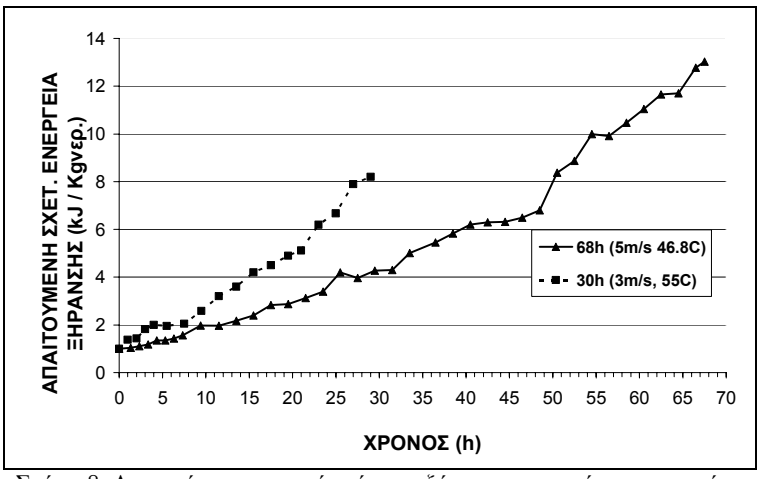
Σχήμα 6. Επίδραση της ταχύτητας του αέρα στην μείωση της περιεχόμενης υγρασίας για σταθερή θερμοκρασία 60°C.

Το εύρος των ταχυτήτων από 1ms^{-1} έως 3ms^{-1} που χρησιμοποιήθηκε είχε σα σκοπό το καθορισμό της τιμής της ταχύτητας πάνω από την οποία ο ρυθμός μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας δε μεταβάλλεται. Από τα αποτελέσματα των σχημάτων 2-4 συμπεραίνεται ότι τον κύριο ρόλο έχει η θερμοκρασία ξήρανσης και ελάχιστα επηρεάζει το φαινόμενο η ταχύτητα του αέρα. Σύμφωνα με τους Babalis S.J et al η επίδραση της ταχύτητας του αέρα στην μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας θεωρείται ασήμαντη διότι η αντίσταση της μετακίνησης της υγρασίας από την επιφάνεια του σύκου στον αέρα είναι πολύ μικρότερη εάν συγκριθεί με την αντίσταση στην εσωτερική μετακίνηση της υγρασίας. Επίσης συμπεραίνουμε ότι οι μεγαλύτερες κλίσεις παρουσιάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως αναφέρουν και οι Babalis S.J et al, Krokida M.K. et al. Στα σχήματα 5 και 6 γίνεται πιο ευκρινές ότι στις χαμηλότερες θερμοκρασίες ξήρανσης η ταχύτητα επηρεάζει περισσότερο τη διεργασία της ξήρανσης. Η επίδραση της ταχύτητας του αέρα μέσα στα όρια από 1ms^{-1} έως 3ms^{-1} είναι ασήμαντη στη θερμοκρασία των 60°C. Φαίνεται ότι από τη θερμοκρασία των 60°C και άνω ο ρόλος της ταχύτητας του αέρα είναι πρακτικά μηδενικός. Άρα υπάρχει ένας βέλτιστος συνδυασμός θερμοκρασίας και ταχύτητας για τη ξήρανση που πρέπει να καθορίζει την οικονομικότητα της διεργασίας. Στο σχήμα 7 φαίνεται η πυκνότητα ξήρανσης της πιο αργής και της πιο γρήγορης πειραματικής σειράς ξήρανσης. Γίνεται και εδώ αντιληπτό ότι στην αρχή της ξήρανσης η οδηγός δύναμη είναι η θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης μια και η πυκνότητα ξήρανσης στη μεγαλύτερη θερμοκρασία παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές κατά μέσο όρο. Η σχετική απαιτούμενη ενέργεια (kJ/Kg$_{νερού}$) που πρέπει να δοθεί στο σύστημα για τις δύο ακραίες (χρονικά) αυτές πειραματικές σειρές παρουσιάζεται στο σχήμα 8. Η ενέργεια αυτή αντιπροσωπεύει την πραγματική ενέργεια αφυδάτωσης (απαιτούμενη ενέργεια απομάκρυνσης 1Kg νερού) κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Η απαιτούμενη ενέργεια ξήρανσης 1Kg νερού κυμαίνεται από 8 έως 13kJ/Kg$_{νερού}$ πράγμα που σημαίνει ότι η εσωτερική αντίσταση διάχυσης της υγρασίας αυξάνεται με τη μείωση της περιεχόμενης υγρασίας του σύκου έως και 13 φορές σε σχέση με την

αρχική. Η κλίση της καμπύλης που αντιπροσωπεύει την αργή ξήρανση είναι μικρότερης κλίσης πράγμα λογικό αφού ο χρόνος της διεργασίας είναι μεγαλύτερος και επιτρέπει μια πιο ομαλή διάχυση του νερού από το εσωτερικό του σύκου προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η διεργασία της ξήρανσης ελέγχεται κυρίως από την εσωτερική αντίσταση στη μετακίνηση της υγρασίας και όχι από τη διάχυση των υδρατμών στον αέρα του περιβάλλοντος. Οι υψηλές τιμές της ενέργειας που απαιτούνται για την ξήρανση (energy of activation E_o) σύμφωνα και με τους Babalis S.J et al [2], σε σχέση με την



Σχήμα 7. Πυκνότητα ξήρανσης σε σχέση με το χρόνο των δύο ακραίων χρονικά πειραματικών σειρών.



Σχήμα 8. Απαιτούμενη σχετική ενέργεια ξήρανσης σε σχέση με το χρόνο των δύο ακραίων χρονικά πειραματικών σειρών.

ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του σύκου, δικαιολογούν και την επικράτηση της εσωτερικής αντίστασεις στην απομάκρυνση της υγρασίας έναντι αυτής του οριακού στρώματος.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι ο ελάχιστος χρόνος ξήρανσης μέχρι τελικής περιεκτικότητας των σύκων σε υγρασία 20% σε υγρή βάση ήταν 30h, ενώ ο αντίστοιχος μέγιστος χρόνος ήταν 68h. Η σχετική απαιτούμενη ενέργεια ξήρανσης μεγαλώνει καθώς αυξάνεται ο χρόνος ξήρανσης, αλλά με μικρή κλίση. Επίσης μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η επίδραση της ταχύτητας του αέρα ξήρανσης στη μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας είναι μικρή και ελαχιστοποιείται καθώς αυξάνει η θερμοκρασία ξήρανσης. Επειδή ο χρόνος πειραμάτων είναι περιορισμένος αφ' ενός λόγω της διαθεσιμότητας των σύκων της συγκεκριμένης ποικιλίας και αφετέρου λόγω της μεγάλης χρονικής διάρκειας κάθε πειραματικής σειράς, για την ασφαλέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την οικονομικότητα της ξήρανσης απαιτείται να προστεθούν αρκετές ακόμη πειραματικές σειρές.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα αυτή κατέστη δυνατή χάρις στην χρηματοδότηση του προγράμματος Πυθαγόρας από το ΥΠ.Ε.Π.Θ. και την Ε.Ε.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Alves, O.F., Strommen I., and Thorbergsen E., 1997. A simulation model for heat pump dryer plants for fruits and roots. *Drying Technology*. 15(5). 1369–1398.

[2] Babalis S.J., and Belessiotis V.G., 2004. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin – layer drying of figs. *J. of Food Engng*. (65). p.449–458.

[3] Bai Y., Rahman M.S., Perera C.O., Smith B., and Melton L.D., 2002. Structural changes in apple rings during convection air-drying with controlled temperature and humidity. *J. Agric. Food Chem*. (50). p.3179-3185.

[4] Cao W., Nishiyama Y., and Koide S., 2003. Thin – layer drying of maitake mushroom analysed with a simplified model. *Biosystems Engng*. 85(3). p.331-337.

[5] Cordova-Quiroz A.V., Ruiz-Cabrera M.A., and Garcia-Alvarado M.A., 1996. Analytical solution of mass transfer equation with interfacial resistance in food drying. *Drying Technology*. 14(7&8). p.1815–1826.

[6] Hebbar H.U., Vishwanathan K.H., and Ramesh M.N., 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *J. of Food Engng*. (65). p.557-563.

[7] Karathanos V.T., and Belessiotis V.G., 1999. Application of a thin – layer equation to drying data of fresh and semi – dried fruits. *J. Agric. Engng*. (74). p.355-361.

[8] Krokjida M.K., Karathanos V.T., Maroulis Z.B., and Kouris D.M., 2003. Drying kinetics of some vegetables. *J. of Food Engng*. (59). p.391-403.

[9] Sosle V., Raghavan G.S.V., and Kittler R., 2003. Low-temperature drying using a versatile heat pump dehumidifier. *Drying Technology*. 21(3). p.539–554.

[10] Vazquez G., Chenlo F., Moreira R., and Cruz E., 1997. Grape drying in a pilot plant with a heat pump. *Drying Technology*. 15(3&4). p.899–920.

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟΥ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Ε. Χατζής[*], Γ. Ξανθόπουλος[*], Γρ. Λαμπρινός[*] και Α. Κούρτης[*]
[*]Γ.Π.Α. - Τμήμα ΑΦΠ & ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα
email: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή συγκρίνεται η κλασσική μέθοδος χρωματομέτρησης και κατ΄ επέκταση ποιοτικής αξιολόγησης φυλλωδών λαχανικών, με μια νέα μέθοδο η οποία προκύπτει από την ανάλυση ψηφιακής εικόνας. Με την νέα μέθοδο τα δείγματα τοποθετούνται μέσα σε ειδικό φωτογραφικό κλωβό στον οποίο φωτογραφίζονται με σταθερές συνθήκες φωτισμού, δίνοντας την δυνατότητα αξιολόγησης όλης της επιφάνειας των δειγμάτων σε αντίθεση με την χρήση χρωματόμετρου όπου αξιολογείται ένα μικρό τμήμα επιφάνειας του δείγματος κάθε φορά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μεταβολές των L^*, a^* και b^* τόσο με την μέθοδο του χρωματομέτρου όσο και με την ειδική ψηφιακή ανάλυση δεν παρουσιάζουν σημαντικές ποιοτικές διαφορές. Οι όποιες διαφορές εμφανίζονται οφείλονται κυρίως στον διαφορετικό χρησιμοποιούμενο φωτισμό από τις δυο μεθόδους.

QUALITATIVE EVALUATION OF LETTUCE USING CHROMA METER AND DIGITAL IMAGE PROCESSING

E. Chatzis[*], G. Xanthopoulos[*], Gr. Lamprinos[*] and A. Kourtis[*]
[*]Agronomic University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering
75, Iera Odos Str. – 118 55, Athens
e–mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

In this paper the well–known method of colorimetry, applied for qualitative evaluation of leafy vegetables, and a new method based on digital image analysis, are compared. According to the new method, the samples were placed in a light booth and photographed under constant lighting conditions. Image processing can evaluate the overall sample's area against chroma meter, which can only evaluate a small part of the sample. Variations of L^*, a^* and b^* chromatic coordinators, as these are measured by the chroma meter and digital image analysis, are quite similar. This behaviour can be attributed to the different lighting devices, which are employed.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για να εκτιμηθεί το ποιοτικό επίπεδο τόσο των φρούτων όσο και των λαχανικών αξιολογούνται τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά τόσο με καταστροφικές (destructive) όσο και με μη καταστροφικές (non destructive) μεθόδους. Τα τελευταία χρόνια οι αυξημένες απαιτήσεις για αντικειμενικότητα, αποτελεσματικότητα και ταχύτητα στην ποιοτική αξιολόγηση, δημιούργησε την αναγκαιότητα της χρήσης κάμερας και ηλεκτρονικών υπολογιστών και κατέστησε σημαντικό μέσο την ανάλυση της ψηφιακής εικόνας. Το χρώμα αποτελεί πάντοτε σημαντικό ποιοτικό κριτήριο αξιολόγησης του σταδίου ωριμότητας (ή γήρανσης) και της φρεσκάδας των νωπών φυτικών προϊόντων [2, 4].

Τα πλεονεκτήματα των μεθόδων ποιοτικής αξιολόγησης φρούτων και λαχανικών με ανάλυση ψηφιακής εικόνας και με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι η εξασφάλιση δεδομένων περιγραφής με ακρίβεια, η ταχύτητα, η αντικειμενικότητα, η πιστότητα των αποτελεσμάτων, η αυτοματοποίηση πολλών διαδικασιών και η δυνατότητα άμεσης καταγραφής, επιτρέποντας την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι κυρίως η απαίτηση κατάλληλου τεχνητού φωτισμού και η δυσκολία ταυτοποίησης αντικειμένων που δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια [1, 6].

Σκοπός της ερευνητικής αυτής εργασίας ήταν η σύγκριση της ποιοτικής αξιολόγησης με τη κλασσική μέθοδο χρωματομέτρησης φυλλωδών λαχανικών με μια νέα μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί την ανάλυση της ψηφιακής εικόνας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν μαρούλια (Lactuca sativa var. capitata L.) κεφαλωτού τύπου (Butterhead type) γνωστά ως 'γαλλική σαλάτα' [10], προελεύσεως Μαραθώνα, τα οποία παραλήφθηκαν από το Εργαστήριο Ψυκτικών Εφαρμογών του Γ.Π.Α μια μέρα μετά τη συγκομιδή τους.

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν φύλλα από τις εξωτερικές τρεις σειρές κάθε μαρουλιού, έτσι ώστε τελικά να έχουμε έξι δείγματα για κάθε χειρισμό. Οι χειρισμοί ήσαν δύο:

α) Ολόκληρα φύλλα

β) Τεμαχισμένα φύλλα. Ο τεμαχισμός πραγματοποιήθηκε με ειδικό κοπτικό εργαλείο, το δε μήκος τεμαχισμού ήταν περίπου 2 εκατοστά.

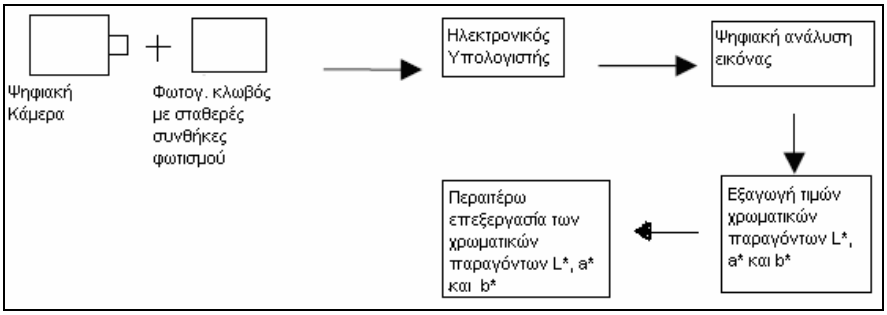
Τα δείγματα συσκευάστηκαν σε σακουλάκια από πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE) διαστάσεων 20εκ. x 35εκ. Η συσκευασία χρησιμοποιήθηκε μόνο για την προστασία των δειγμάτων από την αφυδάτωση και όχι για τη δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, για τον λόγο δε αυτό σε κάθε συσκευασία πραγματοποιήθηκε διάτρηση σε τέσσερα διαφορετικά σημεία.

Η συντήρηση πραγματοποιήθηκε σε ψυκτικούς θαλάμους θερμοκρασίας 0^oC και 10^oC. Τελικά μελετήθηκαν για κάθε θερμοκρασία 6 δείγματα με ολόκληρα φύλλα και 6 δείγματα με τεμαχισμένα φύλλα.

Η μέτρηση του χρώματος με χρωματόμετρο πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα προεπιλεγμένα σημεία σε κάθε δείγμα ολόκληρων ή τεμαχισμένων φύλλων.

Για την χρωματομέτρηση με την κλασσική μέθοδο χρησιμοποιήθηκε χρωματόμετρο Minolta CR – 300 με αρχική ρύθμιση αναφοράς [3, 9]. Για την χρωματομέτρηση με ψηφιακές εικόνες χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Konica Minolta

Dimage Z2 σε ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού [5], οι οποίες επετεύχθησαν με την βοήθεια ειδικού φωτογραφικού κλωβού που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Ψυκτικών Εφαρμογών του Γ.Π.Α και όπου για τον απαιτούμενο φωτισμό χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις λαμπτήρες φθορίου OSRAM L18W/965 1000 lm έτσι ώστε να έχουμε συνεχή εκπομπή φωτός [2, 7].
Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων πραγματοποιήθηκε με την χρήση ειδικού λογισμικού το οποίο αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Ψυκτικών Εφαρμογών του Γ.Π.Α και το οποίο με την βοήθεια του προγράμματος επεξεργασίας ψηφιακής φωτογραφίας COREL δίνει τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε χρωματικούς παράγοντες L^*, a^* και b^* οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως στα τρόφιμα [8, 11]. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των τιμών των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* παρουσιάζεται σχηματικά στο σχήμα 1.



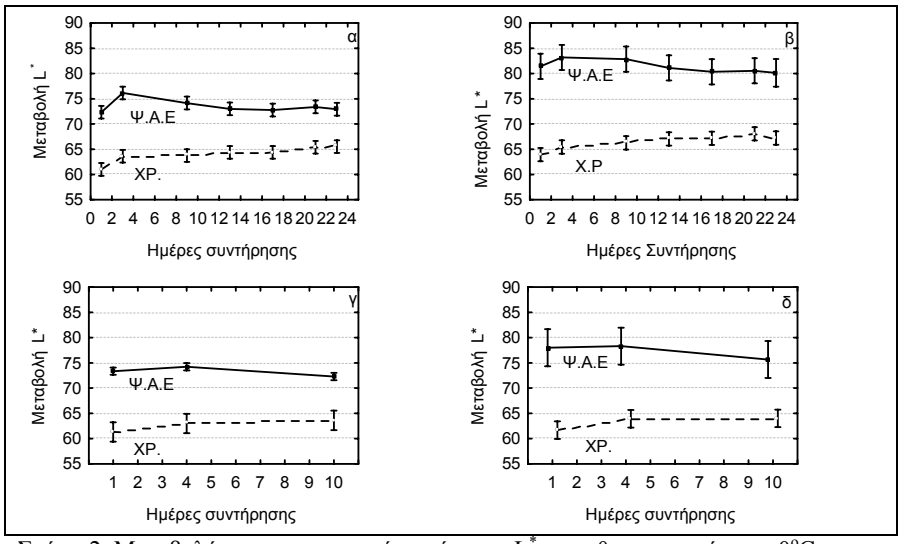
Σχήμα 1. Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας εξαγωγής των τιμών των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* με την ψηφιακή ανάλυση εικόνας.

Το χρώμα μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της συντήρησης των δειγμάτων τόσο με την κλασσική μέθοδο του χρωματομέτρου (ΧΡ.) όσο και με την μέθοδο της ψηφιακής ανάλυσης εικόνας (Ψ.Α.Ε).

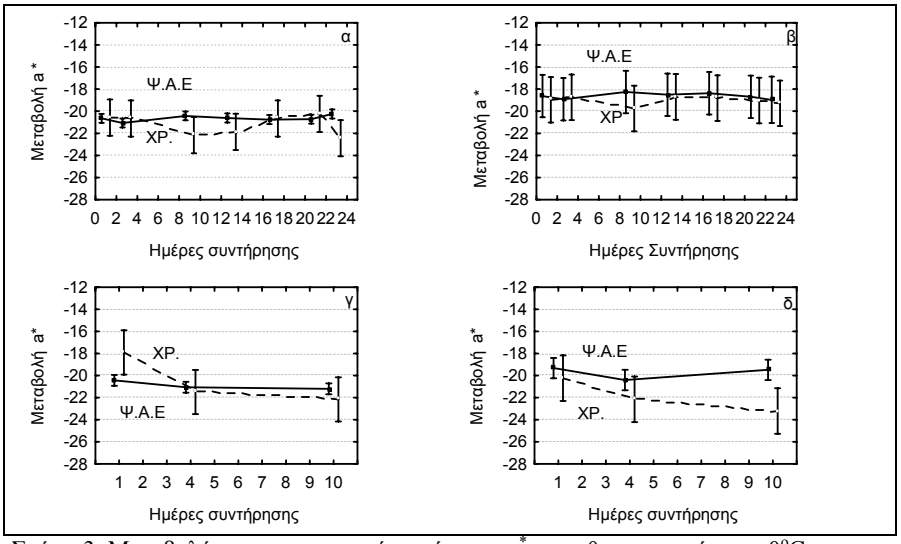
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Τα αποτελέσματα μεταβολής του χρώματος με χρωματομέτρηση ή με ψηφιακή ανάλυση της εικόνας παρουσιάζονται σε διαγράμματα των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* σε συνάρτηση με τον χρόνο συντήρησης των δειγμάτων μαρουλιού ως συσκευασμένα ή ασυσκεύαστα ολόκληρα ή τεμαχισμένα φύλλα στους 0^oC (Σχήματα 2 έως 4) και 10^oC (Σχήματα 5 έως 7).
Τα αποτελέσματα των σχημάτων 2 έως 7 μας οδηγούν στις εξής παρατηρήσεις:

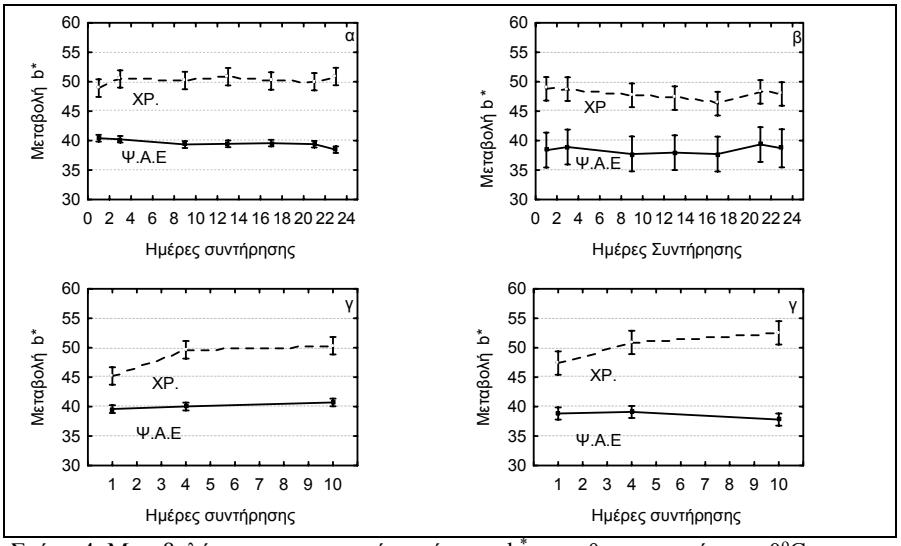
1. Τα συσκευασμένα φύλλα μαρουλιού στους 0 ^oC συντηρήθηκαν υπερδιπλάσιο χρόνο.
2. Τα αποτελέσματα με τις δύο μεθόδους αφίστανται 8-15 μονάδες ως προς την λαμπρότητα (φωτεινότητα) L^* με τις υψηλότερες τιμές L^* να τις παρουσιάζει η μέθοδος της ψηφιακής ανάλυσης εικόνας και 8-10 μονάδες ως προς τον παράγοντα b^* (κιτρίνισμα) με την κλασσική μέθοδο της χρωματομέτρησης να παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές. Οι διαφορές αυτές που παρουσίασαν οι δύο μέθοδοι πρέπει να αποδοθούν στο διαφορετικό χρησιμοποιούμενο φωτισμό των δύο μεθόδων [5].



Σχήμα 2. Μεταβολές του χρωματικού παράγοντα L^* στην θερμοκρασία των 0°C και με τις δυο μεθόδους τόσο σε συσκευασμένα ολόκληρα (α) ή τεμαχισμένα (β) φύλλα μαρουλιού, όσο και σε ασυσκεύαστα (γ, δ) φύλλα αντίστοιχα.



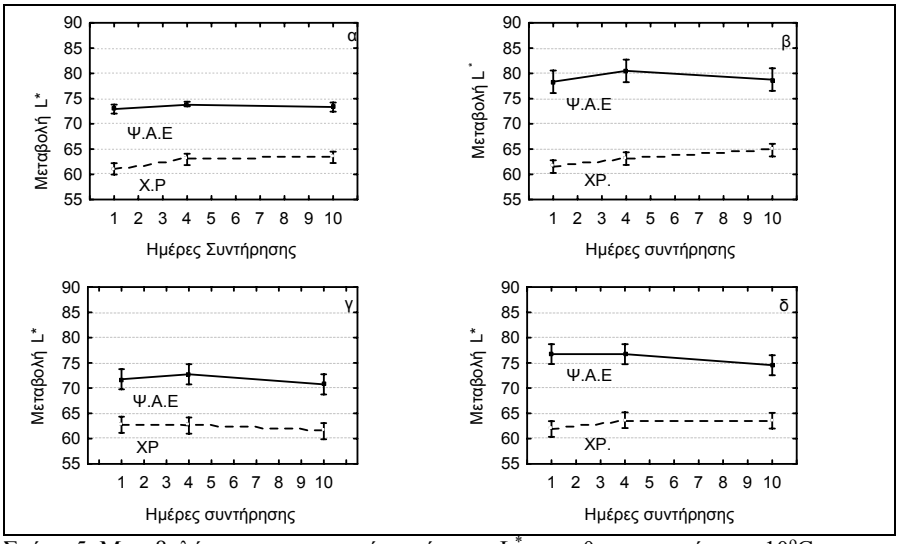
Σχήμα 3. Μεταβολές του χρωματικού παράγοντα a^* στην θερμοκρασία των 0°C και με τις δυο μεθόδους τόσο σε συσκευασμένα ολόκληρα (α) ή τεμαχισμένα (β) φύλλα μαρουλιού, όσο και σε ασυσκεύαστα (γ, δ) φύλλα αντίστοιχα.



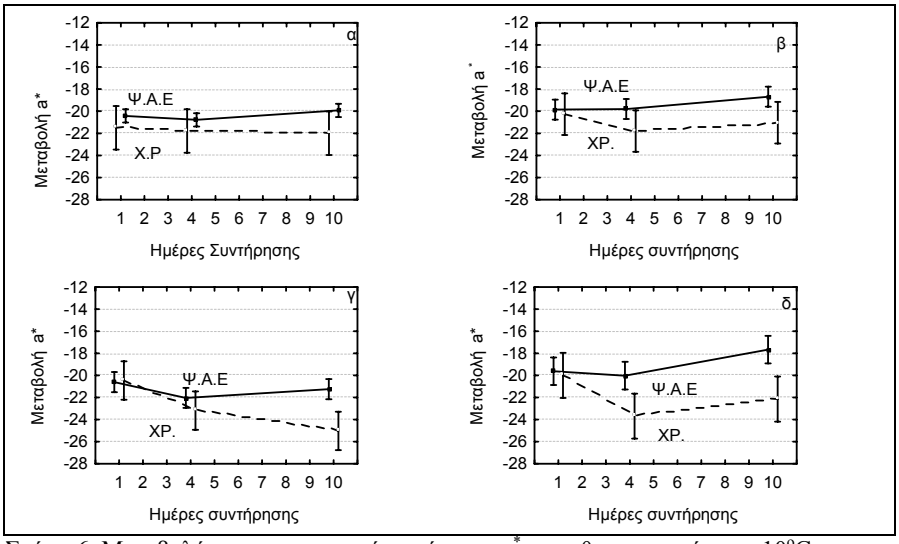
Σχήμα 4. Μεταβολές του χρωματικού παράγοντα b^* στην θερμοκρασία των 0^oC και με τις δυο μεθόδους τόσο σε συσκευασμένα ολόκληρα (α) ή τεμαχισμένα (β) φύλλα μαρουλιού, όσο και σε ασυσκεύαστα (γ, δ) φύλλα αντίστοιχα.

3. Η Ψ.Α.Ε δεν έδειξε σημαντικές αλλαγές της φωτεινότητας L^* του φύλλου μαρουλιού σε καμιά περίπτωση (τεμαχισμένο ή ολόκληρο, συσκευασμένο ή ασυσκεύαστο) ούτε στους 0^oC ούτε στους 10^oC. Η κλασσική μέθοδος παρουσίασε ελαφρά αύξηση της φωτεινότητας μεταξύ αρχής και τέλους της συντήρησης στις περιπτώσεις των συσκευασμένων φύλλων μαρουλιού.
4. Σε ότι αφορά τον παράγοντα a^*, δεν παρουσιάζονται ούτε σημαντικές μεταβολές αυτού κατά την διάρκεια της συντήρησης των φύλλων του μαρουλιού με την μια ή την άλλη μέθοδο, ούτε σημαντικές διαφορές ως προς την εκτίμηση των δύο μεθόδων. Ωστόσο στο τέλος της συντήρησης των ασυσκεύαστων κομμένων φύλλων στους 0^oC και των ασυσκεύαστων (κομμένων και μη) φύλλων στους 10^oC παρουσιάζεται μια μικρή απόκλιση των δύο μεθόδων της τάξεως των 3 – 4 μονάδων.
5. Σχετικά με τον παράγοντα (κιτρίνισμα) b^* τα αποτελέσματα της ψηφιακής μεθόδου δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές καθ΄ όλη την περίοδο συντήρησης των φύλλων του μαρουλιού με οποιοδήποτε χειρισμό. Η κλασσική όμως μέθοδος παρουσιάζει μικρή αύξηση 4 – 5 μονάδων στα ασυσκεύαστα (τεμαχισμένα ή ολόκληρα) φύλλα και στους 0^oC και στους 10^oC.

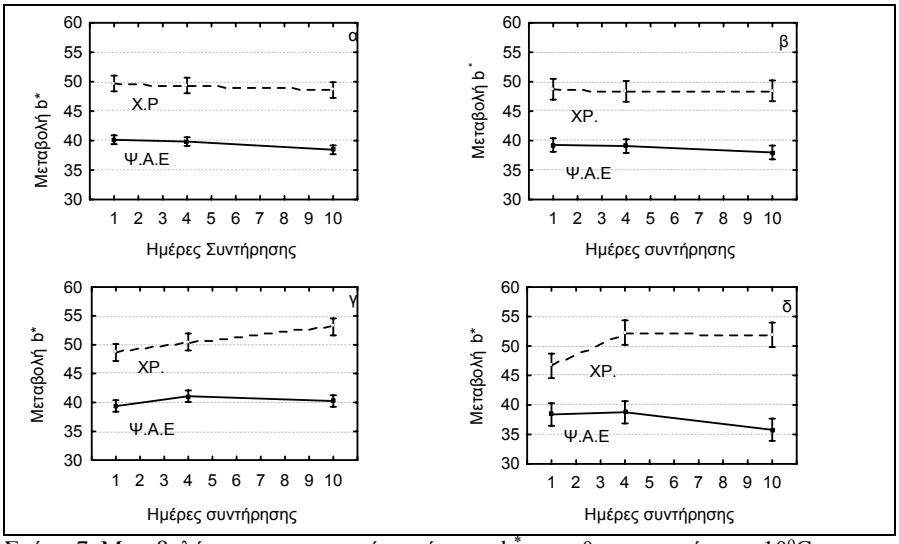
Οι όποιες διαφορές στις εκτιμούμενες τιμές των χρωματικών παραγόντων κυρίως L^*, a^* και b^* μεταξύ των δύο μεθόδων οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στον διαφορετικό χρησιμοποιούμενο φωτισμό [5], αλλά και στο γεγονός ότι η νέα μέθοδος δίνει την δυνατότητα αξιολόγησης όλης της επιφάνειας των δειγμάτων σε αντίθεση με την κλασσική μέθοδο του χρωματομέτρου η οποία αξιολογεί μία πολύ μικρή επιφάνεια αυτών σε κάθε μέτρηση [3].



Σχήμα 5. Μεταβολές του χρωματικού παράγοντα L^* στην θερμοκρασία των 10°C και με τις δυο μεθόδους τόσο σε συσκευασμένα ολόκληρα (α) ή τεμαχισμένα (β) φύλλα μαρουλιού, όσο και σε ασυσκεύαστα (γ, δ) φύλλα αντίστοιχα.



Σχήμα 6. Μεταβολές του χρωματικού παράγοντα a^* στην θερμοκρασία των 10°C και με τις δυο μεθόδους τόσο σε συσκευασμένα ολόκληρα (α) ή τεμαχισμένα (β) φύλλα μαρουλιού, όσο και σε ασυσκεύαστα (γ, δ) φύλλα αντίστοιχα.



Σχήμα 7. Μεταβολές του χρωματικού παράγοντα b^* στην θερμοκρασία των 10^oC και με τις δυο μεθόδους τόσο σε συσκευασμένα ολόκληρα (α) ή τεμαχισμένα (β) φύλλα μαρουλιού, όσο και σε ασυσκεύαστα (γ, δ) φύλλα αντίστοιχα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η νέα μέθοδος ψηφιακής ανάλυσης εικόνας πρέπει να θεωρηθεί πλέον αντικειμενική και αξιόπιστη, διότι αξιολογεί χρωματικά όλη την επιφάνεια των δειγμάτων σε αντίθεση με την κλασσική χρωματομετρική η οποία αξιολογεί πολύ μικρές μόνο επιφάνειες και άρα η αξιοπιστία της είναι συνάρτηση της πυκνότητας των λαμβανομένων χρωματομετρικών με τρήσεων, που τελικά οδηγούν σε αδιέξοδο χρονοεργασιακό.
2. Οι διαφορές στις εκτιμούμενες τιμές των χρωματικών παραμέτρων με τις δύο μεθόδους πρέπει να αποδοθούν στον διαφορετικό χρησιμοποιούμενο από αυτές φωτισμό.
3. Πρέπει ωστόσο η νέα μέθοδος να δοκιμασθεί και σε άλλα προϊόντα διαφορετικού χρώματος και διαφορετικής συμπεριφοράς κατά την συντήρηση για να καταστεί η αξιολόγηση μ΄ αυτή πλέον αποτελεσματική.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Anonymous 1996. CIE $L^*a^*b^*$ Color Scale. HunterLab. Vol. 8. No.7

[2] Anonymous 2000. CIE $L^*a^*b^*$ Color Scale. HunterLab. Vol. 12. No.6

[3] Anonymous 1995. Chroma Meter CR – 300. Instruction Manual Minolta. Japan. p. 81

[4] Abbott A. J. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology.* (15). 207–225

[5] Artigas M. J. and Felipe A. 1987. On the variation of the CIELab coordinates with luminance. *J. Optics.* (18). 81 - 84

[6] Brosman T. and Sun D. 2002. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems – A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. (36). 193-213
[7] Clelland D. and Eismann K. 2001. *Ψηφιακή φωτογραφία.*(μετάφ. Γ. Στάμου) Εκδ. Anubis. Αθήνα. 405
[8] Giese J. 2000. Color Measurements in Foods as a Quality Parameter. *Food Technology*. Vol. 54. No. 2
[9] Ohno Y. 2000. CIE Fundamentals for Color Measurements. Proceedings of IS&T NIP 16: International Conference on Digital Printing Technologies. Vancouver. 540-545
[10] Raymond G. 1999. *Vegetable seed production*. University Press. Cambridge. p. 328
[11]. Yam L. K. and Papadakis E. S. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. (61). 137-142

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΥ ΑΤΜΟΥ

Αυγερινός Ν. Δημητριάδης
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης 54006, e-mail: augerin@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος είναι η μελέτη της ξήρανσης των μανιταριών με χρήση υπέρθερμου ατμού και η σύγκριση της μεθόδου με αυτήν της ξήρανσης με αέρα. Διερεύνηση έχει γίνει, στα χαρακτηριστικά της ξήρανσης, στον τρόπο που επιδρά το μέσο ξήρανσης στα μανιτάρια, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ξηρενόμενου υλικού. Πειράματα έγιναν σε διάφορες συνθήκες έτσι ώστε να διερευνηθούν οι δυο διεργασίες. Τα πειράματα έλαβαν χώρα σε πρωτότυπα εργαστηριακά ξηραντήρια ειδικά κατασκευασμένα και εξοπλισμένα για τις αντίστοιχες μεθόδους ξήρανσης. Ποιοτικά κριτήρια επιλέχθηκαν προκειμένου να αναδειχτεί η ιδανικότερη μέθοδος ξήρανσης μανιταριών.

COMPARISON BETWEEN STEAM AND AIR DRYING OF MUSHROOMS

Augerinos N. Dimitriadis
Dept of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54006 Thessaloniki, Greece. e-mail: augerin@agro.auth.gr

ABSTRACT

Steam drying, or airless drying, is a new method, which is applicable to dry a number of industrial or agricultural materials. The aim of this paper is to study superheated steam drying and compare affection with conventional drying. Drying parameters, quality of dried mushrooms, of drying media to the product, are examined in this paper.
Mushrooms were dried under several conditions, in order to examine the two methods. Experiments took place in prototype laboratory scale driers. Quality parameters of the product, as color changes and rehydration rates, were considered, taking into account the advantages and disadvantages of each method.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξήρανση των μανιταριών είναι μια διεργασία συνεχώς αναπτυσσόμενη, η οποία επικεντρώνει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας παραγωγής και της εμπορίας μανιταριών τα τελευταία χρόνια. Το νερό αποτελεί το κυριότερο συστατικό των μανιταριών μέσα στο οποίο βρίσκονται διαλυμένα άλλα οργανικά και ανόργανα συστατικά. Με τη μείωση της υγρασίας των συγκομισθέντων μανιταριών αναμένεται αύξηση του χρόνου αποθήκευσής τους, βελτίωση ορισμένων από τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά καθώς και διευκόλυνση της διαχείρισής τους (συσκευασία και διακίνηση). Η χρήση υπέρθερμου ατμού ως μέσο ξήρανσης, παρουσιάζει σωρεία πλεονεκτημάτων αλλά και κάποιων μειονεκτημάτων, σε σχέση με τη χρήση θερμού αέρα ως μέσο ξήρανσης γεωργικών προϊόντων. Οι περισσότερες διαφορές πηγάζουν κυρίως από το γεγονός ότι στη ξήρανση με αέρα έχουμε φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας τα οποία προκαλούνται κυρίως από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ υλικού ξήρανσης και μέσου. Στη ξήρανση όμως με υπέρθερμο ατμό τα φαινόμενα μεταφοράς προκαλούνται τόσο από την θερμοκρασιακή διάφορα μεταξύ μέσου και υλικού, αλλά και με μαζική απομάκρυνση της υγρασίας κάτω από την επίδραση δυναμικού πίεσης. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα όπου παρουσιάζει η μέθοδος ξήρανσης γεωργικών προϊόντων με χρήση υπέρθερμου ατμού εντοπίζονται: α) μικρότερος χρόνος ξήρανσης για ίδιες αρχικές συνθήκες σε υψηλές θερμοκρασίες, β) αποστείρωση του υλικού ταυτόχρονα με την ξήρανση του, γ) η χρήση ατμού ως μέσο ξήρανσης επιφέρει λεία επιφάνεια στο ξηραμένο υλικό δ) οξειδώνει λιγότερο, ε) είναι άοσμος, ζ) επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα στη δομή και στην εμφάνιση του υλικού (Mujumdar et al., 1990).

Από την άλλη μεριά τα μειονεκτήματα της παραπάνω μεθόδου ξήρανσης είναι: α) ο ακριβός εξοπλισμός, β) οι υψηλές θερμοκρασίες του ατμού τουλάχιστον για ξήρανση σε ατμοσφαιρική πίεση, γ) μεγαλύτερη θερμική και μηχανική καταπόνηση του υλικού.

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά όπου παρουσιάζει η ξήρανση με χρήση υπέρθερμου ατμού εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία, για την ξήρανση διάφορων υλικών, όπως καπνός (Z. Pakowski et al., 2004), πατάτες (H. Iyota et al. 2001), ζαχαροπολτός, ζυμαρικά, σπόροι (C. Pronyk et al. 2004), λαχανικά, βότανα, κακάο, μαλλί, αλεύρι (Henk C. Van Deventer et al. 2001), χαρτί (Mujumbar, A.S. et. al., 1984), ξύλο (Rosen H.N. et. al., 1980), ψάρι (Svensson C., 1988)..

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετάται η ξήρανση μανιταριών με χρήση υπέρθερμου ατμού όσο και με χρήση αέρα. Η σύγκριση των δυο μεθόδων γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά της ξήρανσης, όπως και με βάση ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ξηραμένων μανιταριών. Συγκεκριμένα την διαφοροποίηση του χρώματος των ξηραμένων μανιταριών, σε σχέση με το αρχικό τους χρώμα. Ενώ ένα δεύτερο κριτήριο, είναι η ικανότητα απορρόφησης υγρασίας, από τα ξηραμένα μανιτάρια. Το ποσοστό αυτό σχετίζεται άμεσα με τις αλλαγές όπου έχουν επέλθει στην δομή των ξηραμένων μανιταριών κατά την διεργασία της ξήρανσης.

2. ΘΕΩΡΕΙΑ

Υπάρχουν δυο διαφορετικά μοντέλα που περιγράφουν την ξήρανση με χρήση υπέρθερμου ατμού και την ξήρανση με χρήση θερμού αέρα.

α) Μοντέλο υπέρθερμου ατμού

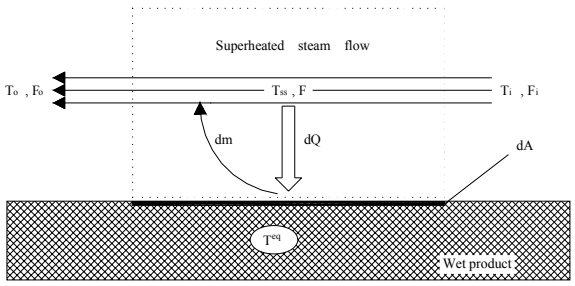
Οι παρακάτω παραδοχές έλαβαν χώρα προκειμένου να διατυπωθεί το μοντέλο ξήρανσης με χρήση υπέρθερμο ατμό ως μέσο ξήρανσης.

1. Η διεργασία είναι μονοδιάστατη και η μεταβολή των παραμέτρων γίνεται με σταθερό ρυθμό.
2. Το ξηραντήριο θεωρείται τέλεια θερμομονωμένο.
3. Η πίεση του υπέρθερμου ατμού κατά την διέλευση του από το ξηραινόμενο υλικό θεωρείται σταθερή.
4. Όλος ο όγκος του υλικού θεωρείται να έχει την ίδια αρχική θερμοκρασία.
5. Η μεταβολή της ειδικής θερμοχωρητικότητας του ατμού λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας του θεωρείται αμελητέα.

Κατά την διάρκεια της ξήρανσης θερμότητα μεταφέρεται από τον υπέρθερμο ατμό προς την εξωτερική επιφάνεια των μανιταριών. Όσο οι επιφάνειες τους παραμένουν υγρές, η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται στην μονάδα του χρόνου μπορεί να υπολογιστεί, μέσω της διαφοράς θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού (T_{ss}) και της θερμοκρασίας ισορροπίας του νερού (T^{eq}), πολλαπλασιασμένη με την εξωτερική επιφάνεια του υλικού (dA) και τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας (h):

$$dQ = dAh(T_{ss} - T^{eq}) \quad (1)$$

Καθώς το ρεύμα του υπέρθερμου ατμού περνάει μέσα από την μάζα των μανιταριών η θερμοκρασία του ατμού μειώνεται λόγω της μετάδοσης θερμότητας ενώ ταυτόχρονα η μάζα του αυξάνει λόγω της απορρόφησης υγρασίας από την μάζα των μανιταριών.
Αυτό το φαινόμενο δίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας σε τμήμα εξωτερικής επιφάνειας του μανιταριού

Το τμήμα της επιφάνειας (dA) συνδέεται με δυο τιμές θερμοκρασίας και δυο τιμές παροχής μάζας, οι οποίες είναι η θερμοκρασία και παροχή εισόδου του υπέρθερμου ατμού (T_i) και (F_i) αντίστοιχα καθώς και με την θερμοκρασία και παροχή εξόδου του ατμού (T_0), (F_0).
Επίσης στο σχήμα 1 φαίνεται το πόσο της θερμότητας ανά μονάδα του χρόνου που μεταφέρεται από τον ατμό στο υλικό (dQ), καθώς και η μάζα της περιεχόμενης υγρασίας που εξατμίζεται (dm).
Βάση των παραπάνω παραδοχών το ισοζύγιο μάζας μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$F_0 = F_i + dm \quad (2)$$

Στο ισοζύγιο ενέργειας κάθε ροή μάζας περιέχει συγκεκριμένο ποσό ενέργειας, [Bird et. al., 1960], ισοδύναμο με το γινόμενο της ποσότητας της μάζας και της ενθαλπίας:

$$F_i H_i + dmH^{eq} = F_0 H_0 + dQ \quad (3)$$

όπου Η η ενθαλπία του κάθε ρεύματος αντίστοιχα.
Το ποσό της μεταφερόμενης ενέργειας dQ, μπορεί να υπολογιστεί και μέσω της ενθαλπίας εξάτμισης (ΔΗ): $dQ = dm\Delta H$ (4)
Θεωρείται ότι η πίεση του ατμού διατηρείται σταθερή σε όλο το μήκος της ζώνης ξήρανσης, έτσι η μεταβολή της ενθαλπίας του υπέρθερμου ατμού μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$H_t - H_0 = C_p(T_i - T_0) \quad (5)$$

Η ίδια σχέση μπορεί να γραφεί και για τον πρωτογενή ατμό, ο οποίος παράγεται σε συνθήκες ισορροπίας. Γενικά η διαφορά της περιεχόμενης ενθαλπίας του ατμού σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού και σε κατάσταση ισορροπίας μπορεί να δοθεί συναρτήσει της θερμοκρασιακής διαφοράς και της μέσης τιμής της ειδικής θερμοχωρητικότητας του ατμού (C^v_p:

$$H_{ss} - H^{eq} = C_p^v(T_{ss} - T^{eq}) \quad (6)$$

Οι εξισώσεις (2) – (4) σε συνδυασμό με τις εξισώσεις (5) και (6) μας δίνουν μια νέα εξίσωση η οποία εμπεριέχει το ισοζύγιο μάζας και ενέργειας.

$$F_i C_p(T_i - T_0) = \frac{dQ(1 + C^v_p(T_0 - T^{eq}))}{\Delta H} \quad (7)$$

β) Μοντέλο ξήρανσης μανιταριών με εξαναγκασμένη ροή θερμού αέρα
Η διεργασία της ξήρανσης των μανιταριών (τεμαχισμένων), λαμβάνοντας υπ' όψη την ταυτόχρονη μετάδοση θερμότητας και μάζας, περιγράφεται από τις σχέσεις (8) και (9):

για την διάχυση μάζας $\frac{\partial X}{\partial t} = D\frac{\partial^2 X}{\partial z^2}$ (8)

για την μετάδοση θερμότητας $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$ (9)

Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των παραπάνω διαφορικών εξισώσεων εξαρτώνται από τις συνθήκες ξήρανσης και περιγράφονται από τις παρακάτω σχέσεις:

t = 0 $X=X_0$ για z=z (10)

z = 0 $\frac{\partial X}{\partial z} = 0$ για t=t (11)

z = $\frac{L_Z}{2}$ $\rho_m D_{wm}(\frac{\partial X}{\partial z})_m = \rho_\alpha D_{wa}[\frac{\partial(\frac{pM}{\rho_\alpha RT})}{\partial z}]$ για t=t (12)

για τα μανιτάρια

z = $L_z/2$ $\rho_m D_{wm}(\frac{\partial X}{\partial z})_m = \rho_{w\alpha} D_a[\frac{\partial(\frac{pM}{\rho_\alpha RT})}{\partial z}]$ για t=t (13)

z = ∞ $p = p_a$ για t=t (14)

t = 0 $p = p_a$ για t=t (15)

για το οριακό στρώμα της υγρασίας στον αέρα.
Η εξίσωση z = $L_z/2$, μπορεί να επιλυθεί μόνο αριθμητικά, εισάγοντας τους συντελεστές διάχυσης ως συναρτήσεις της περιεχόμενης υγρασίας.

Στην περίπτωση της ξήρανσης με εξαναγκασμένη ροή του αέρα η αντίσταση του υγρού αέρα στα οριακά επίπεδα μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα τόσο για τη περίπτωση της μετάδοσης θερμότητας όσο και για την διάχυση μάζας. Στην περίπτωση αυτή οι οριακές συνθήκες της εξίσωσης (12) γίνονται:

$z = \frac{L_Z}{2}$ $\quad X = X^*$ $\quad$ για t=t (16)

Οι οριακές συνθήκες της εξίσωσης [9] γίνονται:

9α. $t = 0$ $\quad T = T_0$

9β. $z = 0$ $\quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0$

9γ. $z = L_z/2$ $\quad h\Delta T = \lambda (J_w) + k \frac{\partial T}{\partial z}$

Η επίλυση του παραπάνω συστήματος διαφορικών εξισώσεων μπορεί να επιλυθεί μόνο με αριθμητικές μεθόδους. Έτσι η αριθμητική επίλυση των εξισώσεων (8) και (9) δίνεται στις παρακάτω σχέσεις [Yapar et al., 1990]:

$$\Theta(z_i, t+\Delta t) = \left[1 - \frac{2D_{wm}\Delta t}{(\Delta z)^2}\right]\Theta(z_{i,} t) + \frac{D_{wm}\Delta t}{(\Delta z)^2}[\Theta(z_i + \Delta z, t) + \Theta(z_i - \Delta z, t)]..... (17)$$

$$T((z_i, t+\Delta t) = \left[1 - \frac{2a\Delta t}{(\Delta z)^2}\right]T(z_{i,} t) + \frac{a\Delta t}{(\Delta z)^2}[T(z_i + \Delta z, t) + T(z_i - \Delta z, t)]..... \quad (18)$$

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Ολόκληρα μανιτάρια τοποθετήθηκαν σε συρμάτινο πλέγμα διαστάσεων 40 εκ Χ 40 εκ Χ 20 εκ. μέσα στο ξηραντήριο και άρχισε αμέσως η διεργασίας της ξήρανσης για να αποφευχθεί όσο είναι δυνατόν τυχόν μαύρισμα τους από την έκθεση τους στον αέρα. Το αρχικό καθαρό βάρος των μανιταριών ήταν γύρω στα 200 gr. Η αρχική περιεχόμενη υγρασία ήταν γύρω στα 90-93% Φ.Κ. Μετρήθηκε σε ηλεκτρικό κλίβανο στους 104°C και για 24 ώρες. Η τελική υγρασία των μανιταριών έφτασε το 7% Φ.Κ. ποσοστό απαραίτητο για την ασφαλή αποθήκευση του υλικού [Komanowsky et al., 1970].

Δυο σειρές πειραμάτων έλαβαν χώρα: 1) Ξήρανση μανιταριών με εξαναγκασμένη ροή θερμού αέρα. 2) Ξήρανση μανιταριών με χρήση υπέρθερμο ατμό σε ατμοσφαιρική πίεση. 3) Πειραματική επιβεβαίωση του σημείου αντιστροφής.

Ξήρανση με αέρα

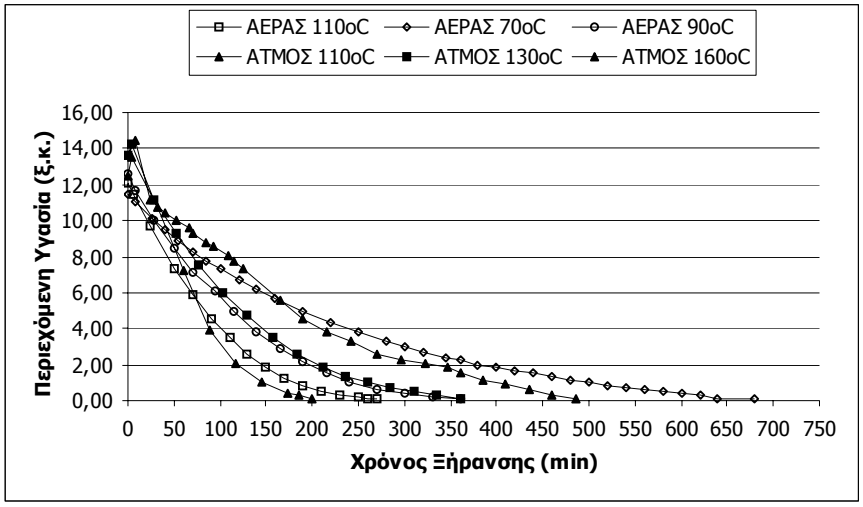
Η παροχή του αέρα στο ξηραντήριο ήταν 4,7 m^3/min. Το ρεύμα του αέρα θερμαίνεται μέσω συστοιχίας ηλεκτρικών αντιστάσεων. Η τιμή της θερμοκρασίας στην είσοδο και στην έξοδο του ξηραντηρίου, σε διάφορες θέσεις του ξηραντηρίου καθώς και η τιμή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των μανιταριών καταγράφονταν και επεξεργάζονταν μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και με την χρήση θερμοζευγών τύπου K (chromega (tm/ Al omega(tm) – διάμετρος: 0,005m)

Το βάρος του δείγματος και κατά συνέπεια η μείωση της περιεχόμενης υγρασίας μετρήθηκε με εφαρμογή πρωτότυπης ζυγιστικής διάταξης με αρχή λειτουργίας τα strain-gauge.

Ξήρανση με υπέρθερμο ατμό

Το ξηραντήριο του ατμού έχει κυλινδρικό σχήμα συνολικού όγκου V=0,15 m^3, είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα, ενώ η αντοχή του θαλάμου σε εσωτερική πίεση ανέρχεται σε 10 μπαρ.
Ο πρωτογενής ατμός παράγεται σε ηλεκτρικό λέβητα παραγωγής ατμού, ενώ στην συνέχεια οδηγείται σε ηλεκτρικό υπερθερμαντήρα ατμού όπου ο ατμός από υγρός μετατρέπεται σε υπέρθερμο ξηρό ατμό.
Τα πειράματα έλαβαν χώρα σε ατμοσφαιρική πίεση και για θερμοκρασίες ατμού από 100 – 200°C. Οι τιμές των θερμοκρασιών του ατμού και του υλικού καταγράφηκαν με τη χρήση συστημάτων ηλεκτρονικής καταγραφής δεδομένων (Data Acquisition, Lab View). Η παροχή του ατμού διακυμαινόταν μεταξύ 0-20 Kg/h.
Διαδικασία εκτίμησης της ποιότητας του ξηραμένου υλικού:
Το αρχικό δείγμα φωτογραφίζεται πριν εισαχθεί στο ξηραντήριο σε σταθερές συνθήκες φωτεινότητας ενώ το δείγμα ξανά φωτογραφίζεται μετά το τέλος της διεργασίας της ξήρανσης με τις ίδιες συνθήκες φωτεινότητας. Οι παραπάνω ψηφιακές φωτογραφίες συγκρίνονται σε μια εμπειρική κλίμακα (Photoshop) χρώματος στην οποία το απόλυτα άσπρο χρώμα λαμβάνει το βαθμό 0%, ενώ το μαύρο χρώμα λαμβάνει το βαθμό 100 %. Όσο μικρότερη είναι η βαθμολογία που παίρνει το τελικό δείγμα και σε σχέση με το βαθμό του αρχικού δείγματος τόσο καλύτερη θεωρείται η ποιότητα των ξηραμένων μανιταριών.
Για να διαπιστωθεί η επίδραση της διεργασίας της ξήρανσης στην δομή του υλικού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της προσρόφησης υγρασίας από το ξηραμένο υλικό. Τα ξηραμένα μανιτάρια τοποθετήθηκαν σε βραστό νερό για ορισμένο χρονικό διάστημα και κατά τακτά χρονικά διαστήματα καταγράφονταν το συνολικό τους βάρος.

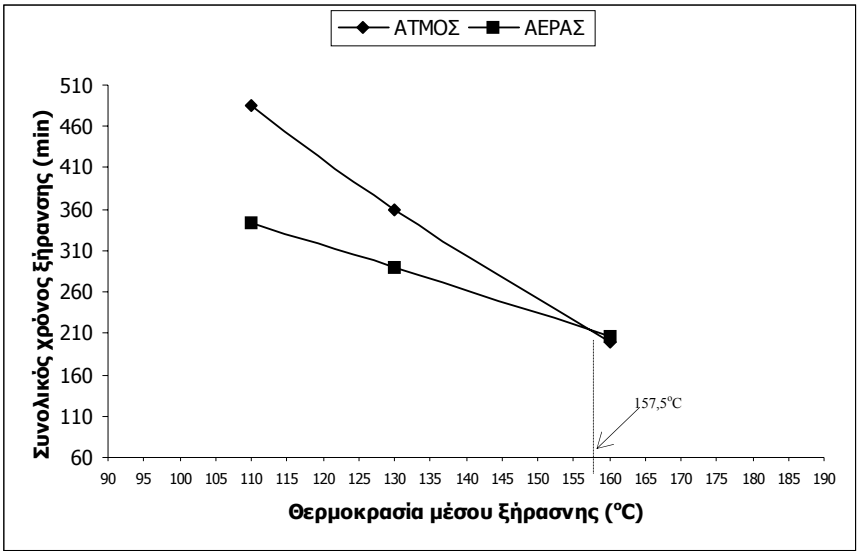
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ



Σχήμα 1. Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου

Η επίδραση της θερμοκρασίας του μέσου ξήρανσης φαίνεται στο σχήμα 1 για ξήρανση με χρήση θερμού αέρα και υπέρθερμου ατμού. Ενώ στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η

επίδραση της θερμοκρασίας του μέσου ξήρανσης στο συνολικό χρόνο ξήρανσης. Από το σχήμα 1 προκύπτει ότι με αύξηση της θερμοκρασία του μέσου ξήρανσης έχουμε μείωση του συνολικού χρόνου ξήρανσης. Στην περίπτωση της ξήρανσης με χρήση υπέρθερμου ατμού, τα δείγματα στα πρώτα λεπτά ξήρανσης απορροφούν μικρά ποσά υγρασίας από τον ατμό, φαινόμενο το οποίο οφείλεται σε συμπυκνώσεις όπου λαμβάνουν χώρα κατά την περίοδο θέρμανσης του υλικού (μέχρι το υλικό να φτάσει τη θερμοκρασία κορεσμού του ατμού δηλαδή τους 100°C). Το φαινόμενο αυτό διαπιστώθηκε και από άλλους ερευνητές κατά την ξήρανσης τροφίμων με χρήση υπέρθερμου ατμού [(Pronyk et al., 2004), (Iyota et al., 2001)]. Στο σχήμα 2 επιβεβαιώνεται η ύπαρξη του σημείου αντιστροφής, για ταχύτητα μάζας του μέσου ξήρανσης ίση με 1042 Kg/m^2 hr.

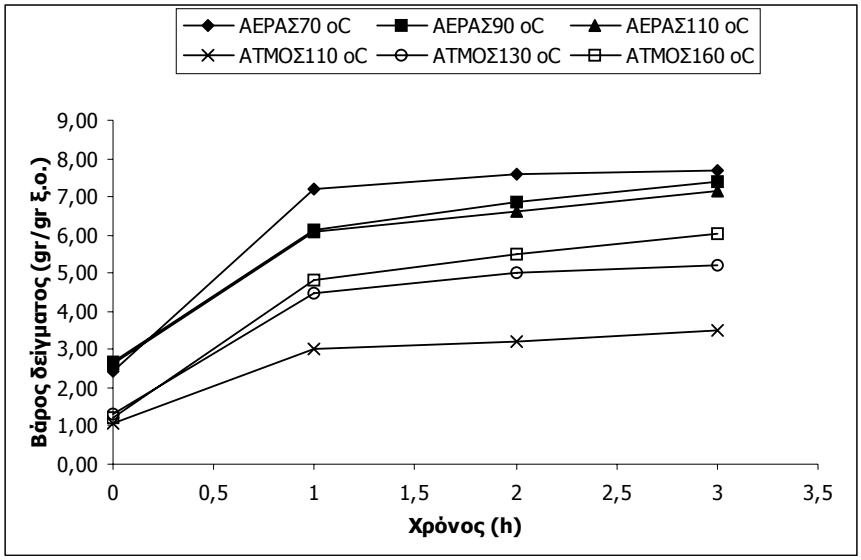


Σχήμα 2. Επίδραση της θερμοκρασίας του μέσου ξήρανσης στο συνολικό χρόνο ξήρανσης

Επίδραση των συνθηκών ξήρανσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υλικού:

Η ποιότητα των ξηραμένων μανιταριών συνδέεται άμεσα από την ικανότητα τους να προσροφούν υγρασία και από την μεταβολή του χρώματος τους.

Η ικανότητα προσρόφησης υγρασίας από το ξηραμένο υλικό αντικατοπτρίζει την καταστροφή των ινών του και τις αλλαγές στην δομή του, κατά την διάρκεια της ξήρανσης λόγω της μετακίνησης της υγρασίας από το εσωτερικό του υλικού καθώς και λόγω της θερμικής καταπόνησης (Yapar et al., 1990). Επίσης ένα ξηραμένο μανιτάρι, με υψηλή ικανότητα προσρόφησης υγρασίας, μπορεί να επανέλθει κοντά στην φυσική του κατάσταση, όταν βρεθεί σε υγρό περιβάλλον.



Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά ύγρανσης των ξηραμένων μανιταριών

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η ικανότητα των ξηραμένων μανιταριών να προσροφούν υγρασία συναρτήσει του χρόνου. Όπως φαίνεται από το σχήμα 3, τα δείγματα που προέρχονται από ξήρανση με χρήση θερμού αέρα προσροφούν περισσότερη υγρασία όσο η θερμοκρασία ξήρανσης αυξάνεται. Ενώ στην περίπτωση της ξήρανσης με χρήση υπέρθερμου ατμού λαμβάνει χώρα το αντίστροφο φαινόμενο.

Το ποσοστό μαυρίσματος του ξηραμένου μανιταριού σε συνάρτηση της θερμοκρασίας της διεργασίας και του μέσου ξήρανσης δίνεται στο σχήμα 4. Στην περίπτωση της ξήρανσης με χρήση θερμού αέρα, προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του μέσου ξήρανσης τόσο τα ξηραμένα μανιτάρια σκουραίνουν περισσότερο. Αντίθετα στην περίπτωση της ξήρανσης με χρήση υπέρθερμου ατμού προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του μέσου ξήρανσης τόσο λιγότερο τα ξηραμένα μανιτάρια σκουραίνουν. Επίσης από το σχήμα 4 προκύπτει ότι ο υπέρθερμος ατμός επιδρά αρνητικά σε ότι αφορά το χρώμα των μανιταριών.

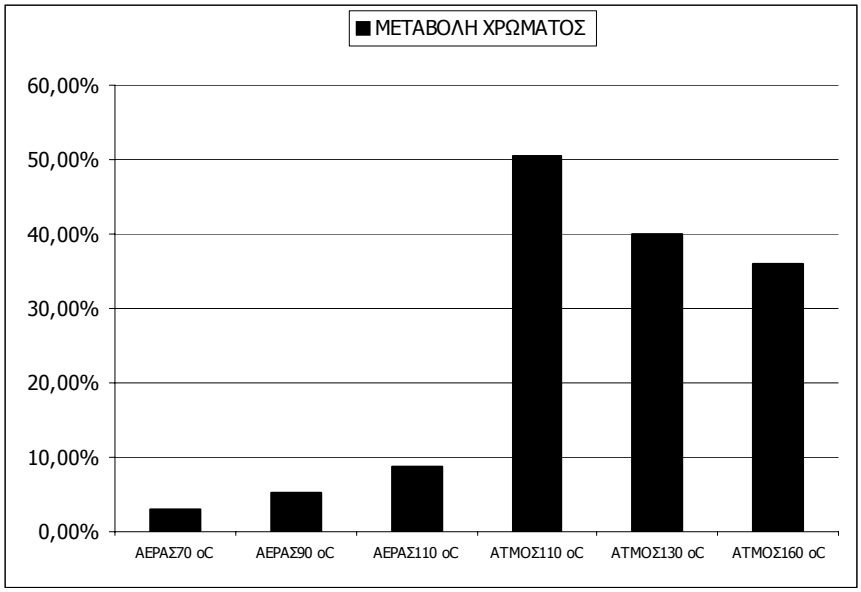
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ξήρανση με χρήση θερμού αέρα, για θερμοκρασίες μέχρι 157,5 ^{o}C (σημείο αντιστροφής), παρουσιάζει υψηλότερο ρυθμό ξήρανσης καθώς και μικρότερο συνολικό χρόνο ξήρανσης, σε σχέση με την ξήρανση με χρήση υπέρθερμου ατμού ως μέσο ξήρανσης. Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 157,5 ^{o}C το φαινόμενο αντιστρέφεται.

Το μοντέλο ξήρανσης με υπέρθερμο ατμό επιδέχεται αναλυτική επίλυση αντίθετα με αυτό του αέρα όπου επιλύεται μόνο με αριθμητικό τρόπο.

Όσο αυξάνει η θερμοκρασία ξήρανσης, στην περίπτωση της ξήρανσης με χρήση θερμού αέρα, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ξηραμένων μανιταριών υποβαθμίζονται, ενώ για ξήρανση με χρήση υπέρθερμου ατμού, το φαινόμενο είναι αντίστροφο.

Η ξήρανση με χρήση θερμού αέρα παράγει πιο ποιοτικό τελικό προϊόν, όσο αναφορά το μαύρισμα των μανιταριών και την ικανότητα προσρόφησης υγρασίας.



Σχήμα 4. Επίδραση της θερμοκρασίας στο χρώμα των ξηραμένων μανιταριών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Akritidis C.B. 1977. Drying – Storage of agricultural products, Thessaloniki Greece
2. Akritidis C.B., 1977. Mathematical analysis and solve of the deep-bed hay drying. D.Sc. Thesis, Thessaloniki Greece
3. Azzouz S., Jomaa W., Belghith A. 1998. Drying kinetic equation of single layer of grapes. Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS'98). Halkidiki, Greece. Vol. B, pp. 988-997.
4. Clark R.G., Lamond W.J. 1968. Forced air drying of herbage: effect of drying air conditions, J. Agric. Engng. Res. 13 (1) 19-26.
5. Conte S.B., De Boor C. 1972. Elementary numerical analysis: An Algorithmic approach, McGram – Hill Book Company (second edition)
6. Day C.L. 1964. Resistance of Hay to Air Flow. Research Bulletin 864. University of Missouri – Columbia, U.S.A.
7. Dexter S.T., Sheldom W.H., Waldran D.I. 1947, Equilibrium moisture content of alfalfa hay. Agric. Engng. (28) 295-296.
8. Hall C.W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. AVI Publ. Co.
9. Henderson J.M., Henderson S.M. 1968. A computation procedure for deep-bed drying analysis. J. Agric. Engng. Res. 13:87-95.
10. Iyota H., Nishimura N., Omuma, Nomura T., 2001. Drying of sliced raw potatoes in superheated steam and hot air, Drying Technology, Vol. 19, No 7, pp. 1411-1424
11. Komanowsky, M., Talley, F. B., and Eskew, R. K., 1970, Air drying of cultivated mushrooms, Food Technology, 24, pp. 1020-1024.

12. Mujumbar Arun S. and Pawan Kumar, 1990. Superheated steam drying: A state of the art survay. Drying of solids. pp. 33-71
13. O'Callaghan J.R.., Menzies D.J. and Bailey P.H., 1971. Digital simulation of agricultural drier performance, J. Agric. Engng Res. 16: 223-244
14. Pakowski Z. 1999. Impressions of IDS'98. Drying Technology, 17(6), 1247-1253.
15. Shedd C.K. 1953. Resistance of grains and seeds to air flow. Agric. Engng. 34: 616.
16. Pronyk C., Cenkowski S., Muir E. 2004. Drying foodstuffs with superheated steam, Drying Technology, Vol. 22, No. 5, pp. 809-916
17. Spencer H.B., 1969. A mathematical simulation of grain drying. J. Agric. Engng. Res. 14: 226-235.
18. Yapar S., Helvaci S.S., Peker S., 1990, Drying behaviour of mushrooms slices, Drying Technology, 8(1), 77-99

NOTATION

D	diffusion coefficient,	m^2/sec
H	enthalpy,	J/kg
h_c	convective heat transfer coefficient	$KJ\ m^{-2}\ K^{-1}\ s^{-1}$
L_z	thickness of mushrooms	m
P	vapor pressure,	$kg\ m\ sec^{-2}$
P_{at}	atmospheric pressure,	$kg\ m\ sec^{-2}$
P_o	the ambient air pressure,	$kg\ m\ sec^{-2}$
P_s	saturated vapor pressure	$kg\ m\ s^{-2}$
P_w	pressure of water vapor at saturation at wet-bulb temperature,	$kg\ m\ sec^{-2}$
Q	Amount of heat transferred per unit time,	W
S	control surface,	m^2
t	time,	s
T	air temperature,	^oC
T_w	dew point temperature,	^oC
T_s	temperature of the saturated air,	^oC
v_α	air velocity,	$m^3\ min^{-1}\ m^{-2}$
v_{ai}	mean air velocity,	$m^3\ min^{-1}\ m^{-2}$
X	moisture content, dry bases,	$kg\ kg^{-1}$
X*	equilibrium moisture content,	$kg\ kg^{-1}$
X_o	initial moisture content of the hay, dry bases,	$kg\ kg^{-1}$
z	length,	m
α	heat diffusivity,	m^2/sec
ρ_α	air density,	kg/m^3
ρ_m	product density,	kg/m^3
$\rho_{w\alpha}$	water density,	kg/m^3
V	volume,	m^3
Θ	dimensioless moisture ratio,	$(X-X^*)/(X_o-X^*)$
Φ.K.	wet basis,	gr/gr

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΛΕΜΟΝΙΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ "ΜΑΓΛΗΝΟ"

Α.-Μ. Βασιλάρου*, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Λαμπρινός***
* Γ.Π.Α. - Τμήμα Α.Φ.Π.&Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 - 11855, Αθήνα,
E-mail: refrigenergy@aua.gr, Fax: 210 5294032
** ΤΕΙ Καλαμάτας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, 24 100, Αντικάλαμος, Καλαμάτα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα έρευνα έχει ως στόχο την επί μακρόν συντήρηση λεμονιών ποικιλίας "μαγληνό" σε συσκευασίες πολυαιθυλενίου (MAP), μέσης πυκνότητας, πάχους 10 ή 20 μm και σε θερμοκρασία 10 ^{o}C ή στο περιβάλλον. Κατά τη συντήρηση των λεμονιών παρατηρείται μεταβολή της συγκέντρωσης των συσκευασιών σε O_2 και CO_2, η οποία παραμένει μέχρι το τέλος της συντήρησης (90^{η} ημέρα) σχετικά πλούσια σε O_2 και φτωχή σε CO_2. Η MAP έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της αύξησης της σκληρότητας, η δε απώλεια μάζας των δειγμάτων είναι έως και 8 φορές χαμηλότερη σε σχέση με το μάρτυρα. Οι μυκητολογικές προσβολές παρουσιάζονται μόνο στα συσκευασμένα λεμόνια.

EFFECT OF PACKAGING ON DEHYDRATION AND FIRMNESS OF PRESERVED LEMONS VAR. "MAGLINO"

A.-M. Vasilarou*, H. Manolopoulou, G. Lambrinos***
* Agronomic University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering
75, Iera Odos street – 11855 Greece
** TEI of Kalamata, Dept. of Crop production
24100 Antikalamos, Kalamata, Greece

ABSTRACT

Aim of this work was to study the storage of lemons var. *maglino* in medium density polyethylene packages (MAP) of 10 and 20 μm thickness and at 10°C and environmental temperature. During the storage of lemons, change in concentration of O_2 and CO_2 inside the packages was observed. The final stabilized atmosphere was until the end of storage (90th day) relatively rich in O_2 and poor in CO_2. The applied modified atmosphere packaging reduced the firmness increase and the fruit weight loss, which was up to 8 times less than in the unpackaged lemons. Fungal infections was observed only in packaged lemons.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα νωπά φυτικά προϊόντα, λόγω της αναπνοής τους, έχουν την ιδιότητα να μεταβάλλουν την σύνθεση της ατμόσφαιρας, όταν βρίσκονται εντός μίας πλαστικής συσκευασίας [1]. Οι συνθήκες, οι οποίες επικρατούν κατά την συντήρηση με τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Modified Atmosphere Packaging – MAP), οφείλουν να εξασφαλίζουν υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας, περιορισμό της αναπνοής, μέσω της χαμηλής θερμοκρασίας, της χαμηλότερης δυνατής περιεκτικότητας σε οξυγόνο και της υψηλότερης ανεκτής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα [2]. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η επιμήκυνση της εμπορικής ζωής, η βελτίωση της εμφάνισης και της ποιότητας λόγω αύξησης της συνεκτικότητας των καρπών [3,4].

Η συντήρηση των λεμονιών έχει ως κύριο σκοπό την μείωση της διαπνοής και της μικροβιακής ανάπτυξης [5]. Τα πράσινα λεμόνια, σε αντίθεση με τα κίτρινα, είναι ευαίσθητα στο ψύχος. Η συντήρησή τους λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία από 10 έως 14 ^{o}C, σχετική υγρασία 85 έως 90 % και δύναται να διαρκέσει από 1 έως 4 μήνες. Τα κίτρινα λεμόνια συντηρούνται στους 5 ^{o}C, με σχετική υγρασία 85-90 % για 2 έως 4 μήνες [6].

Η ποικιλία "μαγληνό" αποτελεί την βάση της λεμονοπαραγωγής της Ελλάδας καλύπτοντας το 63 % των φυτεμένων εκτάσεων με λεμονιές, για το έτος 2004. Το 85 % της παραγωγής της εν λόγω ποικιλίας προέρχεται από τους νομούς Κορινθίας και Αχαΐας (Υπουργείο γεωργίας, Τμήμα εσπεριδοειδών). Οι καρποί ποικιλίας "μαγληνό" είναι καλής ποιότητας, όμως δεν διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα και παρουσιάζουν προβλήματα κατά τη μεταφορά [7,8].

Η παρούσα έρευνα έχει ως στόχο την επί μακρόν συντήρηση λεμονιών ποικιλίας "μαγληνό" σε συσκευασίες πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας, πάχους 10 ή 20 μm και σε θερμοκρασία 10 ^{o}C ή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Δείγμα

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν λεμόνια, ποικιλίας "Μαγληνό", τα οποία προέρχονταν από το Ξυλόκαστρο του νομού Κορινθίας. Η λήψη των δειγμάτων, καθώς επίσης η μελέτη τους, έλαβαν χώρα επί δύο συνεχόμενα έτη. Η συλλογή των λεμονιών έγινε γύρω στα μέσα Μαρτίου κάθε έτους. Τα δείγματα, μία ημέρα μετά την άφιξή τους, υπέστησαν διαλογή και πλύσιμο με TBZ, ενώ δεν χρησιμοποιήθηκαν αντιδιαπνευστικές ουσίες (κηρός). Ακολούθησε την τρίτη ημέρα η συσκευασία των λεμονιών, ενώ την τέταρτη λήφθηκε η πρώτη μέτρηση.

Η συσκευασία των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια φιλμ πολυαιθυλενίου, μέσης πυκνότητας (920 kg/m^3), πάχους 10 ή 20 μm. Η περατότητα των πλαστικών, που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζεται στον πίνακα 1. Τα δείγματα στη συνέχεια συντηρήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή σε ψυγείο στους 10 ^{o}C. Στην περίπτωση εφαρμογής ψύξης, η διαδικασία της συσκευασίας ξεκίνησε με την τοποθέτηση τόσο των λεμονιών, όσο και των πλαστικών φιλμ εντός του θαλάμου, ώστε να αποκτήσουν πριν τη συσκευασία θερμοκρασία περίπου 10 ^{o}C. Οι συνθήκες εντός

του ψυκτικού θαλάμου ήταν 10 ^{o}C θερμοκρασία και 88 % σχετική υγρασία. Όσον αφορά τη συντήρηση στο περιβάλλον, οι συνθήκες στο χώρο της αποθήκευσης στην έναρξη της συντήρησης (τέλος Μαρτίου) ήταν 10 ^{o}C θερμοκρασία και 55 % σχετική υγρασία, ενώ στο τέλος της εμπορικής ζωής (αρχές Ιουλίου) οι συνθήκες ήταν αντίστοιχα 25 ^{o}C και 43 %. Ακολούθησε αεροστεγές σφράγισμα των συσκευασιών, οι οποίες περιλάμβαναν τέσσερα λεμόνια, με τη χρήση μηχανής θερμοσυγκόλλησης. Οι χειρισμοί του πειράματος παρουσιάζονται στον πίνακα 2 και οι παράμετροι, οι οποίοι μελετήθηκαν, αναπτύσσονται στις επόμενες παραγράφους.

Πίνακας 1. Περατότητα φιλμ πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας

Πάχος φιλμ (μm)	Αέριο	Περατότητα φιλμ (mL/m^2/day/bar) σε θερμοκρασία	
		0 ^{o}C	20 ^{o}C
10	O_2	17.700 ± 2.515	49.000 ± 2.190
	CO_2	97.080 ± 3.906	202.925 ± 17.240
20	O_2	8.110 ± 2.040	30.960 ± 1.930
	CO_2	53.180 ± 6.516	106.760 ± 9.650

Πίνακας 2. Κατηγορίες δειγμάτων

Έτος μελέτης	Πάχος πλαστικού συσκευασίας (πολυαιθυλένιο, μέσης πυκνότητας)	Συνθήκες συντήρησης	
		Θερμοκρασία περιβάλλοντος	Ψύξη (10 ^{o}C)
1°	Ασυσκεύαστος μάρτυρας	Μ-π1	Μ-ψ1
	Πάχος 10 μm	PEMD-10-π1	PEMD-10-ψ1
	Πάχος 20 μm	PEMD-20-π1	PEMD-20-ψ1
2°	Ασυσκεύαστος μάρτυρας	Μ-π2	Μ-ψ2
	Πάχος 10 μm	PEMD-10-π2	PEMD-10-ψ2
	Πάχος 20 μm	PEMD-20-π2	PEMD-20-ψ2

2.2. Σύνθεση ατμόσφαιρας συσκευασιών

Η εύρεση της % περιεκτικότητας των συσκευασιών σε O_2 και CO_2 επιτεύχθηκε με ανάλυση δειγμάτων από τις συσκευασίες, στις οποίες είχαν τοποθετηθεί σημεία λήψης (septa) σιλικόνης. Από τα σημεία αυτά λαμβανόταν με σύριγγα δείγμα αερίου 1 mL. Για την ανάλυση της συγκέντρωσης των αερίων δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε αέριος-χρωματογράφος Perkin Elmer 8700. Η δειγματοληψία αυτή λάμβανε χώρα κάθε δύο εβδομάδες, με εξαίρεση τις πρώτες 20 ημέρες από το σφράγισμα των συσκευασιών, περίοδο κατά την οποία η δειγματοληψία ήταν συχνότερη.

2.3. Απώλεια Μάζας

Τόσο ο μάρτυρας όσο και τα συσκευασμένα λεμόνια ζυγίζονταν κάθε εβδομάδα περίπου, από την έναρξη μέχρι το τέλος της συντήρησης, καθώς επίσης και στο τέλος της εμπορικής ζωής (άνοιγμα των συσκευασιών ή/και έξοδος από το ψυγείο). Για την μέτρηση της μάζας χρησιμοποιήθηκε αναλυτικός ζυγός FA-2000 της εταιρίας AND με ακρίβεια 0,01 g. Η % απώλεια μάζας προσδιορίστηκε από τη σχέση:

$$(M_0-M_t)/M_0 \times 100,$$

όπου M_0 η αρχική μάζα των λεμονιών στην έναρξη της συντήρησης και M_t η μάζα την ημέρα της δειγματοληψίας.

2.4. Σκληρότητα

Η μελέτη της σκληρότητας έγινε με Texture Analyzer της εταιρίας Food Technology Corporation U.S.A. και βασίστηκε στην παραμόρφωση των λεμονιών, στα οποία ασκήθηκε ορισμένο σταθερό βάρος για καθορισμένο χρονικό διάστημα [9]. Η μέτρηση της σκληρότητας λάμβανε χώρα κάθε 30 περίπου ημέρες κατά τη διάρκεια της συντήρησης έως το τέλος και της εμπορικής ζωής.

2.5. Μυκητολογικές Προσβολές

Η ανάπτυξη των μυκήτων στα συσκευασμένα ή μη λεμόνια παρατηρήθηκε μακροσκοπικά. Οι μετρήσεις αφορούν τον αριθμό των προσβεβλημένων δειγμάτων, κυρίως από μύκητες του γένους *Penicillium*.

2.6. Στατιστική Επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη μέθοδο της διακύμανσης (ANOVA) του προγράμματος statgraphics 2.1.

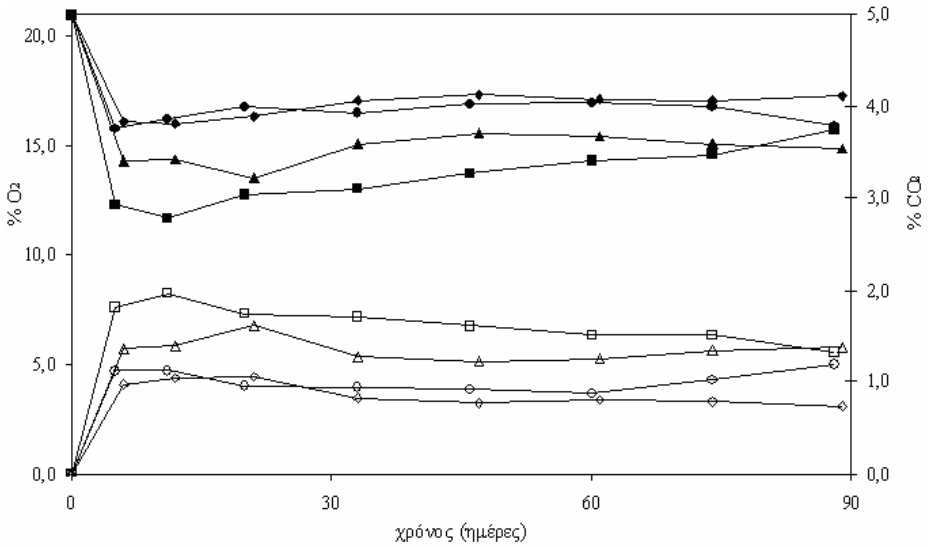
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ

3.1. Σύνθεση της Ατμόσφαιρας των Συσκευασιών

Η μεταβολή της περιεκτικότητας των αερίων κατά τη διάρκεια της συντήρησης ήταν μεγαλύτερη στις συσκευασίες πάχους 20 μm (PEMD-20). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στον περιορισμό των ανταλλαγών αερίων με την αύξηση του πάχους. Η σύνθεση της ατμόσφαιρας σταθεροποιείται γύρω στην 35^{η} ημέρα της συντήρησης. Η ατμόσφαιρα των συσκευασιών πολυαιθυλενίου μετά από τρεις μήνες συντήρησης παρέμεινε τελικά σχετικά πλούσια σε οξυγόνο και φτωχή σε διοξείδιο του άνθρακα (PEMD-10 16-17 % O_2 και 0,7-1,4 % CO_2, PEMD-20 15-16,5 % O_2 και 1,3-2 % CO_2), όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.

3.2. Απώλεια Μάζας

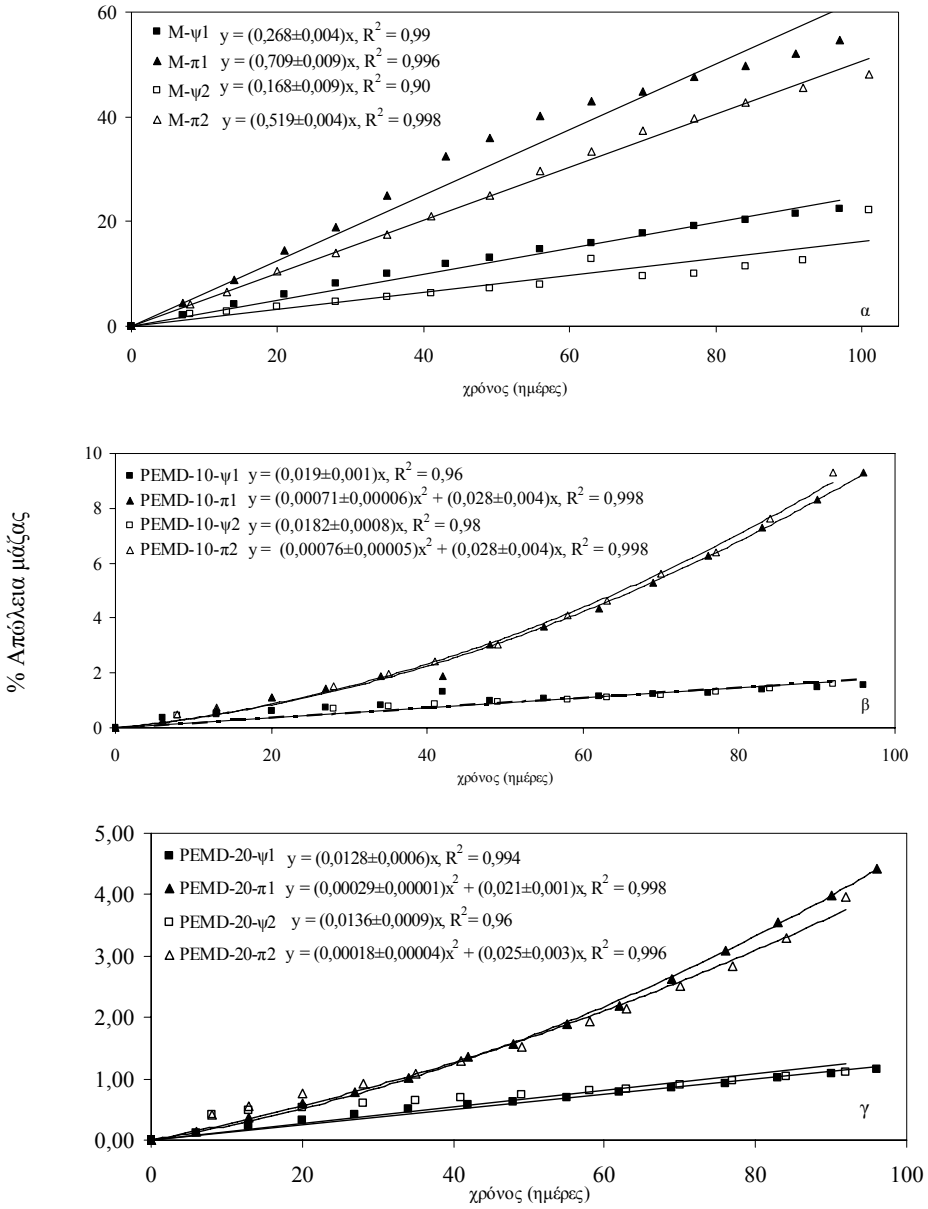
Η % απώλεια μάζας (% Α.Μ.) μελετήθηκε σε λεμόνια, τα οποία δεν είχαν υποστεί κέρωμα. Τα μη συσκευασμένα λεμόνια, μάρτυρας (Μ), παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες απώλειες καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης. Αντίθετα, τα συσκευασμένα λεμόνια διακρίνονται από μικρότερη % Α.Μ., η οποία είναι τόσο χαμηλότερη όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του φιλμ. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη δημιουργία κορεσμένης ατμόσφαιρας εντός των συσκευασιών, καθώς η περατότητα του πλαστικού στους υδρατμούς μειώνεται με την αύξηση του πάχους.



Σχήμα 1. Γραφική απεικόνιση της συγκέντρωσης οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της συντήρησης των δειγμάτων PEMD-10ψ1 (♦, ◊), PEMD-20ψ1 (▲, △), PEMD-10π1 (●, ○) και PEMD-20π1 (■, □).

Η % Α.Μ. είναι χαμηλότερη στα λεμόνια, τα οποία συντηρήθηκαν υπό ψύξη. Το φαινόμενο οφείλεται τόσο στον περιορισμό της εξάτμισης, όσο και στη μείωση της καύσης του αναπνευστικού υποστρώματος και της διαπνοής, η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας συντήρησης, όπως συμβαίνει και με την αναπνοή. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της % Α.Μ. κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της Α.Μ. στο τέλος της συντήρησης παρατηρείται:

- Η % Α.Μ. του μάρτυρα είναι τουλάχιστον εξαπλάσια (10 ^{o}C) ή οχταπλάσια (θερμοκρασία περιβάλλοντος) σε σχέση με τα συσκευασμένα δείγματα
- Η % Α.Μ. των PEMD-10 είναι περίπου κατά 30 % ή 100 % υψηλότερη από εκείνη των PEMD-20, στο ψυγείο και στο περιβάλλον αντίστοιχα
- Η % Α.Μ. των PEMD-10 που συντηρήθηκαν στο περιβάλλον είναι περίπου πενταπλάσια από αυτή των λεμονιών της ίδιας συσκευασίας που συντηρήθηκαν στο ψυγείο. Στην περίπτωση του πλαστικού PEMD πάχους 20 μm η αντίστοιχη διαφορά ήταν τριπλάσια
- Μεταξύ των δύο πειραματικών σειρών των συσκευασμένων δειγμάτων σε πλαστικό ίδιου πάχους, τα οποία συντηρήθηκαν σε ψυκτικό θάλαμο δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές στο τέλος της συντήρησης (επίπεδο σημαντικότητας α=0,05)



Σχήμα 2. Γραφική απεικόνιση και συσχετίσεις της % απώλειας μάζας λεμονιών ασυσκεύαστου μάρτυρα M (α), συσκευασμένων με πολυαιθυλένιο μέσης πυκνότητας (PEMD) πάχους 10 μm (β) ή 20 μm (γ) κατά τη διάρκεια της συντήρησης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (*π*) ή σε ψυκτικό θάλαμο με θερμοκρασία 10 ^{o}C (*ψ*) για δύο συνεχόμενα πειραματικά έτη (*1* ή *2*).

3.3. Σκληρότητα

Η παρατηρούμενη αύξηση της σκληρότητας του φλοιού των λεμονιών (πίνακας 3), οφείλεται κυρίως στην απώλεια υγρασίας και είναι τόσο πιο έντονη, όσο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλότερη. Η μεγαλύτερη αύξηση της σκληρότητας του φλοιού παρατηρείται σε ασυσκεύαστα λεμόνια, τα οποία συντηρούνται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η χρήση των συσκευασιών πολυαιθυλενίου έχει ως συνέπεια την μικρή μεταβολή της σκληρότητας των λεμονιών τόσο κατά τη διάρκεια της συντήρησης, όσο και κατά τη λήξη της εμπορικής ζωής. Μεταξύ των συσκευασμένων δειγμάτων δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τέλους συντήρησης και τέλους εμπορικής ζωής.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι σκληρότητας (σε N) των λεμονιών και αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης σε επίπεδο σημαντικότητας α=0,05, το πρώτο πειραματικό έτος.

Δείγμα	Χρόνος συντήρησης (ημέρες)			
	35	65	95*	102**
Μ-ψ	16,0α	18,5α,β	23,1β	22,0α
MDPE-10ψ	16,5α	17,3β,γ	13,8γ	17,1γ
MDPE-20ψ	18,9α	17,5β,γ	15,3β,γ	14,0γ
Μ-π	27,0β	23,4α	34,5α	37,2β
MDPE-10π	16,8α	15,5γ	15,0β,γ	16,3γ
MDPE-20π	19,6α	17,2β,γ	16,9β,γ	16,8γ
* τέλος συντήρησης, ** τέλος εμπορικής ζωής				
Οι διαφορετικοί ελληνικοί χαρακτήρες δίπλα στις τιμές της σκληρότητας παρουσιάζουν την ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς μεταξύ των χειρισμών του ίδιου πειραματικού έτους, για τον συγκεκριμένο χρόνο συντήρησης.				

3.4. Μυκητολογικές Προσβολές

Οι μυκητολογικές προσβολές του μάρτυρα στο τέλος της συντήρησης, τόσο στους 10 ^{o}C όσο και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ήταν μηδενικές για τα δύο έτη μελέτης. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να οφείλεται στην απώλεια υγρασίας του φλοιού των λεμονιών, η οποία είτε ενισχύει τη συνεκτικότητα, ιδιαίτερα για τα δείγματα που παρέμειναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, είτε μειώνει την ενεργότητα του νερού (α_w) του υποστρώματος. Τα συσκευασμένα λεμόνια σε πλαστικό πάχους 10 μm, τα οποία συντηρήθηκαν στο περιβάλλον παρουσίασαν τις περισσότερες προσβολές και τα δύο πειραματικά έτη. Οι αυξημένες μυκητολογικές προσβολές των συσκευασμένων λεμονιών, οφείλονται κατά μεγάλο ποσοστό σε επιμολύνσεις κοντά στα septa της σιλικόνης των συσκευασιών.

4. Συμπεράσματα

Κατά τη συντήρηση των λεμονιών με πλαστικές συσκευασίες η σύνθεση της ατμόσφαιρας σταθεροποιείται γύρω στην 35^{η} ημέρα της συντήρησης, παραμένοντας μετά από τρεις μήνες σχετικά πλούσια σε οξυγόνο και φτωχή σε διοξείδιο του άνθρακα. Η χρήση συσκευασιών περιορίζει την απώλεια μάζας έως και 8 φορές σε σχέση με το μάρτυρα. Η αύξηση του πάχους του φιλμ, όπως επίσης η εφαρμογή της ψύξης έχουν ως

αποτέλεσμα την μείωση της απώλειας. Η χρήση συσκευασιών πολυαιθυλενίου (ανεξαρτήτως πάχους) έχει ως συνέπεια την μικρή μεταβολή της σκληρότητας.

Η ανάπτυξη μυκήτων αποτρέπεται από την απουσία συσκευασίας, λόγω της χαμηλότερης σχετικής υγρασίας, σε σχέση με την ατμόσφαιρα των συσκευασμένων δειγμάτων. Η αυξημένη απώλεια υγρασίας, σε συνδυασμό με την αύξηση της συνεκτικότητας του φλοιού εμποδίζουν τις προσβολές. Η συντήρηση λεμονιών με ψύξη και πλαστικές συσκευασίες έχει ως συνέπεια τη διατήρηση της σχετικής υγρασίας σε υψηλά επίπεδα, τη μείωση της αναπνοής και κατ' επέκταση των αλλοιώσεων, την αύξηση της διάρκειας συντήρησης και της εμπορικής ζωής. Επιπλέον συμβάλει στη διατήρηση της ποιότητας και της καλής εμφάνισης των καρπών μέχρι 90 ημέρες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Thompson, A.K. *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. CAB International, Wallingford, 1998.
2. Jayas, D.S. & Jeyamkondan, S. "Modified Atmosphere Storage of Grains Meats Fruits and Vegetables", *Biosystems Engineering,* 82 (2002):235-251.
3. Zagory, D. "Advances In Modified Atmosphere Packaging (MAP) of Fresh Produce", *Perishables Handling Newsletter,* 90 (1997):2-4.
4. Phillips, C.A. "Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce", *International Journal of Food Science and Technology,* 31 (1996):463-479.
5. Davies, F.S. & Albrigo, L.G. *Citrus*. CAB International, Wllingford, 1994.
6. Χατζηδάκης, Σ., Λαμπρινός, Γ., Παππάς, Ι. & Πιστόλης, Κ. *Βιομηχανική ψύξη και βιομηχανία τροφίμων*. Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος Αθήνα, 1997.
7. Ποντίκης, Κ.Α. *Εσπεριδοειδή*. Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Αθήνα-Περαιάς, 1993.
8. Βασιλακάκη, Μ. & Θεριού, Ι. *Μαθήματα ειδικής δενδροκομίας - Εσπεριδοειδή*, 1η έκδοση. Εκδόσεις Γ. Δεδούση, Θεσσαλονίκη, 1996.
9. Abbott, J.A. "Quality measurement of fruits and vegetables", *Postharvest Biology and Technology,* 15 (1999):207-225.

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΟΛΥΔΥΝΑΜΟΥ ΨΥΓΕΙΟΥ

Ε. Χατζής*, Π. Ξένος – Κοκολέτσης*, και Γρ. Λαμπρινός*
*Γ.Π.Α., Τμήμα ΑΦΠ & ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11 855, Αθήνα
email: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να αναδείξει, την σημασία της σωστής λειτουργίας των μηχανών παραγωγής ψύξης μιας πολυδύναμης αστικής βιομηχανικής μονάδας ψυχροσυντήρησης της περιοχής των Αθηνών που χρησιμοποιεί ως ψυκτικό ρευστό την αμμωνία. Τα αποτελέσματα στα οποία καταλήξαμε εξήχθησαν από την ενεργειακή ανάλυση των ενθαλπικών διαγραμμάτων των δύο ανεξάρτητων κύκλων (συντήρησης και κατάψυξης) συμπίεσης της μονάδας, τόσο για το θέρος όσο και τον χειμώνα.

PRESENT OPERATIONAL CONDITION OF INDUSTRIAL COMMERCIAL COLD STORE

E. Chatzis*, P. Xenos - Kokoletsis*, and Gr. Lamprinos*
*Agronomic University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering
75, Iera Odos Str. – 118 55, Athens
e–mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

In this study, is analysed the importance of the rational operation of the refrigeration installation of an industrial cold storage plant in the area of Athens. This plant employs as coolant, ammonia (NH_3). Conclusions were drawn from the energy analysis of the pressure enthalpy diagrams of the two independent compression cycles (cold and frozen products storage) of this plant during summer and winter.

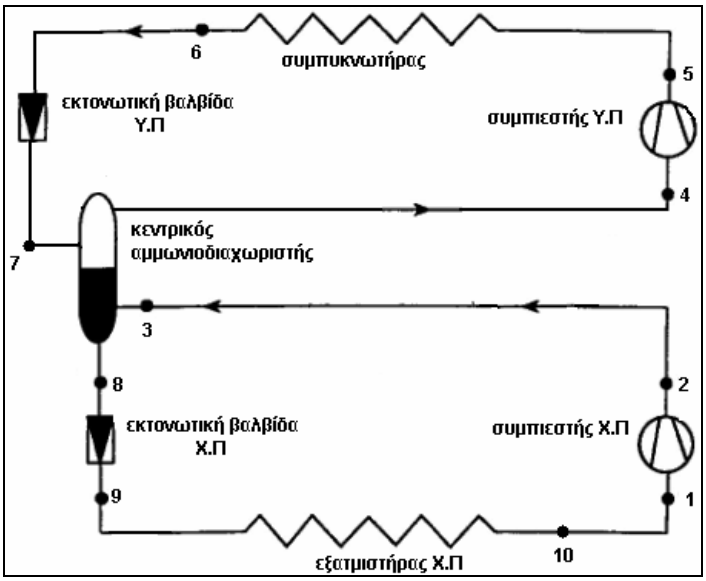
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιτυχία μιας βιομηχανικής ψυκτικής μονάδας εξαρτάται κυρίως από τον σωστό αρχικό σχεδιασμό της. Ο σχεδιασμός αυτός πρέπει να καθορίζει το μέγεθος και τον χαρακτήρα της μονάδας (αποθηκευτικός όγκος, κατανομή θαλάμων ψύξης/ κατάψυξης, εξοπλισμοί φορτοεκφόρτωσης/ στοίβαξης, διευκολύνσεις πρόσβασης εντός και εκτός του συγκροτήματος κ.α), τα οικονομικά δεδομένα και τις τεχνικοοικονομικά προσφορότερες λύσεις. Η οικονομική επιτυχία της μονάδας εξαρτάται κυρίως από την ισορροπία μεταξύ των οικονομικών βαρών απόσβεσης των επενδ. κεφαλαίων και των οικονομικών βαρών λειτουργίας της εκμετάλλευσης (εργασία + ενέργεια), όπου η τάση σήμερα είναι να περιορισθεί με διάφορους αυτοματισμούς το μέρος 'εργασία', που συνήθως αντιπροσωπεύει το 60 – 70%.
Είναι γνωστό ότι οι συνθήκες λειτουργίας πολλών από τις υφιστάμενες ψυκτικές εγκαταστάσεις στον Ελλαδικό χώρο, ιδιωτικές και συνεταιριστικές, ευρίσκεται είτε λόγω κακού σχεδιασμού και εξοπλισμού, είτε λόγω ηλικίας και πλημμελούς συντηρήσεως, σε αρκετά χαμηλό επίπεδο, με συνέπεια αφενός την όχι τόσο καλή συντήρηση του προϊόντος και αφετέρου την υψηλή κατανάλωση ενέργειας [8].
Στην εργασία αυτή εξετάζεται το ψυκτικό κύκλωμα, η λειτουργία κατά την διάρκεια του έτους καθώς και το πρόβλημα της κατανάλωσης ενέργειας μιας τέτοιας αστικής ψυκτικής μονάδας. Το πρόβλημα της ενέργειας εντοπίζεται κυρίως κατά την περίοδο του θέρους οπότε και τα θερμικά φορτία είναι αυξημένα. Το πρόβλημα αυτό είναι σημαντικό αν αναλογιστούμε ότι στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι μέχρι το 2020 να μειωθούν οι θερμικές απώλειες κατά 40-50% και η κατανάλωση ενέργειας από τις βιομηχανικές μονάδες ψύξης κατά 20-30% [7].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην υπό μελέτη ψυκτική εγκατάσταση στην οποία έχουμε τόσο θαλάμους συντήρησης (άνω των 0^oC) όσο και θαλάμους συντήρησης κατεψυγμένων προϊόντων (κάτω των 0^oC), (πολυδύναμο ψυγείο) [2], εφαρμόζεται η μέθοδος της διβάθμιας συμπίεσης ολικής έκχυσης, (Σχήμα 1).
Πρόκειται για ένα τυπικό πολυδύναμο αστικό ψυγείο που λειτουργεί με 80 θαλάμους συντήρησης αρνητικών και θετικών θερμοκρασιών στην οποία τα προϊόντα τα οποία διακινούνται υπολογίζονται περίπου 11.000 έως 13.000 τόνους ετησίως [9],.
Το ψυκτικό ρευστό το οποίο χρησιμοποιείται στην μονάδα είναι η αμμωνία (R717), που είναι και το σύνηθες για τέτοιου είδους εγκαταστάσεις, παρόλο το ότι η συγκεκριμένη εγκατάσταση βρίσκεται σε κατοικημένη περιοχή, και επομένως εγκυμονεί κινδύνους. Η αμμωνία αποτελεί ψυκτικό ρευστό με μεγάλη ειδική κατ΄όγκο ψυκτική παραγωγή που σημαίνει ότι σε σχέση με άλλα ψυκτικά ρευστά, για το ίδιο αποτέλεσμα απαιτείται μικρότερος συμπιεστής [1, 4, 5, 6].
Η λειτουργία της συγκεκριμένης μονάδας εξασφαλίζεται με δύο κοχλιωτούς συμπιεστές οκτώ παλινδρομικούς, πέντε αμμωνιοδιαχωριστές (τρεις για το κύκλωμα του χαμηλού επιπέδου συμπίεσης Χ.Π και δύο για το κύκλωμα του υψηλού Υ.Π), ενός συλλέκτη υγρού, δύο εξατμιστικούς συμπυκνωτήρες, διαφόρων τύπων εξατμιστήρες (εξατμιστήρες υγρής εκτόνωσης φυσικής κυκλοφορίας και αεροψυκτήρες ξηράς ή υγρής εκτόνωσης) καθώς και με διάφορων τύπους εκτονωτικών βαλβίδων (χειροκίνητες, εκτονωτικές βαλβίδες με πλωτήρα, αυτόματες και θερμοστατικές) [9].

Το σύστημα παρουσιάζει μεγάλη πολυπλοκότητα που οφείλεται κυρίως στην παλαιότητα του και στις κατά καιρούς επεκτάσεις που έχουν γίνει. Η εγκατάσταση αυτή, όπως και άλλες, εξακολουθεί να λειτουργεί, λόγω της υφιστάμενης έλλειψης σε ψυκτικούς χώρους της περιοχής Αθηνών – Πειραιώς [8].



Σχήμα 1. Υπόδειγμα του διβάθμιου κυκλώματος της αμμωνίας στην υπό μελέτη ψυκτική εγκατάσταση

Στη βαθμίδα χαμηλής πίεσης μια ομάδα συμπιεστών της εγκατάστασης αναρροφούν το ψυκτικό αέριο των αμμωνιοδιαχωριστών όπου καταλήγουν οι εξατμιστήρες (ατμοποιητές) της εγκατάστασης και το οδηγούν στη συνέχεια στον κεντρικό αμμωνιοδιαχωριστή ενδιάμεσης πίεσης.

Στην βαθμίδα υψηλής πίεσης οι συμπιεστές επανασυμπιέζουν το ψυκτικό αέριο που συσσωρεύεται στον κεντρικό αμμωνιοδιαχωριστή μέχρι την πίεση συμπύκνωσης.

Η υγρή αμμωνία εξέρχεται από ους εξατμιστικούς συμπυκνωτήρες της μονάδας υπόψυκτη και αποθηκεύεται στον συλλέκτη. Από εκεί με την βοήθεια πλωτήρων και των αντίστοιχων εκτονωτικών βαλβίδων, η υγρή αμμωνία καταλήγει στον κεντρικό αμμωνιοδιαχωριστή.

Από τον πυθμένα του κεντρικού αμμωνιοδιαχωριστή με την βοήθεια γραναζωτών αντλιών η υγρή αμμωνία καταθλίβεται στο υψηλότερο σημείο της εγκατάστασης (ταράτσα κτιρίου) όπου υπάρχουν διανομείς για να οδηγηθεί με βαρύτητα στους ατμοποιητές ή εξατμιστήρες οροφής φυσικής κυκλοφορίας.

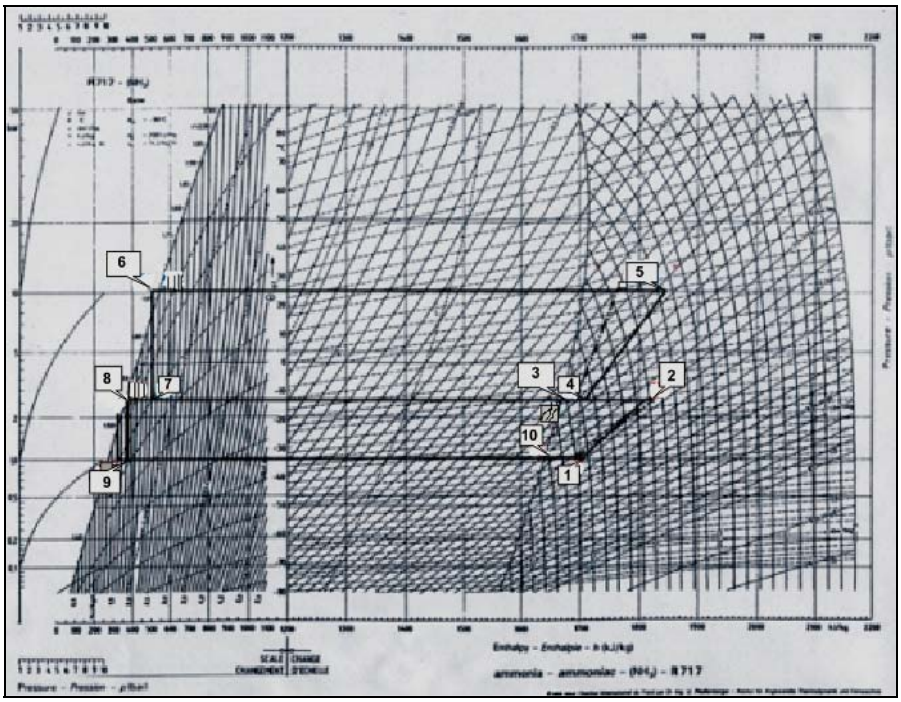
Η αμμωνία μετά από τους ατμοποιητές (υγρής ή ξηράς εκτόνωσης) καταλήγει πάντοτε σε μικρού ή μεγάλου μεγέθους αμμωνιοδιαχωριστές, από το άνω μέρος των οποίων αναρροφούν την αέρια αμμωνία οι συμπιεστές χαμηλού επιπέδου συμπίεσης.

Στον κύκλο συντήρησης θετικών θερμοκρασιών συμμετείχαν ένας συμπιεστής κοχλιωτού τύπου ισχύος 523 KW, και τρεις παλινδρομικοί συμπιεστές ισχύος 319 KW ενώ στον κύκλο συντήρησης κατεψυγμένων ένας συμπιεστής κοχλιωτού τύπου ισχύος 614 KW και τρεις παλινδρομικοί συμπιεστές ισχύος 194 KW.

Για τους υπολογισμούς των κύκλων και των αποδόσεων πραγματοποιήθηκαν επί τόπου μετρήσεις πιέσεων και θερμοκρασιών τον Χειμώνα (26-28/2/2002) και το θέρος (25-26/2002) τόσο με φορητά όσο και με καταγραφικά όργανα ακριβείας 0,5 bar και 1°C αντίστοιχα. Οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κατάλληλες θέσεις του κυκλώματος της αμμωνίας στην εγκατάσταση της μονάδας [9].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Τα αποτελέσματα μετρήσεων των πιέσεων και θερμοκρασιών λειτουργίας της ψυκτικής εγκατάστασης, τόσο κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου του χειμώνα, όσο και της θερμής του θέρους μας οδήγησαν στον προσδιορισμό του θερμοδυναμικού κύκλου. Το διβάθμιο κύκλωμα της αμμωνίας το οποίο παρουσιάζεται στο ενθαλπικό διάγραμμα του σχήματος 2 είναι ενδεικτικό της περιόδου του χειμώνα.



Σχήμα 2. Ενδεικτικό ενθαλπικό διάγραμμα λειτουργίας της ψυκτικής εγκατάστασης

Από τα ενθαλπικά διαγράμματα στα οποία καταλήξαμε από τις μετρούμενες τιμές πιέσεων και θερμοκρασιών λειτουργίας της ψυκτικής μονάδας κατά την περίοδο του χειμώνα και του θέρους, προκύπτουν οι πίνακες 1 (περίοδος θέρους) και 2 (περίοδος χειμώνα) στους οποίους παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες (Θ) , οι πιέσεις (P) αναρρόφησης και κατάθλιψης καθώς και οι τιμές της ειδικής ενθαλπίας που αντιστοιχούν σε κάθε σημείο του ενθαλπικού διαγράμματος αλλά και του κυκλώματος της αμμωνίας του σχήματος 1.
Μετά από επεξεργασία των δεδομένων των παραπάνω πινάκων καταλήγουμε τελικά στον πίνακα 3 όπου παρουσιάζονται η ψυκτική ισχύς, η απορροφούμενη μηχανική

ισχύς καθώς και οι συντελεστές συμπεριφοράς COP των συμπιεστών για κάθε επίπεδο λειτουργίας και περίοδο μελέτης της ψυκτικής εγκατάστασης.

Πίνακας 1. Στοιχεία κύκλου συντήρησης προϊόντων κατά την περίοδο του θέρους

Σημείο κύκλου	ΘΕΡΟΣ Χ.Π				
	Θ ^{o}C		P (bars)	h (Kj / kg)	
	Κοχλιωτός	Παλινδρομικοί		Κοχλιωτός	Παλινδρομικοί
1	-15	-25	1,6	1690	1670
2	55	58	3	1820	1820
8	-3	-3	3	350	350
9	-25	-26	1,6	350	350
10	-25	-26	1,6	1640	1640
Σημείο κύκλου	ΘΕΡΟΣ Υ.Π				
	Θ ^{o}C		P (bars)	h (Kj / kg)	
	Κοχλιωτός	Παλινδρομικοί		Κοχλιωτός	Παλινδρομικοί
4	-1	-8	2,9	1700	1690
5	40	85	11,56	1750	1850
6	29	29	11,56	500	500
7	-3	-3	2,9	500	500
3	-3	-3	2,9	1670	1670

Πίνακας 2. Στοιχεία κύκλου συντήρησης προϊόντων κατά την περίοδο του χειμώνα

Σημείο κύκλου	ΧΕΙΜΩΝΑΣ Χ.Π				
	Θ ^{o}C		P (bars)	h (Kj / kg)	
	Κοχλιωτός	Παλινδρομικοί		Κοχλιωτός	Παλινδρομικοί
1	-10	-5	1	1690	1710
2	53,5	45	3	1830	1810
8	-10	-10	3	300	300
9	-33	-33	1	300	300
10	-33	-33	1	1640	1640
Σημείο κύκλου	ΧΕΙΜΩΝΑΣ Υ.Π				
	Κοχλιωτός	Παλινδρομικοί		Κοχλιωτός	Παλινδρομικοί
4	-1,3	1	3	1700	1710
5	46,8	75	10	1770	1850
6	22	22	10	500	500
7	-10	-10	3	500	500
3	-10	-10	3	1640	1640

Τα αποτελέσματα των πινάκων 1, 2 και 3 ο οποίος ακολουθεί καθώς και ο τρόπος λειτουργίας της ψυκτικής εγκατάστασης μας οδηγούν στις εξής παρατηρήσεις:

1. Η μονάδα λειτουργεί με πολλούς αμμωνιοδιαχωριστές και κατά την γνώμη μας κακώς, διότι έτσι το σύστημα περιπλέκεται με πολλά σημεία ελέγχου και διευκολύνονται οι διαρροές από τις μεγάλου μήκους σωληνώσεις και τα πολλαπλά σημεία συνδέσεων. Επίσης επιβαρύνεται έτσι η κατανάλωση ενέργειας, διότι συμμετέχει για την λειτουργία κάθε επιπέδου μεγάλος

αριθμός αντλιών αμμωνίας. Η μονάδα θα έπρεπε να λειτουργεί με έναν μόνο κεντρικό αμμωνιοδιαχωριστή. Τέλος στην περίπτωση που όλοι οι εξατμιστήρες ήταν ξηράς εκτόνωσης οι αμμωνιοδιαχωριστές θα μπορούσαν να περιοριστούν σε ένα και μόνο, τον κεντρικό.

Πίνακας 3. Ψυκτική ισχύς, καταναλισκόμενη ισχύς και συντελεστές συμπεριφοράς COP κατά τον Χειμώνα και το Θέρος

Επίπεδο θετικών θερμοκρασιών συντήρησης Υ.Π						
Τύπος συμπιεστή	ΧΕΙΜΩΝΑΣ			ΘΕΡΟΣ		
	Ψυκτική Ισχύς KW	Απορ. Ισχύς KW	COP	Ψυκτική Ισχύς KW	Απορ. Ισχύς KW	COP
Κοχλιωτός	523	90	11,5	523	66	8
Παλινδρομικοί	348	60	5,8	737	148	4,9
Επίπεδο αρνητικών θερμοκρασιών συντήρησης Χ.Π						
Κοχλιωτός	614	89	6,9	614	93	6,6
Παλινδρομικοί	428	45	9,5	812	123	6,6

2. Η ενδιάμεση πίεση των αμμωνιοδιαχωριστών της συντήρησης, την θερινή περίοδο υστερεί κατά 1,5 bar της ιδανικής, η οποία είναι Pi=$\sqrt{Pc.Pe}$ = 4,4 bar όπου Pc είναι η πίεση συμπύκνωσης και Pe η πίεση εξάτμισης στο χαμηλό επίπεδο συμπίεσης. Αποτέλεσμα της λειτουργίας της μονάδας με την ορθή ενδιάμεση πίεση (4,4 bar), θα ήταν η καλύτερη απόδοση του επιπέδου υψηλής πίεσης από το οποίο έτσι και αλλιώς εξαρτάται πλήρως το επίπεδο της χαμηλής πίεσης.
3. Η εκκίνηση των συμπιεστών γίνεται πάντα υπό φορτίο, με αποτέλεσμα την σπατάλη ενέργειας. Το πρόβλημα δεν θα υπήρχε με χρήση βαλβίδων επικοινωνίας αναρρόφησης/κατάθλιψης κατά την εκκίνηση [3].
4. Συγκρίνοντας την ψυκτική συμπεριφορά κοχλιωτών και παλινδρομικών συμπιεστών διαπιστώνουμε ότι στο χαμηλό επίπεδο συμπίεσης (κατάψυξη) ο κοχλιωτός δεν διαφοροποιείται από τους παλινδρομικούς, ενώ στο υψηλό επίπεδο συμπίεσης ο κοχλιωτός παρουσιάζει σχεδόν διπλάσιο συντελεστή συμπεριφοράς το θέρος.
5. Η κατανάλωση του συγκροτήματος των συμπιεστών καλύπτει από το 46% (Χειμώνα) έως 54% (Καλοκαίρι) της συνολικής κατανάλωσης ρεύματος της επιχείρησης. Αυτό εξάγεται από σύγκριση των λογαριασμών της ΔΕΗ με την υπολογιζόμενη κατανάλωση από τους εποχιακούς θερμοδυναμικούς κύκλους.
6. Η παρατηρούμενη, κατά το θέρος αύξηση της κατανάλωσης του συγκροτήματος των συμπιεστών οφείλεται στην μείωση του συντελεστή συμπεριφοράς του κύκλου και στην αύξηση των ωρών λειτουργίας. Η επιπλέον κατανάλωση που παρατηρείται στις υπόλοιπες πηγές κατανάλωσης ενέργειας οφείλεται κυρίως στην αύξηση των ωρών λειτουργίας των αεροψυκτήρων και των συμπυκνωτήρων.
7. Με τον τρόπο που ελέγχεται η κατανάλωση ενέργειας στην μελετηθείσα μονάδα (καταγραφή της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολο μόνο της εταιρίας) δεν είναι δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας και η μείωση του κόστους λειτουργίας. Πρέπει να παρεμβληθούν

μετρητές / καταγραφείς για κάθε ομάδα μηχανημάτων π.χ συμπιεστών παλινδρομικών και κοχλιωτών κάθε κυκλώματος ψύξης, συμπυκνωτήρων, εξατμιστήρων κάθε κυκλώματος, φωτισμού, σημείων φόρτισης φορτοεκφορτωτικών μηχανημάτων (clarks), συστημάτων αποπάγωσης κ.λ.π. Παράλληλα θα πρέπει να ελέγχεται συστηματικά ο χρόνος ανοίγματος και κλεισίματος των θυρών, και να γίνεται συστηματικότερη καταγραφή των συνθηκών εντός των θαλάμων. Πάντως πιστεύουμε ότι μετά από έλεγχο και καταγραφή όλων των πηγών κατανάλωσης ενέργειας είναι δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας σε σημαντικό ποσοστό, εξοικονόμηση η οποία θα μεταφράζεται σε 15-20000 €.

8. Η θέση της μονάδας, όπως συμβαίνει και με τα περισσότερα αστικά ψυγεία, (βιομηχανική μονάδα όχλησης Γ΄ κατηγορίας) μέσα σε μια πυκνοκατοικημένη πλέον περιοχή δεν είναι επιτρεπτή, ούτε υπάρχουν προοπτικές απομάκρυνσής της στο άμεσο μέλλον. Αποφεύγουμε τους επιπλέον σχολιασμούς σχετικά με τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν, διότι δεν τηρούνται ούτε εθνικοί ούτε διεθνείς σχετικοί κανονισμοί.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Πρόκειται για ένα αστικό ψυγείο που κατασκευάστηκε και επεκτάθηκε σε πολλές φάσεις από το 1955 ως σήμερα, χωρίς κανένα προγραμματισμό και αρχική μελέτη πρόβλεψης.
2. Διαθέτει ένα διπατωμικό κυκλώματα λειτουργίας για συντήρηση νωπών και κατεψυγμένων το οποίο, κακώς είναι περίπλοκο με πολλούς αμμωνιοδιαχωριστές.
3. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα αξιόπιστα στοιχεία (αρχεία) για τον μηχανολογικό εξοπλισμό της μονάδος και την κατανάλωση ενέργειας.
   Η ανυπαρξία επιμέρους ελέγχου λειτουργίας αλλά και συστηματικού ελέγχου του συνόλου της μονάδας, δεν επιτρέπουν την ορθή και οικονομική της λειτουργία.
4. Ωστόσο υπάρχουν δυνατότητες καλύτερου ελέγχου, ώστε να βελτιωθεί η λειτουργία της μονάδας με παράλληλη εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του κόστους λειτουργίας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Anon 2001. Ammonia Refrigeration in Werehouses. Safety and Health Department. International Brotherhood of Teamsters. Washington
Website: http://www.teamster.org/resources/sh/factsheets/ammonia.pdf

[2] Βαμβακάς Χ. 1985. Η ψυκτική άλυσος και οι εφαρμογές της στην Ελλάδα. Πρακτικά επιστημονικού διημέρου. Η Τεχνητή ψύξη στην Υπηρεσία του Ανθρώπου. Ελληνογαλλικός Επιστημονικός και Τεχνικός Σύνδεσμος. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών. Αθήνα. 5-6 Δεκεμβρίου 1985. 37-44.

[3] Buzelin L.. Amico S.. Vargas J.. Parise J. 2005. Experimental development of an intelligent refrigeration system. *International Journal of Refrigeration* (28). 165-175

[4] Dossat J. R. 1991. *Principles of Refrigeration.* Wiley Eastern Limited. 2nd edition. Texas

[5] Korfitsen A. Kristensen E. 1998. Ammonia high pressure heat pumps in food refrigeration applications. *Int. J. Refrig.*. Vol. 21. No. 3. 212-218
[6] Σωτηρόπουλος Α. Β. 1986. *Στοιχεία Βιομηχανικής Ψύξης*. Εκδ. Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη

[7] Χαριτωνίδης Ν. 2004. Λοιποί παράγοντες που αυξάνουν το ενεργειακό κόστος στα ψυγεία. Ελληνική Ένωση Βιομηχανιών Ψύξεως. Ενημερωτικό Δελτίο Νο 5
[8] Χατζηδάκης Σ.. Λαμπρινός Γρ.. Παππάς Ι. & Πιστόλης Κ.. 1997. *Βιομηχανική Ψύξη και Βιομηχανία Τροφίμων*. Εκδ. ΤΕΕ. Αθήνα. p. 72
[9] Χατζής Λ. 2003. *Μελέτη της Υφιστάμενης Κατάστασης του Ψυκτικού Εξοπλισμού και της Λειτουργίας Αστικού Ψυγείου* 'ΑΤΤΙΚΗ'. Πτυχιακή Μελέτη. Γ.Π.Α. Αθήνα

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΡΕΠΤΟΥ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ

Μ. Ρήγκου, Δ. Μητρόπουλος, Π. Πατεράκη, Γ. Λαμπρινός
Γ.Π.Α., Τμήμα Α.Φ.Π.&Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα. Τηλ.: 2105294035
E-mail: refrigenergy@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή επιχειρήθηκε η μελέτη της αφυδάτωσης, της απορρόφησης νερού και της αναπνευστικής δραστηριότητας δρεπτών τριαντάφυλλων κατά την διάρκεια συντήρησής τους σε υγρό περιβάλλον κάτω από έξι διαφορετικούς χειρισμούς στους 0°C και 10°C. Η συντήρηση σε διάλυμα Chrysal στους 0°C διήρκησε 40 περίπου μέρες. Τα τριαντάφυλλα που συντηρήθηκαν με διάλυμα Chrysal παρουσίασαν την μικρότερη αφυδάτωση και τον μεγαλύτερο ρυθμό απορρόφησης διαλύματος. Η τακτική ανανέωση της τομής δυσχέρανε την απορρόφηση διαλύματος από τα λουλούδια και επέτεινε την αφυδάτωση.

CONTRIBUTION TO THE STORAGE OF CUT ROSES

M. Rigou, D. Mitropoulos, P. Pateraki and G. Lambrinos
Agricultural University of Athens, Department of Agricultural Engineering
75 Iera Odos street, 11855, Athens, Greece
E-mail: refrigenergy@aua.gr

ABSTRACT

This work underlies the study of dehydration, water absorption and respiration of cut roses during their vase life. During this storage, six different treatments in two different storage temperatures 0°C and 10°C were studied. The experiments revealed that preserving cut roses in *Chrysal* solution at 0°C extended their storage up to 40 days. Roses, treated by *Chrysal* solution exhibited the least dehydration and the maximum solution uptake. Recutting roses stem, made difficult solution's absorption and enhanced their dehydration.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τριαντάφυλλα, όπως και όλα τα λουλούδια, παραμένουν ζωντανοί βιολογικά οργανισμοί και μετά τη συγκομιδή τους επέρχεται αργά ή γρήγορα φθορά. Η ανάγκη για διατήρηση της ποιότητας και για αύξηση της μετασυλλεκτικής ζωής των λουλουδιών, ώστε να επιμηκυνθεί η περίοδος διάθεσής τους στην αγορά και να μειωθούν οι οικονομικές απώλειες για τους παραγωγούς και τους εμπόρους, καθιστά την συντήρηση των λουλουδιών απαραίτητη [4] [6].
Μετά την αποκοπή τους από το φυτό, τα λουλούδια δεν μπορούν πλέον να τροφοδοτούνται με νερό από το ριζικό σύστημα. Οι απώλειες υγρασίας όμως από τα φύλλα και τα άνθη συνεχίζονται. Εκτός από την απώλεια νερού, τα άνθη μετά την κοπή τους υφίστανται και συνεχή απώλεια ενέργειας. Η αναπνοή τους συνεχίζεται, αλλά η φωτοσύνθεση κατά κανόνα σταματάει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα στομάτια των φύλλων που φέρονται στο ανθικό στέλεχος κλείνουν για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες υγρασίας με συνέπεια να ελαχιστοποιείται η είσοδος του διοξειδίου του άνθρακα στο μεσόφυλλο. Επιπλέον τα λουλούδια μετά την κοπή τους μεταφέρονται σε σκιερά μέρη για να προστατευθούν από τις απώλειες υγρασίας και έτσι δεν υπάρχει επαρκής φωτισμός για φωτοσύνθεση. Η συντήρηση επομένως πρέπει να επικεντρωθεί στην ελαχιστοποίηση των απωλειών της υγρασίας και τον περιορισμό του ρυθμού αναπνοής στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο [5].
Μέχρι σήμερα η βιβλιογραφία στον τομέα της συντήρησης δρεπτών ανθέων είναι περιορισμένη και αναφέρει ότι η θερμοκρασία συντήρησης είναι κοντά στους 0°C, εδικά για τα τριαντάφυλλα μεταξύ 0°C και 2°C, με σκοπό την μείωση του ρυθμού αναπνοής. Για την μείωση των απωλειών υγρασίας, η σχετική υγρασία στη συντήρηση συστήνεται γύρω στα 90-95%, εκτός αν τα λουλούδια είναι πακεταρισμένα ερμητικά σε κουτιά ή σακούλες πολυαιθυλενίου [4]. Το περιβάλλον συντήρησης δρεπτών ανθέων μπορεί να είναι είτε υγρό είτε ξηρό. Η συντήρηση σε υγρό περιβάλλον προϋποθέτει την τοποθέτηση των λουλουδιών σε δοχεία με νερό. Στο νερό προστίθενται συνήθως διάφορες ουσίες που παρατείνουν το χρόνο ζωής τους [6]. Όταν τα άνθη συντηρούνται σε ξηρό περιβάλλον, τοποθετούνται μέσα στο ψυγείο σε κλειστά κιβώτια, τα οποία είναι κατασκευασμένα με υλικά που ελαχιστοποιούν την ανταλλαγή αερίων μεταξύ του εσωτερικού τους και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Με αυτόν τον τρόπο η σχετική υγρασία μέσα σε αυτά πλησιάζει το 100% και η αναλογία CO_2/O_2 αυξάνεται, λόγω της λειτουργίας της αναπνοής, με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση αναπνοής και διαπνοής των ανθέων [5].
Εντοπίζοντας τα σημαντικότερα προβλήματα στη συντήρηση των κομμένων λουλουδιών, που είναι η απώλεια υγρασίας και ενέργειας, επιχειρήθηκε η μελέτη της αφυδάτωσης των τριαντάφυλλων, της απορρόφησης του νερού και της αναπνευστικής τους δραστηριότητας κατά την διάρκεια συντήρησής τους σε υγρό περιβάλλον. Οι θερμοκρασίες συντήρησης που επιλέχθηκαν για αυτή τη μελέτη ήταν οι 0°C σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και οι 10°C που είναι πιο κοντά σε θερμοκρασία κλιματιζόμενου δωματίου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα περιλάμβανε δυο σειρές τριαντάφυλλων που ανήκαν στην ποικιλία *nobles* του γένους Rosa της οικογένειας rosaceae. Τα τριαντάφυλλα, προελεύσεως Μαραθώνα, συλλέχθηκαν στο στάδιο του μπουμπουκιού από τον παραγωγό και μετά την κοπή τους

τοποθετήθηκαν στους 5°C μέσα σε διάλυμα Chrysal (εμπορικά διαθέσιμη τροφή για λουλούδια) για 24 ώρες. Μετά την άφιξη στο εργαστήριο τα τριαντάφυλλα χωρίστηκαν και τα μισά τοποθετήθηκαν σε ψυκτικό θάλαμο των 0°C, ενώ τα άλλα μισά σε ψυκτικό θάλαμο των 10°C. Ο βλαστός κάθε λουλουδιού κόπηκε σε απόσταση 3cm περίπου από το κατώτατο σημείο του για να ανανεωθεί η τομή.

Η συντήρηση των τριαντάφυλλων σε υγρό περιβάλλον και σε κάθε έναν από τους δυο ψυκτικούς θαλάμους έγινε με έξι διαφορετικούς χειρισμούς, που συνδυάζουν αφ' ενός τη διατροφή τους (διαφορετικά διαλύματα στα βάζα) και αφετέρου την ανανέωση της τομής του βλαστού σε τακτά χρονικά διαστήματα ή όχι (Πίνακας 1). Πιο αναλυτικά τα τριαντάφυλλα χωρίστηκαν σε έξι ισάριθμες ομάδες των 9 τεμαχίων. Δύο ομάδες τοποθετήθηκαν σε βαζάκια με διάλυμα Chrysal (10g Chrysal/l απιονισμένου νερού) για παροχή τροφής και προστασία από βακτήρια, δύο ομάδες σε διάλυμα ζάχαρης (10g ζάχαρης/1l απιονισμένου νερού) για παροχή τροφής χωρίς προστασία από βακτήρια και δυο ομάδες σε καθαρό απιονισμένο νερό. Από κάθε ζευγάρι ομάδων, στην μια ομάδα γινόταν ανανέωση της τομής του βλαστού ανά 4-5 ημέρες για απομάκρυνση τυχόν βακτηρίων που συγκεντρώνονται στο σημείο αυτό του βλαστού, ενώ στην άλλη δεν γινόταν καθόλου ανανέωση της τομής του βλαστού. Κάθε λουλούδι είχε το δικό του βάζο που ήταν ένας πλαστικός διαφανής ογκομετρικός κύλινδρος.

Πίνακας 1. Διάφοροι χειρισμοί των ομάδων τριαντάφυλλου που συντηρήθηκαν στους 0°C και 10°C

Χειρισμός τομής / **Χειρισμός διατροφής**	**Ανανέωση τομής ανά 4-5 μέρες**	**Όχι ανανέωση τομής**
Διάλυμα Chrysal	ΟΜΑΔΑ 1	ΟΜΑΔΑ 2
Διάλυμα Ζάχαρης	ΟΜΑΔΑ 3	ΟΜΑΔΑ 4
Απιονισμένο νερό	ΟΜΑΔΑ 5	ΟΜΑΔΑ 6

Η αφυδάτωση των τριαντάφυλλων προσδιορίστηκε με περιοδικές ζυγίσεις κάθε τριαντάφυλλου χωριστά. Το τριαντάφυλλο δηλαδή, έβγαινε από το βάζο και ζυγιζόταν. Η εκτίμηση της αφυδάτωσης του λουλουδιού % βασίστηκε στον τύπο:

$$\frac{(\text{αρχικό βάρος λουλουδιού - τελικό βάρος λουλουδιού}) \times 100}{\text{αρχικό βάρος λουλουδιού}} \quad ,$$

όπου αρχικό βάρος λουλουδιού είναι το βάρος που μετρήθηκε την πρώτη μέρα που τα λουλούδια έφτασαν στο εργαστήριο.

Ο ρυθμός απορρόφησης του διαλύματος των βάζων από τα τριαντάφυλλα προσδιορίστηκε με περιοδικές ζυγίσεις τόσο του συστήματος λουλούδι-διάλυμα-βάζο όσο και του κάθε λουλουδιού χωριστά. Αφαιρώντας κάθε φορά από το βάρος του συστήματος λουλούδι-διάλυμα-βάζο το βάρος του λουλουδιού και το απόβαρο του βάζου, που ήταν σταθερό, προέκυπτε το βάρος του διαλύματος. Ο ρυθμός απορρόφησης του διαλύματος από τα τριαντάφυλλα υπολογίστηκε με βάση τον τύπο:

$$\frac{\text{μάζα διαλύματος μ μέρας - μάζα διαλύματος ν μέρας}}{\text{(ν-μ) μέρες}} \text{ (g/ημέρα)} \quad ,$$

όπου μάζα διαλύματος μ μέρας είναι η μάζα του διαλύματος που προέκυψε από ζυγίσεις που έγιναν την μ μέρα και μάζα διαλύματος ν μέρας είναι η μάζα του

διαλύματος που προέκυψε από ζυγίσεις που έγιναν την ν μέρα, η οποία ακολουθεί την μ μέρα. Οι μέρες που μεσολαβούν μεταξύ των δύο μετρήσεων είναι ν-μ.
Για την εκτίμηση της αναπνευστικής δραστηριότητας μετρήθηκε ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα (ρυθμός αναπνοής) και χρησιμοποιήθηκε γι' αυτό η φορητή συσκευή μέτρησης του ρυθμού αναπνοής RICLOS, της οποίας η λειτουργία στηρίζεται σε έναν IR (απορρόφηση στο υπέρυθρο) ανιχνευτή CO_2 [1]. Η συσκευή αυτή βρισκόταν εκτός των ψυκτικών θαλάμων και συνδεόταν με την βοήθεια σωληνώσεων με αναπνευστικούς θαλάμους που βρίσκονταν μέσα στους ψυκτικούς θαλάμους. Οι αναπνευστικοί θάλαμοι για δρεπτό λουλούδι κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο από πλαστικούς σωλήνες (PVC), ώστε να χωράνε μέσα σε αυτούς 2-3 τριαντάφυλλα το ένα δίπλα στο άλλο. Κατά τη διαδικασία μέτρησης του ρυθμού αναπνοής, τα τριαντάφυλλα έβγαιναν από τα βαζάκια και σφραγίζονταν μέσα στους αναπνευστικούς θαλάμους για 2,5 ώρες στους 0°C και 1,5 ώρες στους 10°C. Έτσι με την βοήθεια της παραπάνω συσκευής καταγραφόταν η μεταβολή της συγκέντρωση CO_2 μέσα στους αναπνευστικούς θαλάμους. Ο ρυθμός αναπνοής RR υπολογιζόταν από τον τύπο:

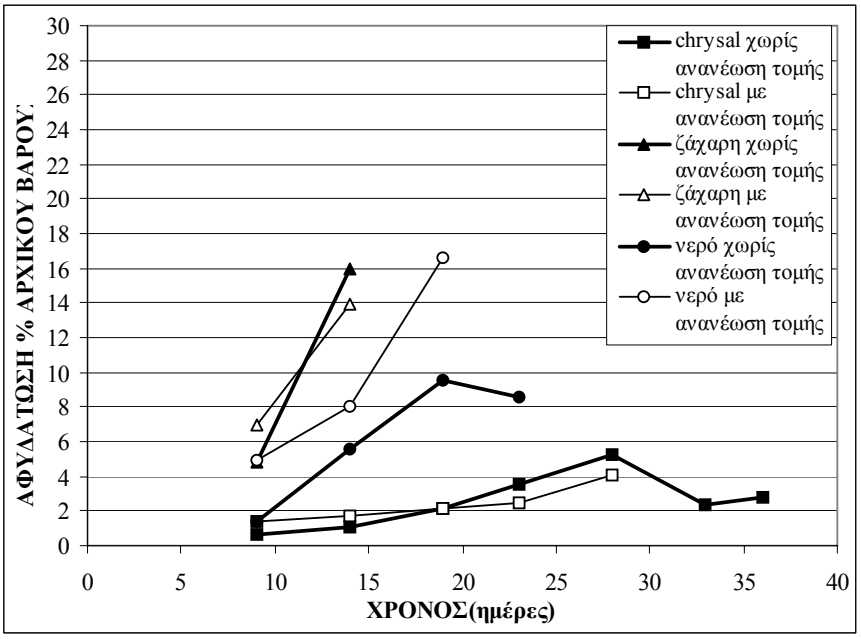
$$RR = \frac{\Delta c}{\Delta t} \times \frac{V}{m} \times 10^{-4},$$

όπου RR ο ρυθμός αναπνοής σε ml CO_2 /h/100g προϊόντος, Δc η μεταβολή της συγκέντρωσης CO_2 σε ppm, V ο ελεύθερος όγκος αέρα του κυκλώματος σε ml, Δt ο χρόνος σε h μεταξύ της αρχικής ένδειξης, όταν τα λουλούδια εισάγονται στον αναπνευστικό θάλαμο και της τελικής ένδειξης, πριν τα λουλούδια βγουν από τον αναπνευστικό θάλαμο και m η μάζα του προϊόντος σε g [2].
Οι μετρήσεις σταματούσαν να πραγματοποιούνται στα λουλούδια που παρουσίαζαν οπτικά συμπτώματα μαρασμού. Τα πειραματικά αποτελέσματα υπέστησαν στατιστική επεξεργασία παραλλακτικότητας.

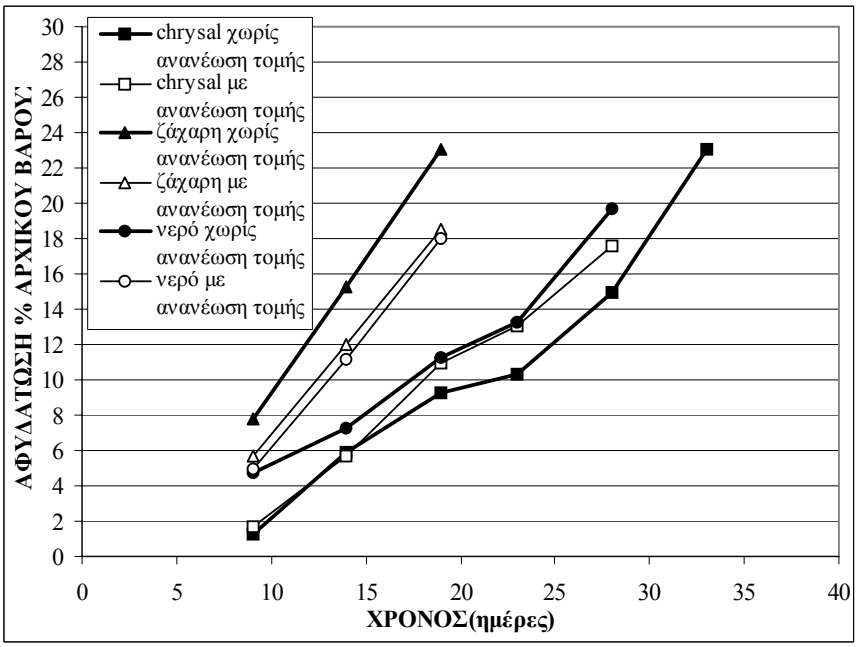
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Στην συντήρηση σε υγρό περιβάλλον, οι μέσοι όροι των μετρήσεων (Πίνακας 2) της αφυδάτωσης (Σχήματα 1 και 2) δείχνουν αρχικά ότι η μεταβολή στους 10°C είναι γενικά μεγαλύτερη απ' ότι στους 0°C, ειδικά στην περίπτωση της ομάδας λουλουδιών που συντηρήθηκαν σε διάλυμα Chrysal. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην εξάτμιση που προκαλείται λόγω της διαφοράς πίεσης υδρατμών μεταξύ των κυττάρων του λουλουδιού και του περιβάλλοντος αέρα, η οποία γίνεται μεγαλύτερη με την αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου συντήρησης [6]. Παρατηρείται επίσης ότι τα επίπεδα αφυδάτωσης των τριαντάφυλλων που συντηρούνται με διάλυμα Chrysal είναι χαμηλότερα εκείνων των τριαντάφυλλων που συντηρούνται με διάλυμα ζάχαρης ή με καθαρό απιονισμένο νερό τόσο στους 0°C όσο και στους 10°C. Επίσης η τακτική ανανέωση της τομής του βλαστού εμφανίζεται να προκαλεί μεγαλύτερη μάλλον αφυδάτωση στα λουλούδια, κάτι που συνδυάζεται με την παράλληλη μικρότερη απορρόφηση νερού και που οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στις φυσαλίδες αέρα που παγιδεύονται κάθε φορά στα αγγεία της τομής του βλαστού, «εμβολισμός αέρα» (air embolism) [3], κατά την ανανέωση. Οι φυσαλίδες αυτές εμποδίζουν την απορρόφηση νέου διαλύματος με συνέπεια την αδυναμία αναπλήρωσης του απομακρυνόμενου λόγω αφυδάτωσης νερού.
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ρυθμού απορρόφησης διαλύματος από τα λουλούδια (Σχήματα 3 και 4) δείχνουν ότι τα τριαντάφυλλα που συντηρούνται σε

διάλυμα Chrysal απορροφούν περισσότερο νερό (2,5 g/μέρα την 19η μέρα στους 0°C) απ' ότι αυτά των άλλων ομάδων (2,3 g/μέρα η ομάδα ζάχαρης και 1,6 g/μέρα η ομάδα



Σχήμα 1. Μεταβολή της αφυδάτωσης % αρχικού βάρους με τον χρόνο στους 0°C



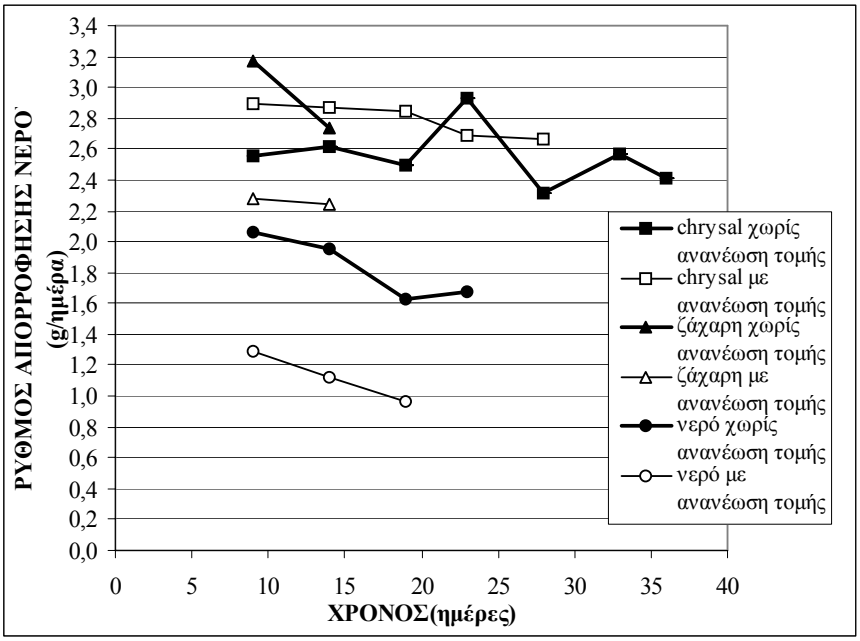
Σχήμα 2. Μεταβολή της αφυδάτωσης % αρχικού βάρους με τον χρόνο στους 10°C

Πίνακας 2. Μέσοι όροι και όρια εμπιστοσύνης μετρήσεων της 10ης ημέρας

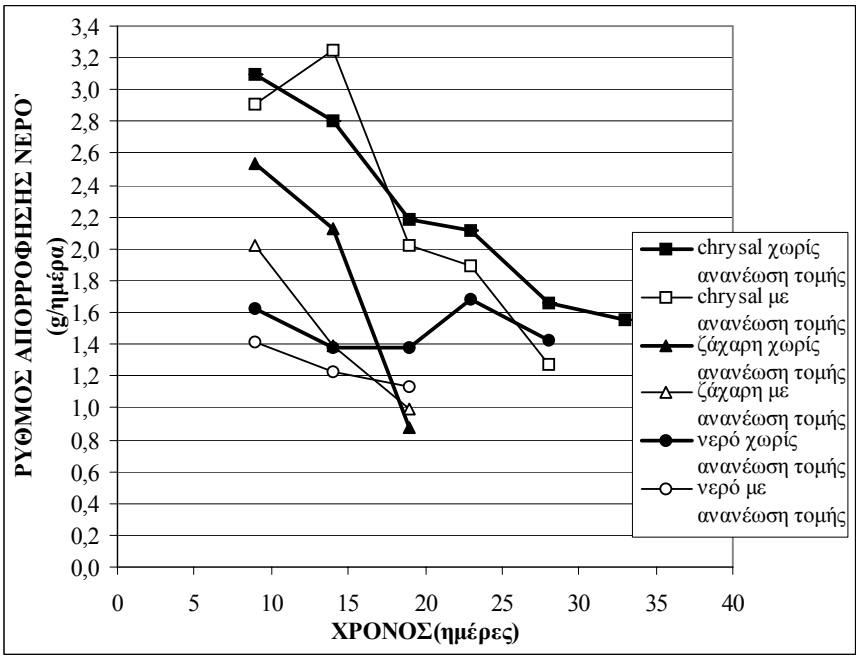
1η σειρά τριαντάφυλλων		Αφυδάτωση*		Απορρόφηση**		Αναπνοή***	
		0°C	10°C	0°C	10°C	0°C	10°C
Chrysal	Χωρίς ανανέωση	**0,62** ±0,26	**1,27** ±0,42	**2,56** ±0,20	**3,30** ±0,18	**1,07** ±0,07	**2,48** ±0,29
	Με ανανέωση	**1,36** ±0,23	**1,66** ±0,57	**2,89** ±0,18	**2,91** ±0,19	**1,16** ±0,09	**2,21** ±0,26
Ζάχαρη	Χωρίς ανανέωση	**4,86** ±2,03	**7,82** ±1,43	**3,18** ±0,36	**2,53** ±0,11	**1,35** ±0,21	**2,43** ±0,43
	Με ανανέωση	**7,01** ±3,45	**5,72** ±2,00	**2,28** ±0,23	**2,02** ±0,13	**1,21** ±0,13	**2,85** ±0,35
Νερό	Χωρίς ανανέωση	**1,43** ±0,59	**4,78** ±0,55	**2,06** ±0,23	**1,62** ±0,19	**0,85** ±0,04	**1,80** ±0,17
	Με ανανέωση	**4,98** ±1,56	**4,99** ±1,03	**1,29** ±0,07	**1,42** ±0,04	**0,58** ±0,11	**1,56** ±0,21
2η σειρά τριαντάφυλλων		Αφυδάτωση		Απορρόφηση		Αναπνοή	
		0°C	10°C	0°C	10°C	0°C	10°C
Chrysal	Χωρίς ανανέωση	**4,71** ±1,44	**7,87** ±1,85	**1,42** ±0,18	**1,38** ±0,08	**1,23** ±0,05	**2,26** ±0,19
	Με ανανέωση	**5,80** ±2,06	**5,93** ±1,09	**1,39** ±0,12	**1,27** ±0,09	**1,46** ±0,02	**2,51** ±0,26
Ζάχαρη	Χωρίς ανανέωση	**6,58** ±2,15	**9,67** ±1,53	**1,03** ±0,08	**1,21** ±0,11	**1,49** ±0,34	**2,49** ±0,16
	Με ανανέωση	**8,01** ±2,13	**10,29** ±1,71	**1,31** ±0,11	**0,83** ±0,03	**1,27** ±0,12	**2,25** ±0,05
Νερό	Χωρίς ανανέωση	**3,94** ±0,68	**5,39** ±0,94	**1,18** ±0,12	**1,22** ±0,10	**0,89** ±0,04	**1,47** ±0,11
	Με ανανέωση	**12,83** ±2,15	**6,20** ±0,88	**0,97** ±0,07	**1,11** ±0,07	**1,22** ±0,23	**2,29** ±0,18
* % αρχικού βάρους		** g/ημέρα				*** ml CO_2/h/100g	

νερού την 19η μέρα στους 0°C). Το γεγονός αυτό συμφωνεί με την καταγραφόμενη μικρότερη αφυδάτωση των ομάδων Chrysal που αναφέρθηκε προηγουμένως. Διαπιστώνεται ακόμα ότι πολλές ομάδες τριαντάφυλλων χωρίς ανανέωση τομής παρουσιάζουν μεγαλύτερο ρυθμό απορρόφησης διαλύματος.

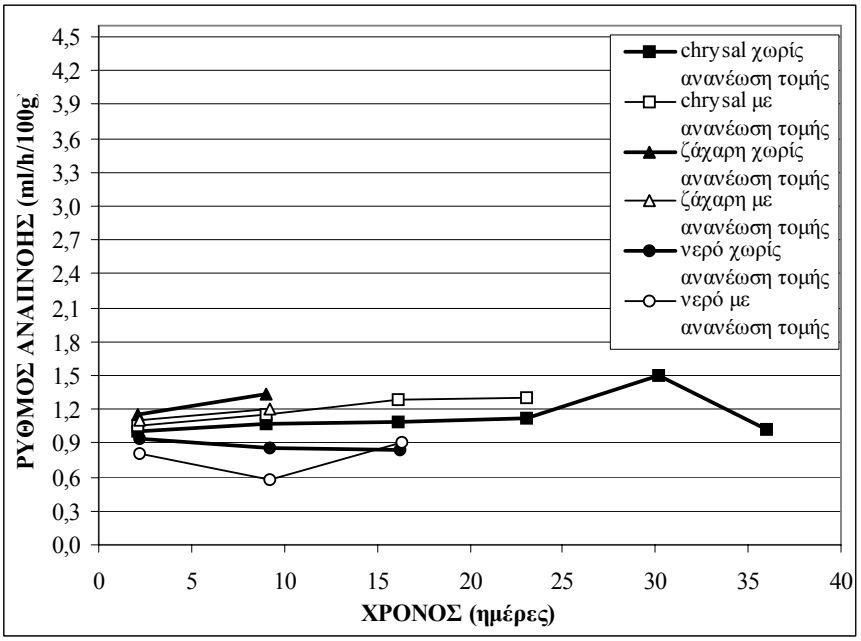
Η πρώτη εντύπωση που δίνουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ρυθμού αναπνοής των τριαντάφυλλων που συντηρήθηκαν σε υγρό περιβάλλον (Σχήματα 5 και 6), είναι ότι στους 10°C ο ρυθμός αναπνοής κυμαίνεται από 1,2 ml CO_2/h/100g λουλουδιού μέχρι και 4 ml CO_2/h/100g λουλουδιού ανάλογα με την ομάδα και την μέρα συντήρησης και είναι εντονότερος απ' ότι στους 0°C όπου κυμαίνεται από 0,6 ml CO_2/h/100g λουλουδιού μέχρι και 1,5 ml CO_2/h/100g λουλουδιού. Ακόμα παρατηρείται ότι πιο έντονος είναι ο ρυθμός αναπνοής των χειρισμών σε διάλυμα ζάχαρης (1,35 ml CO_2/h/100g λουλουδιού την 9η μέρα στους 0°C), ακολουθούμενος από τον ρυθμό αναπνοής των χειρισμών σε διάλυμα Chrysal (1,07 ml CO_2/h/100g λουλουδιού την 9η μέρα στους 0°C). Οι χαμηλότεροι ρυθμοί αναπνοής παρατηρήθηκαν στους χειρισμούς με νερό (0,85 ml CO_2/h/100g λουλουδιού την 9η



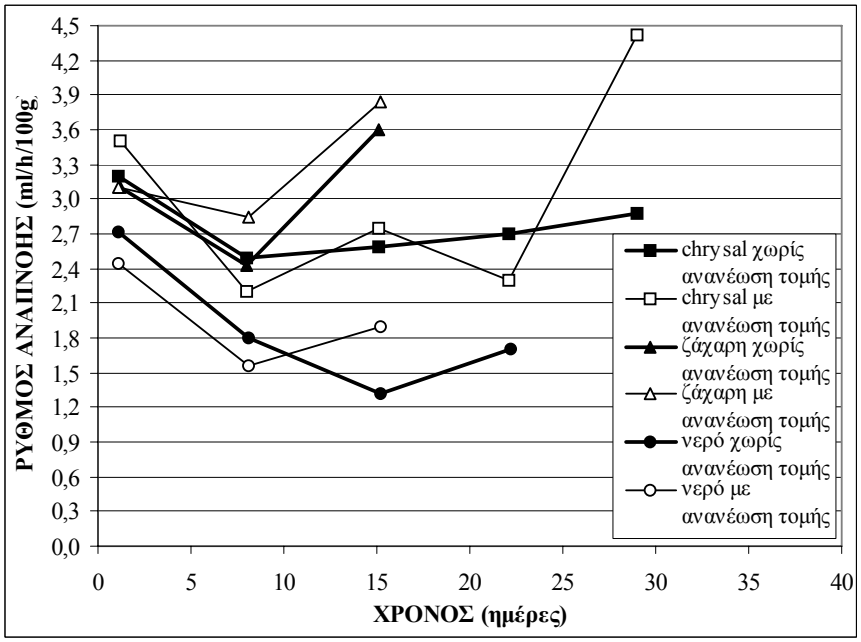
Σχήμα 3. Μεταβολή του ρυθμού απορρόφησης διαλύματος με τον χρόνο στους 0°C



Σχήμα 4. Μεταβολή του ρυθμού απορρόφησης διαλύματος με τον χρόνο στους 10°C



Σχήμα 5. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με τον χρόνο στους 0°C



Σχήμα 6. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με τον χρόνο στους 10°C

μέρα στους 0°C). Αυτό πιθανόν να σχετίζεται με το γεγονός ότι η ζάχαρη αποτελεί ένα βασικό υπόστρωμα της αναπνευστικής λειτουργίας [6].

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, πρέπει να αναφέρουμε ότι τα τριαντάφυλλα που συντηρούνται με διάλυμα Chrysal παρουσιάζουν την μικρότερη αφυδάτωση και τον μεγαλύτερο ρυθμό απορρόφησης διαλύματος. Η τακτική ανανέωση της τομής δυσχεραίνει την απορρόφηση διαλύματος από τα λουλούδια και επιτείνει την αφυδάτωση.
Όσον αφορά την αναπνευστική δραστηριότητα, αξιοσημείωτο είναι ότι το διάλυμα ζάχαρης προκαλεί τον εντονότερο ρυθμό αναπνοής στα συντηρούμενα τριαντάφυλλα.
Η μεγαλύτερη διάρκεια συντήρησης των τριαντάφυλλων επιτυγχάνεται με διάλυμα Chrysal στους 0°C και ανέρχεται στις 40 περίπου ημέρες με συνολικό ποσοστό αφυδάτωσης που δεν υπερβαίνει το 10%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Λαμπρινός Γ. και Μητρόπουλος Δ., 2004, Φορητή Συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του Ρυθμού Αναπνοής Καρπών, Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας No 1004590, Ο.Β.Ι.

2. Μητρόπουλος Δ., Κοζής Γ., Μανωλοπούλου Ε. και Λαμπρινός Γ., 2000, Εκτίμηση του Χρόνου Συλλογής με Μέτρηση Αναπνοής στον Αγρό, Πρακτικά 3ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα, 425-432.

3. Reid M. S., 1992, Postharvest Technology of Horticultural Crops, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 201-209.

4. Rudnicki R. M., Goszczynska D. and Nowak J., 1986, Storage of Cut Flowers, Acta Horticulturae 181: Post-harvest Physiology of Ornamentals, 285-295.

5. Σάββας Δ., Τριανταφυλλίδης Β., Φλαμουράκης Ν. και Αγγελή Μ., 2001, Καλλιέργεια Ανθοκομικών Φυτών στο Θερμοκήπιο, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

6. Wills R., McGlasson B., Graham D. and Joyce D., 1998, Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals, 4th Ed., CAB INTERNATIONAL, New York, USA.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΟΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΚΛΙΝΗ ΕΔΑΦΗ

Ι.Δ.Βαλιάντζας, Α.Ασημακόπουλος, Ν.Δέρκας, Κ.Σούλης
Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
lhyd2vay@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε με στόχο την διευκόλυνση του βέλτιστου σχεδιασμού συστημάτων μικροάρδευσης. Στο πρόγραμμα αυτό υλοποιείται μια νέα μέθοδος σχεδιασμού αγωγών πολλαπλών εκροών με δυο διαφορετικές διαμέτρους. Τα κόστη των αγωγών υπεισέρχονται έμμεσα κατά το σχεδιασμό ενώ υπάρχει η δυνατότητα να ληφθεί υπόψη και το κόστος ενέργειας. Η μέθοδος έχει άμεση εφαρμογή στο σχεδιασμό συστημάτων μικροάρδευσης, όπου οι πλευρικοί ή οι δευτερεύοντες αγωγοί μπορεί να βρίσκονται υπό κλίση. Γίνεται συστηματική διερεύνηση για την εύρεση της θέσης του απόλυτου μέγιστου ή ελάχιστου φορτίου πίεσης καθ' όλο το μήκος του αγωγού. Γίνεται παρουσίαση του διαγράμματος ροής του προγράμματος και των βασικών παραθύρων εισόδου δεδομένων και εξαγωγής αποτελεσμάτων. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής, η οποία τρέχει σε περιβάλλον Windows, χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού MS Visual Basic.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TOOL FOR THE HYDRAULIC DESIGN OF MICROIRRIGATION SYSTEMS WITH SLOPING IRRIGATION PIPELINES.

J.D.Valiantzas, A.Asimakopoulos, N.Dercas, K.Soulis
Laboratory of Agricultural Hydraulics
Agricultural University of Athens
lhyd2vay@aua.gr

ABSTRACT

A software tool was developed in order to aid the design of microirrigation systems. A new design method for sloping two-diameter multi-outlet pipelines is used in this software. The pipe size costs interfere implicitly in the design procedure. The cost of energy can be also taken into consideration. The method can be applied for the design of microirrigation systems with sloping laterals or manifold pipelines. A systematic investigation of the position of the global maximum or minimum pressure head values along the two diameter pipelines is also given. In this program, the above described methodology was implemented using Microsoft's Visual Basic programming language and is running under the MS Windows Operating System. Lastly, the flow chart and the main windows of the program are presented.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα μικροάρδευσης χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλό κόστος επένδυσης και κόστος λειτουργίας. Καθώς τα συστήματα μικροάρδευσης γίνονται όλο και περισσότερο δημοφιλή, η ανάγκη εφαρμογής ενός βέλτιστου σχεδιασμού (εξασφάλιση της επιθυμητής δόσης άρδευσης και ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του κόστους) είναι πλέον εμφανής. Η μέθοδος της μικροάρδευσης συνίσταται σε περιπτώσεις εδαφών με κλίση αλλά και σε οριζόντια εδάφη. Συχνά, οι πλευρικοί αγωγοί των υπομονάδων μικροάρδευσης σχεδιάζονται να είναι οριζόντιοι, ενώ οι δευτερεύοντες υπό κλίση. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις οι πλευρικοί αναγκαστικά βρίσκονται υπό κλίση. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις με κλίσεις συνίσταται η χρήση αγωγών δυο ή ακόμα και τριών διαφορετικών διαμέτρων καθώς τα φορτία πίεσης που αναπτύσσονται στο τέλος των αγωγών ενδέχεται να έχουν υπερβολικά μεγάλες τιμές.

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με το βέλτιστο σχεδιασμό δικτύων αγωγών με ενιαία όμως διάμετρο σε όλο τους το μήκος. Οι Wu and Gitlin (1975) και Wu (1997) προτείνουν την ανάλυση αγωγών πολλαπλών εκροών με μια και μοναδική διάμετρο. Ο Valiantzas (1998) πρότεινε αναλυτικές διαδικασίες σχεδιασμού αγωγών με μια διάμετρο κατά τις οποίες λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της ανομοιομορφίας των παροχών εκροής καθώς και του πλήθους των εκροών (Valiantzas, 2002a). Αριθμητικές τεχνικές σχεδιασμού με τη βοήθεια Η/Υ έχουν επίσης αναπτυχθεί, οι οποίες όμως συνήθως περιορίζονται στη βελτιστοποίηση δικτύων αγωγών με μια και μοναδική διάμετρο (Bralts et al. 1993, Kang and Nishiyama 1996a,b).

Οι γραφικές μέθοδοι που αναφέρονται από τους Keller and Bliesner (1990) για το σχεδιασμό αγωγών πολλαπλών εκροών με διαφορετικές διαμέτρους δίνουν έμφαση στην ικανοποίηση του υδραυλικού κριτηρίου χωρίς να λαμβάνουν υπόψη το κόστος των αγωγών. Ο Valiantzas (2002b) πρότεινε μια αναλυτική λύση υδραυλικής ανάλυσης αγωγών με διαφορετικές διαμέτρους, στην οποία λαμβάνονται υπόψη η ανομοιομορφία των παροχών εκροής και το πλήθος των εκροών. Σε άλλη εργασία του ο Valiantzas (2003a) πρότεινε μια αναλυτική μέθοδο βέλτιστου υδραυλικού σχεδιασμού μιας υπομονάδας μικροάρδευσης στην οποία οι δευτερεύοντες και οι πλευρικοί αγωγοί είναι πολλών διαμέτρων. Τα κόστη των σωλήνων λαμβάνονται άμεσα υπόψη, ενώ για κατηφορικές κλίσεις των αγωγών εξετάζονται η πιο συχνά εμφανιζόμενη περίπτωση κατά την οποία το απόλυτο μέγιστο φορτίο βρίσκεται στην είσοδο του αγωγού, ενώ το απόλυτο ελάχιστο στο τελευταίο τμήμα του αγωγού με τη μικρότερη διάμετρο. Τέλος, πρόσφατα ο Valiantzas (2003b) πρότεινε μια απλή διαδικασία προσδιορισμού των οικονομικών διαμέτρων σε δευτερεύοντες αγωγούς μεταφοράς με διαφορετικές διαμέτρους λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος ενέργειας.

Πιο κάτω παρουσιάζεται μέθοδος σχεδιασμού υπομοναδας μικροαρδευσης όπου λαμβάνεται υπόψη: α) η άμεση ικανοποίηση του υδραυλικού κριτηρίου (ομοιομορφία άρδευσης), β) εμμέσως το κόστος των αγωγών (Βαλίαντζας, 2003). Επιπρόσθετα, υπολογίζεται το συνολικό κόστος της υπομονάδας (κόστος αγωγών + κόστος ενέργειας).

Ο δευτερεύων αγωγός της υπομονάδας βρίσκεται στο κέντρο της. Μπορεί να είναι υπό κατηφορική κλίση ή οριζόντιος και να αποτελείται από μία ή δυο διαφορετικές διαμέτρους. Οι πλευρικοί αγωγοί είναι οριζόντιοι μιας και μοναδικής διαμέτρου.

Η μέθοδος της υδραυλικής ανάλυσης που χρησιμοποιείται λαμβάνει υπόψη: α) την ανομοιομορφία των παροχών εκροής και β) την επίδραση του πλήθους των εκροών. Για την διευκόλυνση των υπολογισμών παρέχεται η δυνατότητα επίλυσης της μεθόδου με τη βοήθεια προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή.

2. ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2.1. Βέλτιστος σχεδιασμός των πλευρικών αγωγών

Ένα γενικό κριτήριο σχεδιασμού υπομονάδας ορίζει ότι η μέγιστη διαφορά φορτίων στους διανεμητές νερού (σταλλάκτες και μικροεκτοξευτήρες) που βρίσκονται σε όλη την έκταση της υπομονάδας πρέπει να είναι μικρότερη ενός μέγιστου επιτρεπτού ορίου μεταβολής ΔH_{su} (ASAE Standards, 1998). Η τιμή του ΔH_{su} προκύπτει από την επιθυμητή τιμή του συντελεστή ομοιομορφίας EU που ορίζεται (Karmeli and Keller, 1975):

$$EU = \left(1 - 1{,}27\frac{C_v}{\sqrt{N_p}}\right)\frac{q_{\min}}{q_{av}} \quad (1)$$

όπου C_v= συντελεστής μεταβολής του διανεμητή (από κατασκευαστή), N_p= αριθμός διανεμητών ανά φυτό, q_{min}= ελάχιστη παροχή διανεμητή στην υπομονάδα, q_{av}= μέση παροχή διανεμητών υπομονάδας. Θεωρώντας ότι το q_{av} προσεγγίζεται από την κανονική παροχή λειτουργίας των διανεμητών ($q_{av}=q_s$) και για γνωστή τιμή του συντελεστή ομοιομορφίας προσδιορίζεται η ελάχιστη παροχή διανεμητή στην υπομονάδα q_{min} και το ελάχιστο φορτίο πίεσης H_{min} από την εξίσωση της καμπύλης εκροής των διανεμητών:

$$q = cH^{y} \quad (2)$$

όπου q η παροχή του διανεμητή σε L/s, το φορτίο λειτουργίας σε m και c,y σταθερές του διανεμητή. Στα συστήματα μικροάρδευσης η y παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Σημειώνεται όταν το H είναι ίσο με το κανονικό φορτίο H_s, τότε η παροχή παίρνει την κανονική τιμή q_s.

Σύμφωνα με του Keller and Bliesner (1990) η μέγιστη επιτρεπτή μεταβολή του φορτίου πίεσης στην υπομοναδα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$\Delta H_{su} = 2{,}5\ (H_{av} - H_{min})$ (3)

Η μεταβολή αυτή μοιράζεται ισόποσα μεταξύ των πλευρικών αγωγών και του δευτερεύοντα (Keller and Bliesner, 1990)

$\Delta H_L = \Delta H_M = 0{,}5\ \Delta H_{su}$ (4)

Οι Scaloppi and Allen (1993) θεωρώντας γραμμική αποφόρτιση των εκροών κατά μήκος του αγωγού (οι εκροές δίνουν όλες την ίδια παροχή q_{av}) και άπειρο τον αριθμό των διανεμητών, προσδιόρισαν τη σχέση που δίνει την συνολική παροχή που διέρχεται κατά μήκος του αγωγού:

$$Q(x) = Q_{in}\left(\frac{x}{L}\right) \quad (5)$$

όπου

L = μήκος του αγωγού

$Q_{in} = q_s N$ = παροχή εισόδου

x = απόσταση απ' το τέλος του αγωγού

N = αριθμός τροφοδοτούμενων διανεμητών

Η σχέση που προσδιορίζει την κλίση των γραμμικών απωλειών ενέργειας κατά μήκος αγωγού είναι (Christiansen, 1942):

$$\frac{dH_f(x)}{dx} = S_f(x) = C_f \frac{Q^m(x)}{D^{m+3}} \quad (6)$$

όπου

$S_f(x)$= κλίση των απωλειών ενέργειας κατά μήκος του αγωγού

Q(x) = παροχή που διέρχεται από σημείο που απέχει απόσταση x από το τέλος του αγωγού

D = εσωτερική διάμετρος αγωγού

m, C_f= σταθερές παράμετροι που εξαρτώνται από τη μορφή του τύπου που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών ενέργειας.

Έτσι, όταν χρησιμοποιείται ο τύπος των Hazen-Williams, m=1,852, $C_f=10.692/(C_{HZ})^m$, όπου C_{HZ} =συντελεστής τραχύτητας κατά Hazen-Williams με Q εκπεφρασμένο σε m^3/s και D σε m. Για πλαστικούς σωλήνες μικροάρδευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση των Darcy-Weisbach, m=1,75, $C_f=7,89x10^5$ με Q σε L/s και D σε mm.

Από τις Εξ.5 και Εξ.6 προκύπτει σχέση που περιγράφει τις γραμμικές απώλειες συναρτήσει της απόστασης από το τέλος του αγωγού (Valiantzas 2002a):

$$H_f(x) = \frac{H_{f0}}{m+1}\left(\frac{x}{L_r}\right)^{m+1} \quad (7)$$

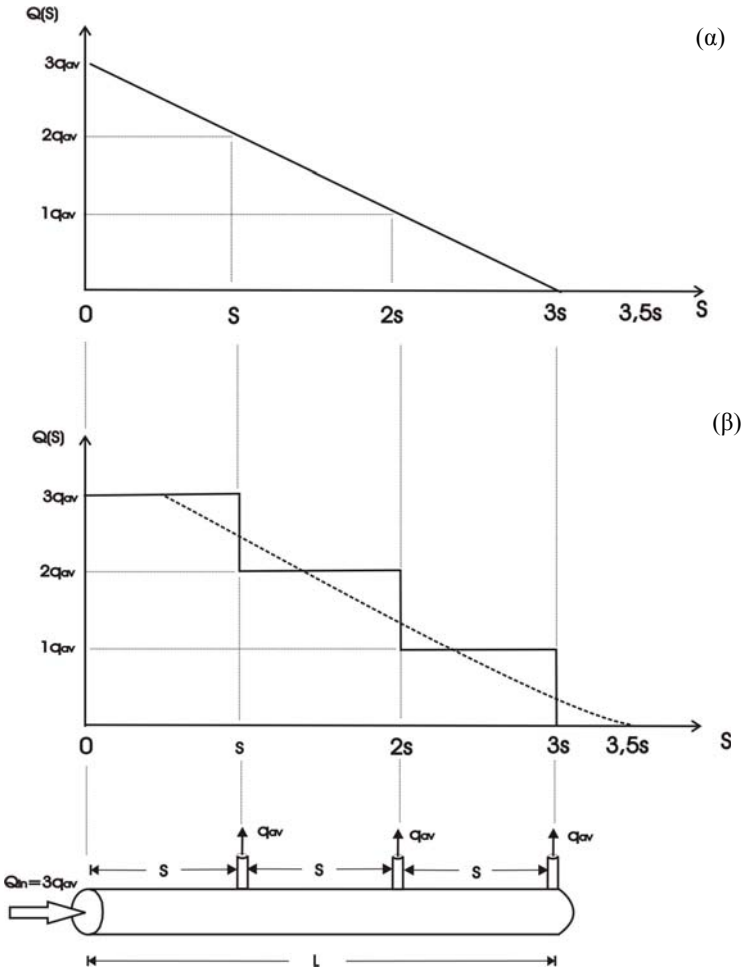
όπου $H_{f0} = C_f \frac{Q_{in}^m}{D^{m+3}} L_r$ είναι οι απώλειες φορτίου πίεσης σε υποθετικό αγωγό μήκους L_r=L=sN και διαμέτρου D που μεταφέρει την παροχή Q_{in} σε όλο ο μήκος του.

Για x=L=L_r βρίσκουμε τις συνολικές απώλειες (Valiantzas 2002a):

$$H_f(L) = F \cdot H_{f0} \quad (8)$$

όπου $F = \frac{1}{m+1}$ διορθωτικός συντελεστής απωλειών για άπειρο πλήθος εκροών και ομοιόμορφη ένταση εκροής.

Στη περίπτωση όπου ο αγωγός αποτελείται από τρεις εκροές, που βρίσκονται σε απόσταση ‘s’, η σχέση των Scaloppi and Allen (Εξ.5) οδηγεί σε μεταβολή της παροχής σύμφωνα με το σχήμα 1α Γίνεται φανερό ότι η τελευταία εκροή έχει μηδενική παροχή.



Σχήμα 1. Κατανομή συνολικής παροχής αγωγού τριών εκροών

Ο Valiantzas (2002a) απέδειξε ότι μια μεταβολή της παροχής κατά μήκος του αγωγού σύμφωνα με αυτή του σχήματος 1β ανταποκρίνεται περισσότερο στο φαινόμενο. Ο Valiantzas (2002a) προσδιόρισε την αντίστοιχη εξίσωση της παροχής λαμβάνοντας υπόψη την ανομοιομορφία των παροχών εκροής:

$$Q(x) = Q_{in}\left(\frac{x}{L_r} + \frac{1}{2N}\right)^a \quad (9)$$

όπου L_r=συνολικό μήκος αγωγού και α=συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την ανομοιομορφία της έντασης εκροής κατά μήκος του αγωγού (Valiantzas 1998, 2002a).

Η ολοκλήρωση της Εξ. 6 από 0 έως x, λαμβάνοντας υπόψη την Εξ.9, οδηγεί στη σχέση που δίνει το φορτίο σε κάθε σημείο του αγωγού όπως επίσης το νέο διορθωτικό συντελεστή απωλειών (Valiantzas, 2002a) στο οποίο λαμβάνονται υπόψη ο αριθμός των εκροών αλλά και η ανομοιομορφία της έντασης εκροής κατά μήκος της γραμμής άρδευσης (συντελεστής α):

$$F_V = \frac{1}{am+1}\left[\left(1+\frac{1}{2N}\right)^{a\cdot m+1} - \left(\frac{1}{2N}\right)^{a\cdot m+1}\right]$$

(10)

Το μέγιστο μήκος των πλευρικών αγωγών μπορεί να προσδιοριστεί από την Εξ.8 θεωρώντας ότι οι συνολικές γραμμικές απώλειες του αγωγού είναι ίσες με τη μέγιστη επιτρεπτή μεταβολή του φορτίου πίεσης στους πλευρικούς αγωγούς, δηλαδή $H_f(L)=\Delta H_L$

Αρχικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι ο αγωγός έχει άπειρες εκροές όποτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο F_t χωρίς κίνδυνο σφάλματος και να υπολογιστεί ένα αρχικό μήκος L_0. Στη συνέχεια μπορεί να προσδιοριστεί το πλήθος των εκροών N, η τιμή του εμπειρικού δείκτη α και κατόπιν ο F_v ο όποιος αντικαθίσταται στη σχέση (8) προκειμένου να υπολογιστεί το τελικό μήκος L.

2.2. Βέλτιστος σχεδιασμός δευτερεύοντα αγωγού

Η διαστασιολόγιση του δευτερεύοντα αγωγού θα γίνει με τη βοήθεια των εξισώσεων που περιγράφουν την κατανομή του φορτίου πίεσης κατά μήκος αγωγών πολλαπλών εκροών.

2.2.1. Δευτερεύων 2 διαμέτρων

Πρόσφατα ο Valiantzas (2002b) παρουσίασε μια νέα αναλυτική λύση για τον υπολογισμό του φορτίου πίεσης κατά μήκος αγωγού πολλαπλών εκροών με 2 διαφορετικές διαμέτρους. Στην ανάλυση, που είναι προσέγγιση συνεχούς εκροής, λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του πλήθους των εκροών N και η ανομοιομορφία των παροχών εκροής. Για διευκόλυνσή μας εισάγεται η αδιάστατη μεταβλητή μήκους U που είναι ίση με:

$$U = \frac{x}{L_r} + \frac{1}{2N}$$

(11)

με $L_r = L = sN$

Στις αποστάσεις x_0 (κλειστό άκρο), x_1 (σημείο αλλαγής της διαμέτρου) και x_2 (είσοδος του αγωγού) αντιστοιχούν οι αδιάστατες αποστάσεις U_0, U_1 και U_2.

Η εξίσωση που περιγράφει την κατανομή του φορτίου πίεσης στο τελευταίο τμήμα του δευτερεύοντα με διάμετρο D_1 συναρτήσει της απόστασης U είναι (Valiantzas, 2002b):

$$H_1(U) = H'_d + \frac{H_{f(1)}}{am+1}U^{a\cdot m+1} - S_0 L_r U \qquad U_0 \le U \le U_1$$

(12)

όπου $H_{d'}$= εικονικό φορτίο πίεσης στο σημείο U (x=-s/2).

Ενώ το φορτίο πίεσης για το αρχικό τμήμα του δευτερεύοντα με διάμετρο D_2 είναι (Valiantzas, 2002b):

$$H_2(U) = H'_d + \frac{H_{f(1)} - H_{f(2)}}{am+1} U_1^{am+1} + \frac{H_{f(2)}}{am+1} U^{am+1} - S_0 L_r U$$

$$U_1 \le U \le U_2 \qquad (13)$$

με $H_{f(i)} = C_f \frac{Q_{in}^m}{D_{(i)}^{m+3}} L_r \quad \forall i = 1,2$

Οι θέσεις των τοπικά μέγιστων τιμών του φορτίου πίεσης σε έναν τέτοιο αγωγό, που βρίσκεται σε κατηφορική κλίση, θα πρέπει να αναζητηθούν στα άκρα των αγωγών που απαρτίζουν τον δευτερεύοντα αγωγό, δηλαδή στα σημεία U_0, U_1 και U_2.
Οι θέσεις των τοπικά ελάχιστων τιμών του φορτίου πίεσης U_{min1} και U_{min2} που αντιστοιχούν στα τμήματα του αγωγού με διάμετρο D_1 και D_2 δίνονται από την παρακάτω σχέση (Valiantzas, 2002b):

$$U_{\min(i)} = \left(\frac{S_0 \cdot L_r}{H_{f(i)}} \right)^{\frac{1}{am}}, \ \forall i = 1,2 \ \text{με} \ U_{min1} \ge U_0, \ U_{min1} \le U_1, \ U_{min2} \ge U_1, \ U_{min2} \le U_2 \qquad (14)$$

Διερεύνηση

Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπάρχουν 6 πιθανές μέγιστες μεταβολές του φορτίου πίεσης:
i) Το ολικό μέγιστο βρίσκεται στην είσοδο του αγωγού ($H_{max}=H_2(U_2)$) και το ολικό ελάχιστο στο τελευταίο τμήμα του αγωγού με διάμετρο D_1 ($H_{min}=H_1(U_{min1})$). Τότε σύμφωνα με τις Εξ.12, Εξ.13 και Εξ.14 προκύπτει:

$$\Delta H^{(1)} = H_2(U_2) - H_1(U_{min1}) = K U_1^{a\cdot m+1} + F_2(U_2) - F_1(U_{min1}) \qquad (15)$$

όπου

$$K = \frac{1}{am+1}\left[(H_{f(1)} - H_{f(2)}) \right] \qquad (16)$$

$$F_i(U) = \frac{H_{f(i)}}{(am+1)} U^{am+1} - S_0 L_r U \qquad \forall i = 1,2 \qquad (17)$$

ii) Το ολικό μέγιστο βρίσκεται στην είσοδο του αγωγού ($H_{max}=H_2(U_2)$) και το ολικό ελάχιστο στο τμήμα του αγωγού με διάμετρο D_2 ($H_{min}=H_2$ (U_{min2})). Τότε σύμφωνα με τις Εξ.13, Εξ.14 και Εξ.17 προκύπτει:

$$\Delta H^{(2)} = H_2(U_2) - H_2(U_{min2}) = F_2(U_2) - F_2(U_{min2}) \qquad (18)$$

iii) Το ολικό μέγιστο βρίσκεται στο τέλος του αγωγού ($H_{max}=H_1(U_0)$) και το ολικό ελάχιστο στο τμήμα του αγωγού με διάμετρο D_1 ($H_{min}=H_1(U_{min1})$). Τότε σύμφωνα με τις Εξ.12, Εξ.14 και Εξ.17 προκύπτει:

$$\Delta H^{(3)} = H_1(U_0) - H_1(U_{\min 1}) = F_1(U_0) - F_1(U_{\min 1}) \quad (19)$$

iv) Το ολικό μέγιστο βρίσκεται στο τέλος του αγωγού ($H_{max}=H_1(U_0)$) και το ολικό ελάχιστο στο τμήμα του αγωγού με διάμετρο D_2 ($H_{min}=H_2(U_{min2})$). Τότε προκύπτει:

$$\Delta H^{(4)} = H_1(U_0) - H_2(U_{min2}) = -KU_1^{a\cdot m+1} + F_1(U_0) - F_2(U_{min2}) \quad (20)$$

v) Το ολικό μέγιστο βρίσκεται στο σημείο αλλαγής της διαμέτρου ($H_{max}=H_1(U_1)$) και το ολικό ελάχιστο στο τμήμα του αγωγού με διάμετρο D_1 ($H_{min}=H_1(U_{min1})$. Τότε προκύπτει

$$\Delta H^{(5)} = H_1(U_1) - H_1(U_{\min 1}) = F_1(U_1) - F_1(U_{\min 1}) \quad (21)$$

vi) Το ολικό μέγιστο βρίσκεται στο σημείο αλλαγής της διαμέτρου ($H_{max}=H_1(U_1)$) και το ολικό ελάχιστο στο τμήμα του αγωγού με διάμετρο D_2 ($H_{min}=H_2(U_{min2})$). Τότε προκύπτει:

$$\Delta H^{(6)} = H_1(U_1) - H_2(U_{min2}) = -KU_1^{a\cdot m+1} + F_1(U_1) - F_2(U_{min2}) \quad (22)$$

Θεωρώντας γνωστό το συνολικό μήκος του δευτερεύοντα αγωγού και υποθέτοντας ότι ισχύει η περίπτωση (i) (που είναι και η πιο συνηθισμένη), μπορεί να προσδιοριστεί η άγνωστη παράμετρος U_1 θέτοντας $\Delta H^{(1)}=\Delta H_M$. Όποτε προκύπτει:

$$U_1 = \left(\frac{\Delta H_M - F_2(U_2) + F_1(U_{min1})}{K} \right)^{\frac{1}{am+1}} \quad (23)$$

Στη συνεχεία θα πρέπει να διερευνηθεί εάν η μέγιστη μεταβολή του φορτίου πίεσης στον αγωγό είναι όντως αυτή που αρχικά υποθέσαμε (περίπτωση (i)). Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να υπολογιστούν και οι υπόλοιπες 5 πιθανές μέγιστες μεταβολές του φορτίου πίεσης για την τιμή του U_1 που έχει βρεθεί. Εάν όλες οι μεταβολές είναι μικρότερες ή ίσες από την μέγιστη επιτρεπτή ΔH_M, τότε η παράμετρος U_1 είναι αποδεκτή στο σχεδιασμό. Σε αντίθετη περίπτωση, προσδιορίζεται η παράμετρος U_1 από τις περιπτώσεις (iv) ή (v) ή (vi) (οι (ii)και (iii) δεν λύνονται ως προς U_1) και ακολουθεί πάλι διερεύνηση.

2.2.2. Δευτερεύων 1 διαμέτρου

Στην περίπτωση μιας και μοναδικής διαμέτρου η Εξ.12 περιγράφει την κατανομή του φορτίου πίεσης. Το U_1 δεν αποτελεί πλέον άγνωστη παράμετρο αφού συμπίπτει με το συνολικό μήκος του δευτερεύοντα. Το μόνο που πρέπει να διερευνηθεί είναι η τιμή των μέγιστων μεταβολών του φορτίου πίεσης που προκύπτουν για συγκεκριμένη διάμετρο.
Υπάρχουν 2 περιπτώσεις πιθανών μέγιστων μεταβολών ως εξής:
1) Το ολικό μέγιστο βρίσκεται στην είσοδο του αγωγού ($H_{max}=H_1(U_1)$). Τότε από τις Εξ.12, Εξ.14 και Εξ.17 προκύπτει:

$$\Delta H^{(1)} = H_1(U_1) - H_1(U_{\min 1}) = F_1(U_1) - F_1(U_{\min 1})$$
(22)

2) Το ολικό μέγιστο βρίσκεται στο τέλος του αγωγού ($H_{max}=H_1(U_0)$). Τότε προκύπτει:

$$\Delta H^{(2)} = H_1(U_0) - H_1(U_{\min 1}) = F_1(U_0) - F_1(U_{\min 1})$$
(23)

Εάν και οι 2 μεταβολές είναι μικρότερες ή ίσες από την μέγιστη επιτρεπτή ΔH_M τότε η διάμετρος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό ειδάλλως απορρίπτεται.

2.3. Συνολικό κόστος υπομονάδας

Μέχρι τώρα ελαχιστοποιήθηκε το κόστος των αγωγών C_p χρησιμοποιώντας τους αγωγούς μικρότερης διαμέτρου για το μέγιστο δυνατό μήκος ώστε να δημιουργείται μεταβολή του φορτίου πίεσης,ίση με τη μέγιστη επιτρεπτή. Για να προσδιοριστεί το συνολικό κόστος της υπομοναδας πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος ενέργειας C_{EN} που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος.

Το ετήσιο κόστος ενέργειας C_{ENh} (Ευρώ/έτος) είναι ίσο με:

$$C_{ENh} = \frac{Q_{in} \cdot H_{in}}{102 \cdot \eta} \cdot \frac{E_k O_t}{3600}$$
(24)

όπου

Q_{in} = παροχή εισόδου υπομονάδας σε L/h

H_{in} = φορτίο πίεσης στην είσοδο της υπομονάδας σε m, δηλαδή $H_{in}=H_2(U_2)$ για δευτερεύοντα αγωγό δύο διαμέτρων ή $H_{in}=H_1(U_1)$ όταν ο δευτερεύων αγωγός είναι μίας και μοναδικής διαμέτρου.

η = απόδοση αντλίας

E_k = κόστος κιλοβατώρας (Ευρώ/kWh)

O_t = ετήσιες ώρες λειτουργίας δικτύου (h)

Επειδή οι δαπάνες ενέργειας κατανέμονται μέσα σε όλη την ζωή του έργου γίνεται επικαιροποίηση χρησιμοποιώντας τον παράγοντα της παρούσας άξιας των χρημάτων του Pearson (1974)

$$E_{ea} = \frac{r\left[(1+e)^t - (1+r)^t\right]}{(e-r)\left[(1+r)^t - 1\right]}$$
(25)

όπου

e = πληθωριστική τάση ενέργειας

r = επιτόκιο που λαμβάνει υπόψη τον κίνδυνο της επένδυσης

t = έτη του κύκλου ζωής του έργου

Συνεπώς, το ετήσιο επικαιροποιημένο κόστος ενέργειας είναι:

$$C_{EN} = C_{ENh} \cdot E_{ea}$$ (26)

Λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή ανάκτηση κεφαλαίου (Keller and Bliesner, 1990)

$$CRF = \frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1}$$ (27) το συνολικό ετήσιο επικαιροποιημένο κόστος της υπομονάδας C_t είναι:

$$C_t = C_p CRF + C_{EN} \quad (28)$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΠΟΜΟΝΑΔΑΣ SDesigner

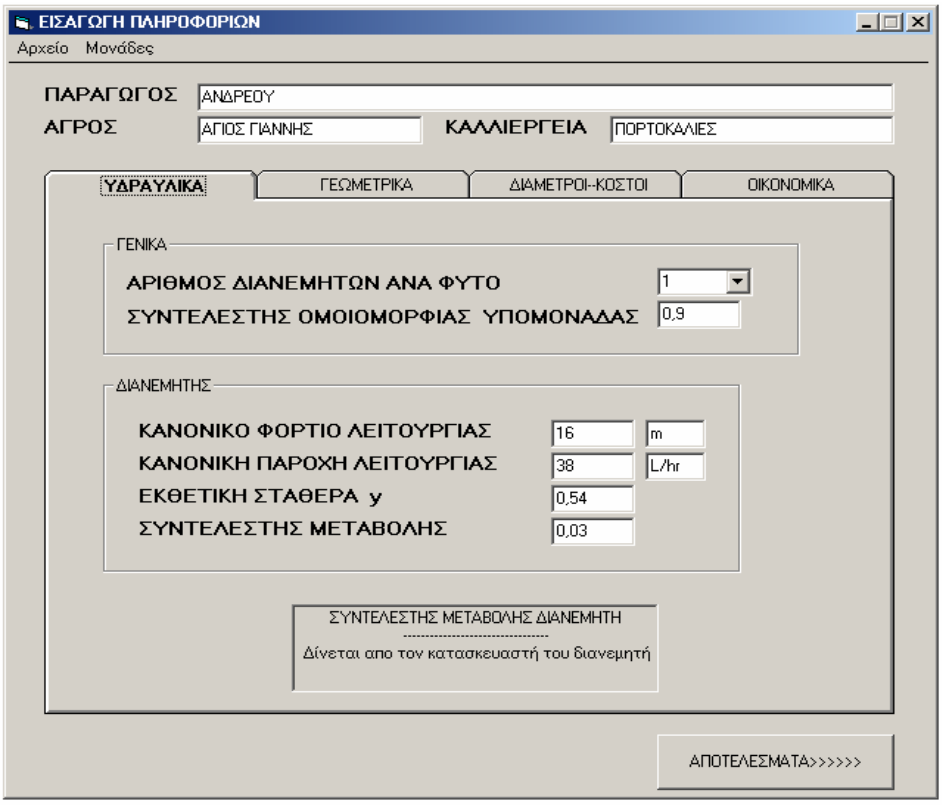
Η μέθοδος για το βέλτιστο σχεδιασμό της υπομονάδας που παρουσιάστηκε πιο πάνω μπορεί να δώσει λύση με εύκολο και ακριβή τρόπο για επιλεγμένες διαμέτρους αγωγών. Η ευρεία επιλογή διαμέτρων όμως που υπάρχουν στην αγορά οδηγεί σε μεγάλο αριθμό συνδυασμών τόσο στο δευτερεύοντα αγωγό (αφού μπορεί να απαρτίζεται από δύο διαμέτρους) όσο και μεταξύ του δευτερεύοντα και των πλευρικών, γεγονός που δυσκολεύει τους υπολογισμούς. Επιπλέον, οι 6 πιθανές περιπτώσεις μέγιστης μεταβολής του φορτίου πίεσης, που προκύπτουν από τη διερεύνηση σε αγωγό δύο διαμέτρων μπορούν να δώσουν μέχρι και 4 διαφορετικές λύσεις για κάθε συνδυασμό (δύο περιπτώσεις δεν δίνουν λύση). Επομένως, είναι αναγκαίο να διερευνηθούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των διαμέτρων ή τουλάχιστον το μεγαλύτερο μέρος αυτών ώστε να βρεθούν αυτοί που ικανοποιούν το υδραυλικό κριτήριο, να υπολογιστεί το κόστος του καθενός χωριστά και να επιλεχθεί ο οικονομικότερος.
Η παραπάνω διαδικασία αυτοματοποιήθηκε και επιταχύνθηκε σημαντικά με την ανάπτυξη της εφαρμογής **SDesigner** (Ασημακόπουλος, 2004).

3.1. Περιγραφή Εφαρμογής

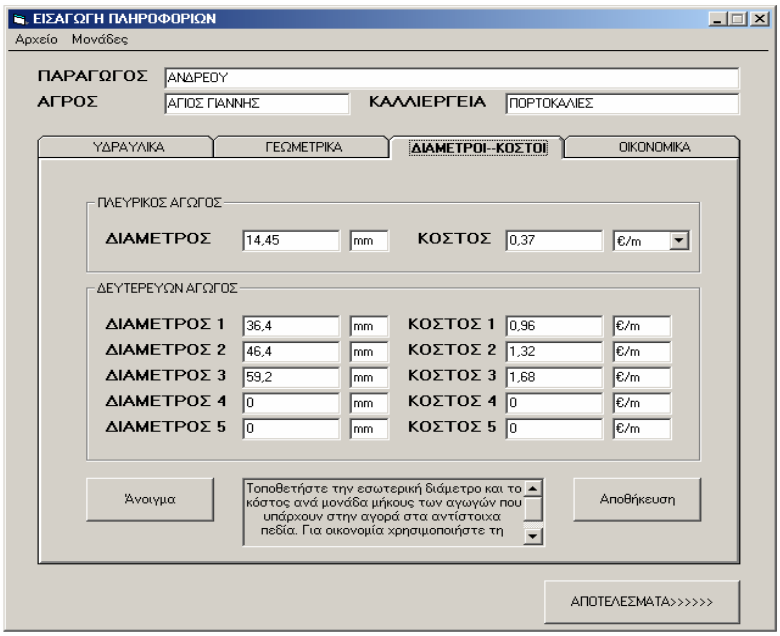
Η εφαρμογή **SDesigner,** η οποία έχει αναπτυχθεί με τη γλώσσα Visual Basic και λειτουργεί στο παραθυρικό λειτουργικό περιβάλλον MS Windows, περιλαμβάνει ένα πολύ εύχρηστο γραφικό περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη, ενώ παρέχει βοήθεια σε όλα τα στάδια της διαδικασίας υπολογισμού. Τα χαρακτηριστικά αυτά σε συνδυασμό με την απλοποιημένη μέθοδο υπολογισμού που αναλύεται παραπάνω καθιστούν την εφαρμογή αυτή πολύτιμο εργαλείο για τον υδραυλικό σχεδιασμό συστημάτων άρδευσης.
Η εφαρμογή χωρίζεται σε τρία βασικά μέρη:

- *Εισαγωγή Δεδομένων:* Τα δεδομένα εισάγονται σε μια κατάλληλα σχεδιασμένη φόρμα ενώ παρέχονται οδηγίες για την ορθή εισαγωγή των διαφόρων παραμέτρων. Τα κύρια στοιχεία που εισάγονται στην εφαρμογή είναι: αριθμός διανεμητών ανά φυτό, συντελεστής ομοιομορφίας της υπομονάδας, στοιχεία διανεμητή, κανονικό φορτίο λειτουργίας, κανονική παροχή λειτουργίας, εκθετική σταθερά νόμου παροχής διανεμητή, συντελεστής μεταβολής διανεμητή (από κατασκευαστή), απόσταση φυτών στη γραμμή άρδευσης, απόσταση γραμμών άρδευσης, κατά μήκος κλίση υπομονάδας, διάμετροι και κόστη πλευρικού και δευτερεύοντα, κύκλος ζωής Του έργου, κόστος ηλεκτρικού ρεύματος, ετήσιο επιτόκιο, ετήσιες ώρες λειτουργίας της υπομονάδας, απόδοση της αντλίας. Επίσης στη εισαγωγή των δεδομένων υπάρχουν επιλογές για την χρήση διαφορετικού συστήματος μονάδων και για την εισαγωγή δεδομένων που αφορούν το αγροτεμάχιο και τον παραγωγό. Παραδείγματα της φόρμας εισαγωγής δεδομένων φαίνονται στις Εικόνες 1 και 2.
- *Ρουτίνα υπολογισμού:* Κατά την εκτέλεση της ρουτίνας υπολογισμού αφού ελεγχθούν όλα τα δεδομένα εισόδου και γίνουν όλες οι απαραίτητες αλλαγές

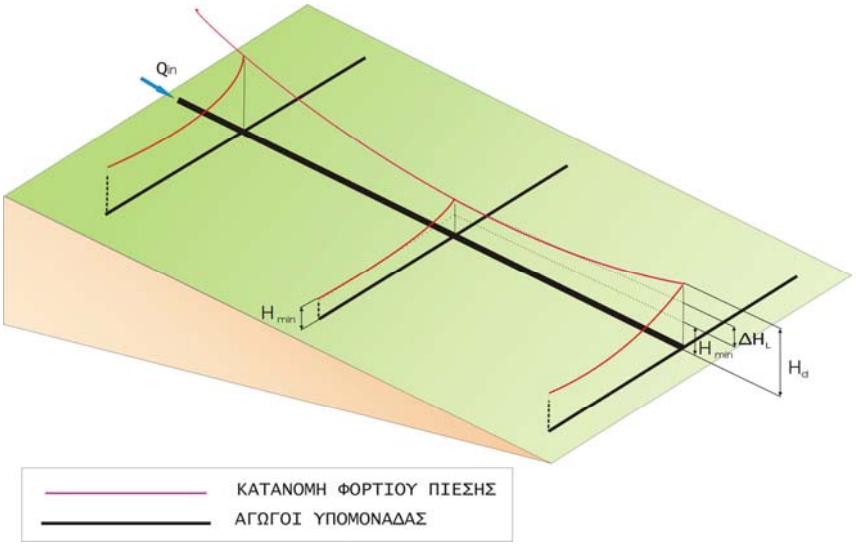
μονάδων, υπολογίζεται η μέγιστη επιτρεπτή μεταβολή του φορτίου πίεσης στην υπομονάδα. Κατόπιν πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί που αφορούν τον πλευρικό αγωγό οι οποίοι είναι: θέση που βρίσκεται το ελάχιστο φορτίο πίεσης της υπομονάδας, βέλτιστο μήκος του αγωγού, παροχή εισόδου, αριθμός διανεμητών και φορτίο εισόδου. Ακολουθεί ο υπολογισμός του μήκους του δευτερεύοντα. Στη συνεχεία, ακολουθεί μια επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία επιλέγονται διαδοχικά διάμετροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το τελευταίο τμήμα του αγωγού και κατόπιν διάμετροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το πρώτο τμήμα. Για κάθε ζεύγος διαμέτρων ακολουθεί διερεύνηση και γίνονται αποδεκτά μόνο τα ζεύγη που οι δύο διάμετροι είναι ίδιες (αγωγός μίας διαμέτρου) ή η διάμετρος στο δεύτερο τμήμα είναι μικρότερη από αυτή του πρώτου τμήματος. Για τα αποδεκτά ζευγάρια υπολογίζονται το σημείο αλλαγής διαμέτρου και η μέγιστη μεταβολή του φορτίου πίεσης. Με το τέλος αυτής της διαδικασίας και αφού επιλεγούν οι επιτρεπτές λύσεις υπολογίζονται όλα τα υπόλοιπα στοιχεία που αφορούν στο δίκτυο όπως η κατανομή του φορτίου πίεσης (Σχήμα 2) και το κόστος κατασκευής και λειτουργίας της κάθε λύσης. Το διάγραμμα λειτουργίας της ρουτίνας υπολογισμού φαίνεται στην Σχήμα 3.



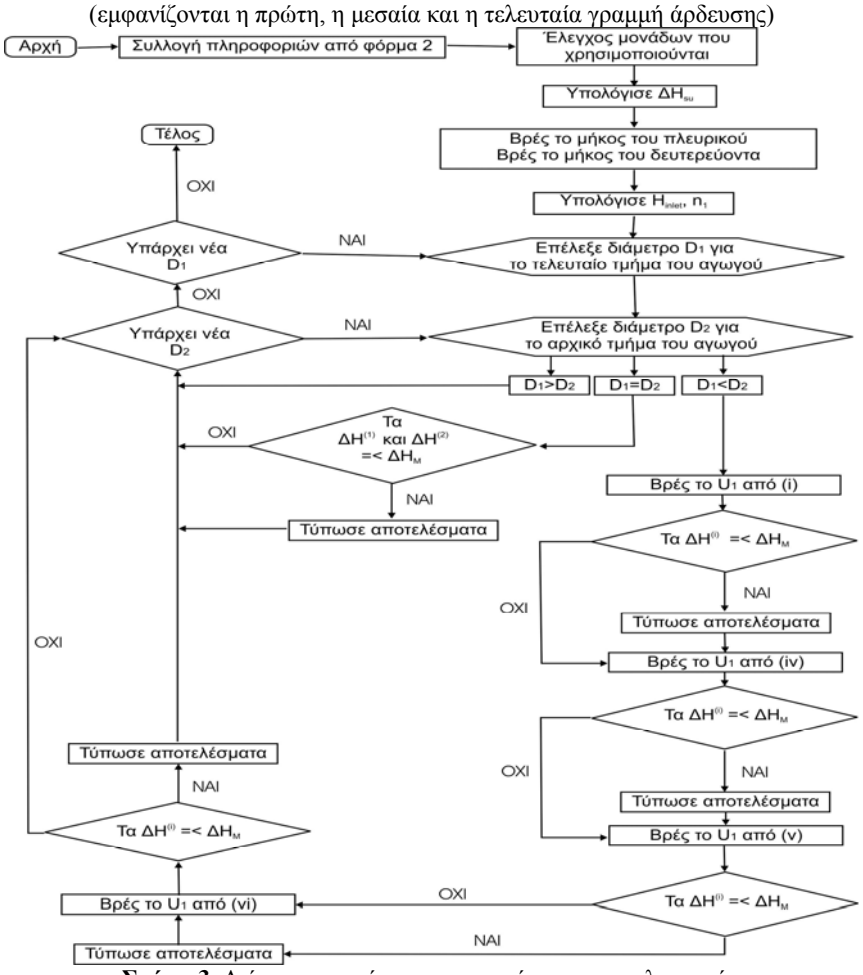
Εικόνα 1. Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων. Υδραυλικές Παράμετροι.



Εικόνα 2. Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων. Χαρακτηριστικά Αγωγών.

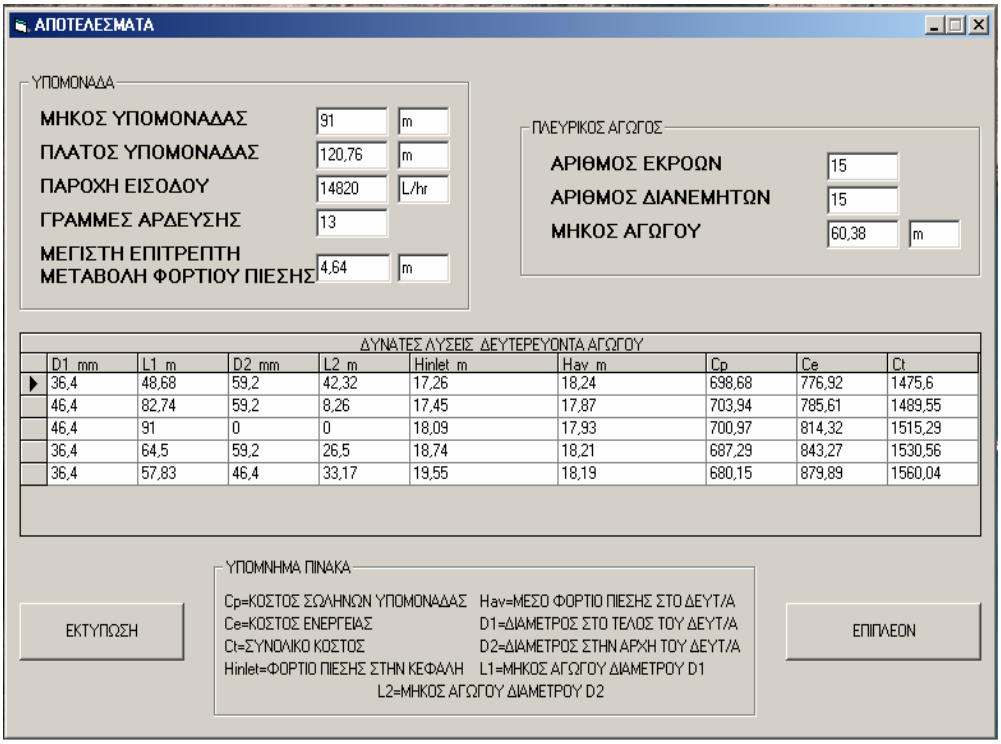


Σχήμα 2. Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής του φορτίου πίεσης σε υπομονάδα (εμφανίζονται η πρώτη, η μεσαία και η τελευταία γραμμή άρδευσης)

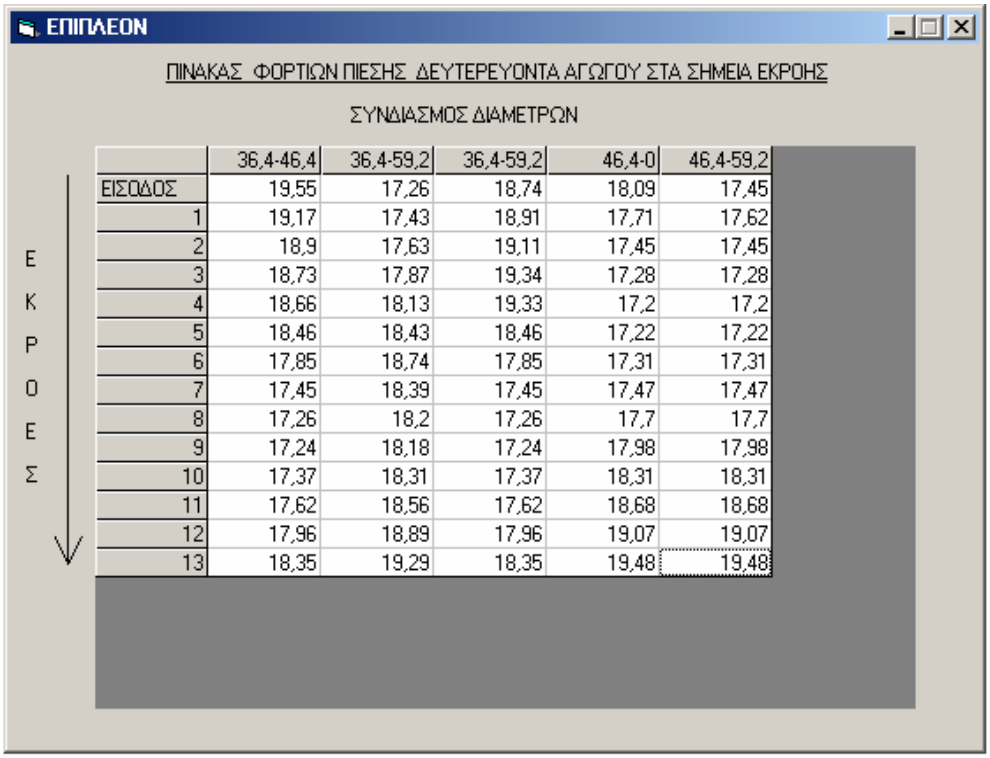


Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής της υπορουτίνας των υπολογισμών

– *Παρουσίαση Αποτελεσμάτων:* Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε δυο παράθυρα. Το πρώτο παράθυρο παρουσιάζεται αυτόματα μετά το τέλος των υπολογισμών (εικόνα 3α). Σε αυτό το παράθυρο φαίνονται όλοι οι επιτρεπτοί συνδυασμοί των διαμέτρων του δευτερεύοντα αγωγού μαζί με τα αποτελέσματα που τους αφορούν ταξινομημένοι σύμφωνα με το συνολικό κόστος της υπομονάδας που προκύπτει για κάθε συνδυασμό. Στο κάτω μέρος του παραθύρου υπάρχουν οι εξής επιλογές: «Εκτύπωση» (τυπώνει φόρμα με όλα τα δεδομένα εισαγωγής και όλα τα αποτελέσματα), «Επιπλέον» (ανοίγει δεύτερο παράθυρο αποτελεσμάτων - εικόνα 3β - όπου σε έναν πίνακα παρουσιάζονται τα φορτία πίεσης στις εκροές του δευτερεύοντα για κάθε αποδεκτό συνδυασμό διαμέτρων).


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΥΠΟΜΟΝΑΔΑ
ΜΗΚΟΣ ΥΠΟΜΟΝΑΔΑΣ 91 m
ΠΛΑΤΟΣ ΥΠΟΜΟΝΑΔΑΣ 120,76 m
ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΟΔΟΥ 14820 L/hr
ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ 13
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΠΙΕΣΗΣ 4,64 m
ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΑΓΩΓΟΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΚΡΟΩΝ 15
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΝΕΜΗΤΩΝ 15
ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ 60,38 m
ΔΥΝΑΤΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΑΓΩΓΟΥ
D1 mm | L1 m | D2 mm | L2 m | Hinlet m | Hav m | Cp | Ce | Ct
36,4 | 48,68 | 59,2 | 42,32 | 17,26 | 18,24 | 698,68 | 776,92 | 1475,6
46,4 | 82,74 | 59,2 | 8,26 | 17,45 | 17,87 | 703,94 | 785,61 | 1489,55
46,4 | 91 | 0 | 0 | 18,09 | 17,93 | 700,97 | 814,32 | 1515,29
36,4 | 64,5 | 59,2 | 26,5 | 18,74 | 18,21 | 687,29 | 843,27 | 1530,56
36,4 | 57,83 | 46,4 | 33,17 | 19,55 | 18,19 | 680,15 | 879,89 | 1560,04
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΠΙΝΑΚΑ
Cp=ΚΟΣΤΟΣ ΣΩΛΗΝΩΝ ΥΠΟΜΟΝΑΔΑΣ
Ce=ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Ct=ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
Hinlet=ΦΟΡΤΙΟ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ
Hav=ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΕΥΤ/Α
D1=ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΔΕΥΤ/Α
D2=ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ ΔΕΥΤ/Α
L1=ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ D1
L2=ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ D2
ΕΚΤΥΠΩΣΗ
ΕΠΙΠΛΕΟΝ

(α)



	36,4-46,4	36,4-59,2	36,4-59,2	46,4-0	46,4-59,2
ΕΙΣΟΔΟΣ	19,55	17,26	18,74	18,09	17,45
1	19,17	17,43	18,91	17,71	17,62
2	18,9	17,63	19,11	17,45	17,45
3	18,73	17,87	19,34	17,28	17,28
4	18,66	18,13	19,33	17,2	17,2
5	18,46	18,43	18,46	17,22	17,22
6	17,85	18,74	17,85	17,31	17,31
7	17,45	18,39	17,45	17,47	17,47
8	17,26	18,2	17,26	17,7	17,7
9	17,24	18,18	17,24	17,98	17,98
10	17,37	18,31	17,37	18,31	18,31
11	17,62	18,56	17,62	18,68	18,68
12	17,96	18,89	17,96	19,07	19,07
13	18,35	19,29	18,35	19,48	19,48

(β)

Εικόνα 3. Παράθυρα αποτελεσμάτων του προγράμματος

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Αναπτύχθηκε ένα εύχρηστο λογισμικό σε περιβάλλον φιλικό για τον χρήστη (Windows) που βοηθά στην βελτιστοποίηση συστημάτων μικροάρδευσης λαμβάνοντας υπόψη το κόστος των αγωγών, το κόστος ενέργειας και το υδραυλικό κριτήριο προκειμένου να υπάρξει η απαραίτητη ομοιομορφία στη άρδευση. Η χρήση του λογισμικού σε πολλές εφαρμογές θα αναδείξει την χρησιμότητά του και θα επιτρέψει πιθανές βελτιώσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASAE Standards, 1998. *Design and installation of microirrigation systems*. Am. Soc. of Agric. Engineers, St Joseph, MI, USA.

Bralts, V.F., Kelly S.F., Shayya W.H. and Segerlind L.J., 1993. *Finite element analysis of microirrigation hydraulics using a virtual emitter system*. Trans. ASAE, 36(3): 717-725.

Christiansen, J. E. (1942). "*Irrigation by sprinkling*." California Arg. Exp. Sta. Bull., 670.

Karmeli, D., and Keller, J. (1975). *Trickle irrigation design Glendora, California: Rain Bird Sprinkler manufacturing Corp.*

Keller, J. and Bliesner, R.D., 1990. *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Kang, V. and Nishiyama, S., 1996a. *Analysis and design of microirrigation laterals*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 122(2): 75-82.

Kang, V. and Nishiyama, S., 1996b. *Design of microirrigation submain units*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 122(2): 83-89.

Pearson, G. F. 1974. *Life-cycle costing in an energy crisis era.* Professional Engineer, July, 1974:26-29.

Scaloppi, E. J., and Allen, R. G. (1993). "*Hydraulics of irrigation laterals: Comparative analysis*." J. Irrig. Drain. Eng., 119(1), 91-115.

Valiantzas, J.D., 1998. *Analytical approach for direct drip lateral hydraulic calculation.* J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 124(6): 300-305.

Valiantzas, J. D., 2002a. *Continuous outflow variation along irrigation laterals: Effect of the number of outlets*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE , 128(1): 34-42.

Valiantzas, J. D., 2002b. *Hydraulic analysis and optimum design of multi-diameter irrigation laterals*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 128(2): 78-86 .

Valiantzas, J.D., 2003a. *Explicit hydraulic design of microirrigation submain units with tapered manifold and laterals*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 129(4), 227-236.

Valiantzas, J. D., 2003b. *Inlet pressure, energy cost and economic design of tapered irrigation submains*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 129(2), 100-107.

Wu. I.P., 1997. *An assessment of hydraulic design of microirrigation systems*. Agric. Water Management, 32: 275-284.

Wu, I.P. and Gitlin, H.M., 1975. *Energy gradient line for drip irrigation laterals*. J. Irrig. and Drain. Div., ASCE, 101(4): 323-326**.**

Ασημακόπουλος Ι., 2004. *Σχεδίαση συστημάτων μικροάρδευσης σε επικλινή εδάφη με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών,* Πτυχιακή μελέτη, ΓΠΑ, σελ 46.

Βαλιάντζας, Ι.Δ., (2003). *Βέλτιστος σχεδιασμός συστημάτων μικροάρδευσης σε επικλινή εδάφη*. 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ενωσης, Θεσσαλονίκη, σσ. 233-240.

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Μ. Θεοχάρης*, Χ. Τζιμόπουλος, Σ. Γιαννόπουλος**, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη*****

* ΤΕΙ Ηπείρου, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής , 47100 Άρτα , theoxar@teiep.gr
** Α.Π.Θ., Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών , 54006, Θεσσαλονίκη
*** Παν. Θεσσαλίας ,Τμήμα Γεωπ. Φυτ. Παραγ. και Αγροτ. Περιβάλλ. , 38334 Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο προσδιορισμός του βέλτιστου συνδυασμού των διαμέτρων για την ελαχιστοποίηση του κόστους ενός αρδευτικού δικτύου με εφαρμογή των κλασσικών μεθόδων, απαιτεί πολλές και κοπιαστικές πράξεις, γεγονός το οποίο καθιστά πρακτικά δύσκολη τόσο την εφαρμογή τους, όσο και την εποπτεία και έλεγχο των διαφόρων φάσεων υπολογισμού. Στην παρούσα μελέτη αναπτύσσεται μία απλοποιημένη συνεχής μέθοδος βελτιστοποίησης με μη γραμμικό προγραμματισμό, η οποία οδηγεί στα ίδια ακριβώς αποτελέσματα με τη γενική συνεχή μέθοδο βελτιστοποίησης μη γραμμικού προγραμματισμού. Για το λόγο αυτό μπορεί να υποκαταστήσει την κλασσική μέθοδο με άριστα αποτελέσματα.

A SIMPLIFIED CONTINUOUS OPTIMIZATION METHOD FOR IRRIGATION NETWORKS

M. Theocharis*, C. Tzimopoulos, S. Yannopoulos***, M. Sakellariou - Makrantonaki *****

* Tech. Educ. Inst. of Epirus, Dep. of Crop Production , 47100 Arta, Greece
** Arist. Univ. of Thessalon, Dep. of Rural and Surv. Engs, 54006, Thessaloniki,Greece
*** Univ. of Thessaly, Dep. of Agric., Crop Prod., and Rur. Env., 38334,Volos, Greece

ABSTRACT

The use of optimal pipe diameters method in order to minimize the cost of an irrigation network with common optimization methods, calls for a lot and complex calculations. For this reason the application of the methods as well as the supervision and the control of the various calculations is time-consuming and difficult. In this paper a simplified continuous nonlinear optimization method is developed, giving results of the same accuracy with the classic nonlinear optimization method and therefore can be easy applied in the irrigation networks study.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης τυχόντος ακτινωτού δικτύου με τη συνεχή μέθοδο μη γραμμικού προγραμματισμού, ανάγεται στη μόρφωση ενός συστήματος στο οποίο οι άγνωστοι είναι τα διαθέσιμα υδραυλικά φορτία των κλάδων του δικτύου. Το σύστημα επιδέχεται απλή αναλυτική λύση μόνο για την περίπτωση δικτύου με αγωγούς στη σειρά, ενώ για κάθε δίκτυο με διακλαδώσεις το υπόψη σύστημα αποτελείται από n + k εξισώσεις, [n είναι ο αριθμός των τροφοδοτούντων κλάδων και k είναι ο αριθμός των περάτων του δικτύου] δεν είναι γραμμικό και η μαθηματική επίλυσή του είναι αδύνατη. Σε αυτή την περίπτωση η αναζήτηση της αριθμητικής λύσης του συστήματος επιτυγχάνεται με διαδοχικές προσεγγίσεις, μία διαδικασία που απαιτεί πολλές και κοπιαστικές πράξεις ιδιαίτερα για περιπτώσεις δικτύου με πολλές διακλαδώσεις [1,2,3, 5,6,7]. Διάφοροι ερευνητές [1,3,6] επεχείρησαν κατά το παρελθόν να αντιμετωπίσουν την παραπάνω δυσχέρεια και εισηγήθηκαν απλουστευμένους τρόπους υπολογισμού των διαθέσιμων υδραυλικών φορτίων των αγωγών του δικτύου. Στην παρούσα μελέτη αναπτύσσεται μία απλοποιημένη συνεχής μέθοδος βελτιστοποίησης η οποία οδηγεί στα ίδια ακριβώς αποτελέσματα με τη γενική συνεχή μέθοδο βελτιστοποίησης με χρησιμοποίηση των πολλαπλασιαστών Lagrange. Για το λόγο αυτό μπορεί να υποκαταστήσει την κλασσική μέθοδο με άριστα αποτελέσματα.

2. ΟΙ ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το προς επίλυση σύστημα στο οποίο ανάγεται το πρόβλημα της βελτιστοποίησης ενός ακτινωτού δικτύου σύμφωνα με τη γενική συνεχή μη γραμμική μέθοδο βελτιστοποίησης, με χρησιμοποίηση των πολλαπλασιαστών Lagrange [1,3,5,7] είναι:

$$\left[\frac{\Phi_i}{\Delta H_i}\right]^{\omega} = \sum_{r=i}^{n}\sum_{j=1}^{p}\left[\frac{\Phi_{\pi rj}}{\Delta H_{\pi rj}}\right]^{\omega} \qquad i = 1, 2, \ldots, r, \ldots n \tag{1}$$

όπου:

$$\Delta H_{\pi_{rj}} = (H_A - H_{\pi_{rj}}) - \sum_{i=1}^{r}\Delta H_i \tag{2}$$

Στις παραπάνω σχέσεις είναι:

$$\omega = 1 + 0{,}2\nu, \tag{3}$$

$$\Phi_i = \sum_{t=1}^{v}\varphi_i = \sum_{t=1}^{v}\left[\frac{A}{1{,}6465^{\nu}} f^{\frac{\nu\omega}{\nu+5}} L_{it} Q_{it}^{0,4\nu}\right]^{\frac{1}{\omega}}, \tag{4}$$

$$\Phi_{\pi_{rj}} = \sum_{b=1}^{\tau}\varphi_{rjb} = \sum_{q=1}^{\tau}\left[\frac{A}{1{,}6465^{\nu}} f^{\frac{\nu\omega}{\nu+5}} L_{rjb} Q_{rjb}^{0,4\nu}\right]^{\frac{1}{\omega}}. \tag{5}$$

Α και ν είναι παράμετροι της συνάρτησης κόστους του Mandry [4] :

$$\delta = A.D^{\nu}, \tag{6}$$

f είναι ο συντελεστής τριβών που υπολογίζεται από την εξίσωση των Colebrook–White και για τους συμβολισμούς γίνεται αναφορά παρακάτω (παρ .3.1).

Η επίλυση του συστήματος γίνεται με τη μέθοδο της τέμνουσας ως εξής: Με βάση τις επιλεγμένες τιμές οι οποίες προκύπτουν από τη μέση κλίση της πλήρους διαδρομής με την ελάχιστη μέση κλίση $\Delta H_{i(1)}$ και $\Delta H_{\pi rj(1)}$,υπολογίζονται οι ποσότητες F_i και G_i, που είναι οι τιμές των πρώτων και των δεύτερων μελών των πρώτων εξισώσεων του συστήματος. Κατόπιν υπολογίζονται διαδοχικά οι παράγωγοι αυτών:

$$F'_{i(1)} = \frac{\partial F_{i(1)}}{\partial \Delta H_{i(1)}} = -\frac{\omega}{\Delta H_{i(1)}}\left[\frac{\Phi_i}{\Delta H_{i(1)}}\right]^{\omega} \quad , \tag{7}$$

$$G'_{i(1)} = \frac{\partial G_{i(1)}}{\partial \Delta H_{i(1)}} = -\frac{\omega}{\Delta H_{\pi rj(1)}}\left[\frac{\Phi_{\pi rj}}{\Delta H_{\pi rj(1)}}\right]^{\omega} , \tag{8}$$

$$F_{i(2)} = \frac{F_{i(1)} - G_{i(1)}\dfrac{F'_{i(1)}}{G'_{i(1)}}}{1 - \dfrac{F'_{i(1)}}{G'_{i(1)}}} \qquad (9), \Delta H_{i(2)} = \frac{\Phi_i}{F_{i(2)}^{1/\omega}} \tag{10}$$

και $$\Delta H_{\pi rj(2)} = (H_A - H_{\pi rj}) - \sum_{i=1}^{r} \Delta H_{i(2)} \, . \tag{11}$$

Κατ' αυτό τον τρόπο προκύπτουν οι τιμές των $\Delta H_{i(2)}$ και των $\Delta H_{\pi rj(2)}$ της πρώτης επανάληψης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου οι τιμές να συγκλίνουν.

Ο Θεοχάρης [3], ανέπτυξε το πρόβλημα στηριζόμενος στην παρατήρηση ότι, ο κάθε τροφοδοτούμενος κλάδος ενός ακτινωτού δικτύου τείνει να ανυψώσει την οικονομική πιεζομετρική γραμμή στους κόμβους διακλάδωσης, πάνω από την οικονομική πιεζομετρική γραμμή του δικτύου το οποίο δεν περιλαμβάνει τον κλάδο αυτό. Έτσι εάν εκλεγεί η πλήρης διαδρομή του δικτύου η οποία παρουσιάζει την ελάχιστη μέση κλίση και αγνοηθούν όλες οι υπόλοιπες διαδρομές, είναι δυνατό να υπολογιστούν τα διαθέσιμα πιεζομετρικά φορτία, $\Delta H'_i$,των τροφοδοτούντων κλάδων οι οποίοι ανήκουν σε αυτή την πλήρη διαδρομή, από τη σχέση :

$$\Delta H'_i = \frac{\Phi_i}{\sum_{i=1}^{r} \Phi_i + \Phi_{\pi rj}} \left(H_A - H_{\pi rj} \right) \tag{12}$$

Τα $\Delta H'_i$ που υπολογίζονται με τον παραπάνω απλοποιημένο τρόπο, έχουν σημαντικές αποκλίσεις από τις τιμές των ΔH_i της γενικής μη γραμμικής μεθόδου, αφού το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της τάξεως του 25 %. *Ωστόσο προσδιορίζουν τις οικονομικές διαμέτρους του δικτύου με ικανοποιητική προσέγγιση*, αφού το μέσο τετραγωνικό σφάλμα σε αυτή την περίπτωση ισούται με το 4 % του σφάλματος υπολογισμού των πιεζομετρικών φορτίων, είναι δηλαδή της τάξεως του 1 %. Για την αντιμετώπιση της αδυναμίας αυτής προτείνεται από τον ίδιο ερευνητή όπως, παράλληλα με την παράλειψη των τροφοδοτούμενων κλάδων του δικτύου, συγχρόνως να παραλειφθούν και οι παροχές αυτών, δηλαδή να αντικατασταθεί η παροχή των τροφοδοτούντων κλάδων με την

τιμή της παροχής που θα προέκυπτε αν δεν υπήρχαν οι καταργούμενοι τροφοδοτούμενοι κλάδοι.

3. Η ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1 Συμβολισμοί

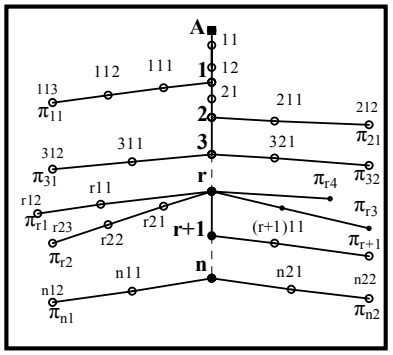
Για την επεξεργασία του προβλήματος είναι αναγκαία η εισαγωγή ορισμένων συμβολισμών οι οποίοι αφορούν τόσο το πραγματικό όσο και το ιδεατό δίκτυο.

3.1.1 Το πραγματικό δίκτυο

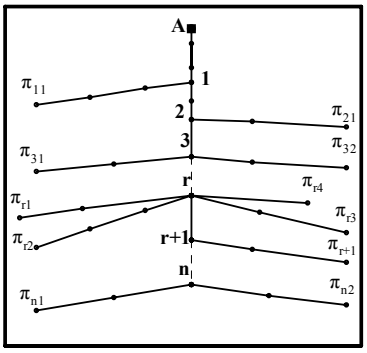
Κάθε κόμβος διακλάδωσης του δικτύου χαρακτηρίζεται με το i και αριθμείται από τα ανάντη προς τα κατάντη με αριθμό i = 1, 2,…, r ,…, n, όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των κόμβων διακλάδωσης του δικτύου. Κάθε τροφοδοτών κλάδος χαρακτηρίζεται με το σύμβολο του κατάντη κόμβου διακλάδωσης i. Κάθε τροφοδοτούμενος κλάδος του δικτύου χαρακτηρίζεται με το π_{rj}, όπου r = 1, 2,…, n είναι ο κόμβος διακλάδωσης από τον οποίο τροφοδοτείται ο κλάδος και j = 1, 2,…, p είναι ο αριθμός των τροφοδοτούμενων κλάδων με κεφαλή τον κόμβο r. Κάθε αγωγός του τροφοδοτούντα κλάδου, i, χαρακτηρίζεται με το it, όπου t = 1, 2,…, v είναι ο αριθμός των αγωγών του υπόψη τροφοδοτούντα κλάδου. Κάθε αγωγός του τροφοδοτούμενου κλάδου, π_{rj}, χαρακτηρίζεται με το rjb, όπου b = 1, 2,…, τ είναι ο αριθμός των αγωγών του υπόψη τροφοδοτούμενου κλάδου. Στο σχήμα 1 απεικονίζεται ένα δίκτυο με τους συμβολισμούς που περιγράφονται παραπάνω.

3.1.2 Το ιδεατό δίκτυο

Θεωρείται ότι το δίκτυο αποτελείται μόνο από κλάδους και, αφού απαλειφθούν έτσι οι απλοί κόμβοι, διατηρούνται μόνο οι κόμβοι διακλαδώσεων. Έτσι το πραγματικό δίκτυο του σχήματος 1 παίρνει την ιδεατή μορφή του σχήματος 2. Κάθε κλάδος χαρακτηρίζεται με το σύμβολο του κατάντη κόμβου διακλάδωσης, ή πέρατος. Κάθε κόμβος διακλάδωσης του δικτύου, χαρακτηριζόμενος με το i, αριθμείται από τα ανάντη προς τα κατάντη με αριθμό i = 1, 2,…, r ,…, n, όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των κόμβων διακλάδωσης του δικτύου.



Σχήμα 1. Πραγματικό ακτινωτό δίκτυο



Σχήμα 2. Ιδεατό ακτινωτό δίκτυο

3.2 Το μαθηματικό πρόβλημα

Όπως προαναφέρθηκε, σύμφωνα με τη γενική μέθοδο βελτιστοποίησης για τον i τροφοδοτούντα κλάδο της πλήρους διαδρομής Α-π_{rj} ισχύει η σχέση (1).
Αν Α-π_{kq} είναι η πλήρης διαδρομή με την ελάχιστη μέση κλίση, οι απώλειες $\Delta H\pi_{rj}$ του τροφοδοτούμενου κλάδου π_{rj} του δικτύου, μπορούν να γραφούν με τη μορφή:

$$\Delta H_{\pi rj} = \Delta H_{\pi kq} \frac{\alpha_{rj} L_{rj}}{\alpha_{kq} L_{kq}} \tag{13}$$

όπου α_{rj} είναι η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής του τροφοδοτούμενου κλάδου π_{rj} και α_{kq} είναι η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής του τροφοδοτούμενου κλάδου της πλήρους διαδρομής με την ελάχιστη μέση κλίση. Η σχέση (1) λόγω της (13) γίνεται:

$$\left[\frac{\Phi_i}{\Delta H_i}\right]^{\omega} = \sum_{r=i}^{n}\sum_{j=1}^{p}\left[\frac{\Phi_{\pi rj}}{\Delta H_{\pi kq}\dfrac{\alpha_{rj} L_{rj}}{\alpha_{kq} L_{kq}}}\right]^{\omega} \tag{14}$$

Από τη σχέση (14) προκύπτει ότι:

$$\Delta H_i = \Delta H_{\pi kq} \frac{\Phi_i}{\left[\sum_{r=i}^{n}\sum_{j=1}^{p}\left[\dfrac{\Phi_{\pi rj}}{\dfrac{\alpha_{rj} L_{rj}}{\alpha_{kq} L_{kq}}}\right]^{\omega}\right]^{1/\omega}} \tag{15}$$

Για την πλήρη διαδρομή με την ελάχιστη μέση κλίση, Α - π_{kq} , ισχύει ότι:

$$H_A - H_{\pi kq} = \sum_{i=1}^{k} \Delta H_i + \Delta H_{\pi kq} \tag{16}$$

Από τις σχέσεις (15) και (16) προκύπτει:

$$\frac{H_A - H_{\pi kq}}{\Delta H_{\pi kq}} = \Lambda_{kq} \tag{17}$$

όπου:
$$\Lambda_{kq} = 1 + \sum_{i=1}^{k} \frac{\Phi_i}{\left[\sum_{r=i}^{n}\sum_{j=1}^{p}\left[\dfrac{\Phi_{\pi rj}}{\dfrac{\alpha_{rj} L_{rj}}{\alpha_{kq} L_{kq}}}\right]^{\omega}\right]^{1/\omega}} \tag{18}$$

Επομένως:

$$\Delta H_{\pi kq} = \frac{H_A - H_{\pi kq}}{\Lambda_{kq}} \tag{19}$$

Η ποσότητα Λ_{kq} διαμορφώνεται από τα γεωμετρικά και τα υδραυλικά δεδομένα του δικτύου και μόνο οι λόγοι $\frac{\alpha_{rj}}{\alpha_{kq}}$ είναι άγνωστοι. Για κάθε τροφοδοτούμενο κλάδο ο αντίστοιχος λόγος θεωρητικά μπορεί να μεταβάλλεται από 1 έως ∞ ανάλογα με την απόκλιση της κλίσης του κλάδου από την κλίση του κλάδου της πλήρους διαδρομής με την ελάχιστη μέση κλίση. [Αν για όλους τους τροφοδοτούμενους κλάδους εκτός από τον κλάδο της πλήρους διαδρομής με την ελάχιστη μέση κλίση θεωρηθεί ότι $\alpha_{rj} = \infty$, τότε προκύπτουν τα αποτελέσματα της μεθόδου Μ. Θεοχάρη [3]]. Για τους τροφοδοτούμενους κλάδους του δικτύου ισχύουν τα εξής: α) Όλες οι κλίσεις α_{rj} είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες μέσες κλίσεις $\alpha_{\mu rj}$ με μοναδική εξαίρεση τον τροφοδοτούμενο κλάδο της διαδρομής με την ελάχιστη μέση κλίση για τον οποίο ισχύει $\alpha_{kq} < \alpha_{\mu kq}$ [3]. β) Η απόκλιση των α_{rj} από τις αντίστοιχες $\alpha_{\mu rj}$ είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο η $\alpha_{\mu rj}$ μικραίνει και όσο ο αριθμός των τροφοδοτούμενων κλάδων αυξάνει. Για τις συνήθεις περιπτώσεις είναι $\frac{\alpha_{rj}}{\alpha_{\mu rj}} = c_1 = = 1{,}15 \div 1{,}17$. γ) Όσο ο αριθμός των τροφοδοτούμενων κλάδων αυξάνει τόσο η κλίση α_{kq} μεγαλώνει και πλησιάζει την μέση κλίση $\alpha_{\mu kq}$ [3]. Για τις συνήθεις περιπτώσεις, ήτοι για αριθμό τροφοδοτούμενων κλάδων από 2 έως 20 είναι $\frac{\alpha_{kq}}{\alpha_{\mu kq}} = c_2 = 0{,}85 \div 0{,}89$. Άρα $\frac{\alpha_{rj}}{\alpha_{kq}} = \frac{c_1 \alpha_{\mu rj}}{c_2 \alpha_{\mu kq}} = C \frac{\alpha_{\mu rj}}{\alpha_{\mu kq}}$. δ) Για τον τροφοδοτούμενο κλάδο της πλήρους διαδρομής με την ελάχιστη μέση κλίση θα είναι C =1 και για όλους τους τροφοδοτούμενους κλάδους του δικτύου θα είναι $C = \frac{c_1}{c_2} \cong 1{,}31 \div 1{,}36$.

3.3 Πειραματικός υπολογισμός του C

Για τον πειραματικό προσδιορισμό του συντελεστή C, ένας αριθμός επιλεγμένων δικτύων επιλύεται α) με τη γενική μη γραμμική μέθοδο βελτιστοποίησης, οπότε προκύπτουν τα ΔH_i των τροφοδοτούντων κλάδων του δικτύου και β) με την προτεινόμενη μέθοδο για C κυμαινόμενο από 1 έως ∞, οπότε προκύπτουν για κάθε C τα αντίστοιχα $\Delta H_i'$. Στα επιλεγέντα δίκτυα ως φορτίο κεφαλής λήφθηκε H_A= 89,30 m και ως ύψος πίεσης στις υδροληψίες επελέγη 25 m. Τα γεωμετρικά και υδραυλικά στοιχεία του σχήματος 3 ισχύουν ανάλογα και για τις περιπτώσεις των σχημάτων 4 και 5. Τα μήκη εκφράζονται σε m και οι παροχές σε l/s. Υπολογίζεται στην συνέχεια το ανηγμένο τετραγωνικό σφάλμα:

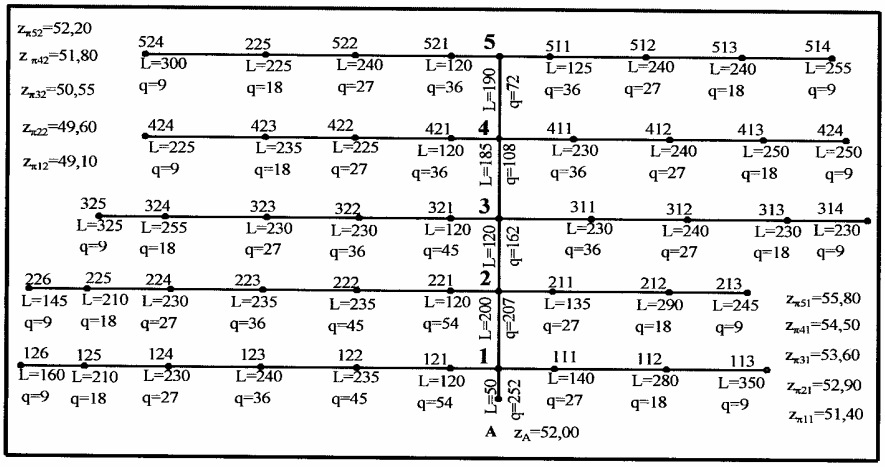
$$\varepsilon_i^2 = 100\left(\frac{\Delta H_i - \Delta H_i'}{\Delta H_i}\right)^2 \qquad (20)$$

καθώς και το ανηγμένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα:

$$\varepsilon_\mu = \frac{\sum_{i=1}^{r} (\varepsilon_i)^2}{r} \qquad (21)$$

για όλα τα C. Κατασκευάζονται τα διαγράμματα $\varepsilon_\mu - C$ και προσδιορίζεται το C για το οποίο προκύπτει το ελάχιστο ε_μ . Από τα παραδείγματα αυτά, αλλά και από μεγάλο αριθμό άλλων παραδειγμάτων που έγιναν από τους συγγραφείς, διαπιστώνεται ότι για $C \cong 1{,}32$ το ανηγμένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα είναι ασήμαντο και επομένως προκύπτει απόλυτη ταύτιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

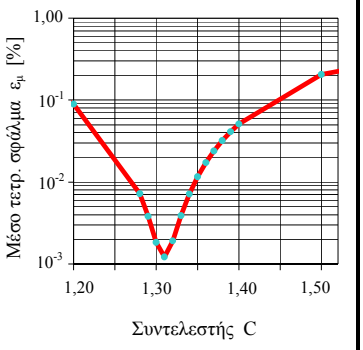
3.3.1 Δίκτυο με δέκα τροφοδοτούμενους κλάδους



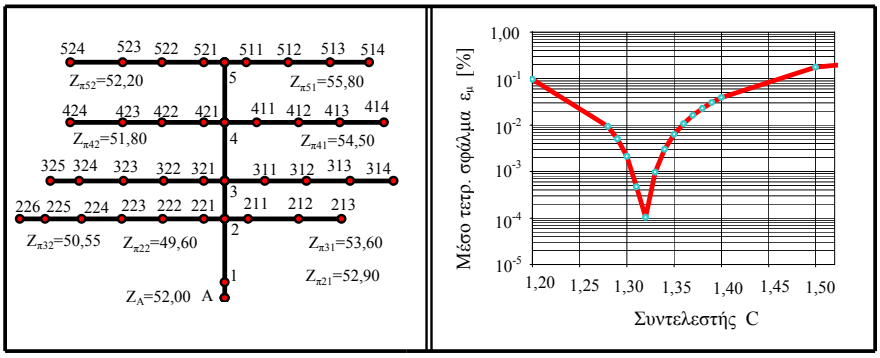
Σχήμα 3. Ακτινωτό δίκτυο με δέκα τροφοδοτούμενους κλάδους

Πίνακας 1. Αποτελέσματα επίλυσης με τις δύο μεθόδους

C ↓	Απλοποιημένη μέθοδος					ΜΤΣ	Κλασσική μέθοδος				
	$\Delta H'_1$ [m]	$\Delta H'_2$ [m]	$\Delta H'_3$ [m]	$\Delta H'_4$ [m]	$\Delta H'_5$ [m]	ε_μ [%]	ΔH_1 [m]	ΔH_2 [m]	ΔH_3 [m]	ΔH_4 [m]	ΔH_5 [m]
							0,310	1,224	0,731	1,126	1,322
1,10	0,288	1,131	0,682	1,071	1,317	0,355					
1,20	0,299	1,176	0,706	1,098	1,319	0,089					
1,28	0,308	1,208	0,724	1,117	1,320	0,007					
1,30	0,310	1,216	0,728	1,122	1,320	0,002					
1,32	0,313	1,224	0,732	1,126	1,319	0,002					
1,34	0,315	1,232	0,736	1,130	1,319	0,007					
1,36	0,317	1,239	0,740	1,134	1,319	0,017					
1,38	0,319	1,246	0,743	1,138	1,318	0,032					
1,40	0,321	1,254	0,747	1,142	1,318	0,051					
1,50	0,330	1,288	0,765	1,160	1,315	0,205					
∞	0,561	2,021	1,065	1,326	1,099	27,022					

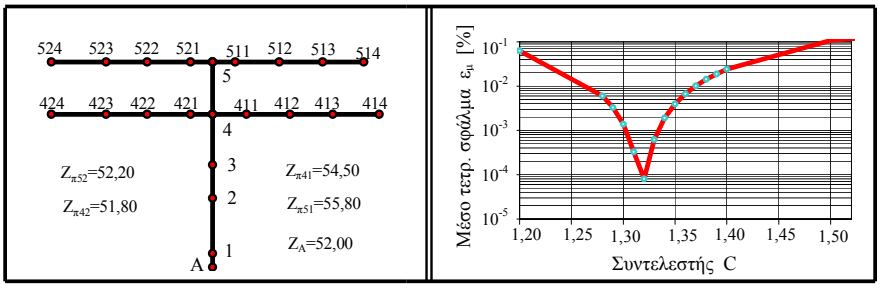


3.3.2 Δίκτυο με οκτώ τροφοδοτούμενους κλάδους



Σχήμα 4. Υπολογισμός του C για δίκτυο με τέσσερες τροφοδοτούμενους κλάδους

3.3.3 Δίκτυο με τέσσερες τροφοδοτούμενους κλάδους



Σχήμα 5. Υπολογισμός του C για δίκτυο με τέσσερες τροφοδοτούμενους κλάδους

3.4 Υπολογιστική διαδικασία προσδιορισμού των $\Delta H_i'$

Ο υπολογισμός των οικονομικών απωλειών φορτίου των κλάδων του δικτύου σύμφωνα με την προτεινόμενη απλοποιημένη μέθοδο, γίνεται με την επόμενη διαδικασία:

α. Υπολογίζονται οι μέσες κλίσεις $\alpha_{\mu rj}$ όλων των πλήρων διαδρομών του δικτύου και από αυτές επιλέγεται η ελάχιστη, η $\alpha_{\mu kq}$.

β. Για κάθε *τροφοδοτούμενο* κλάδο π_{rj} του δικτύου υπολογίζεται η ποσότητα:

$$\beta_{\pi rj} = \left[\frac{\Phi_{\pi rj}}{C \dfrac{\alpha_{\mu rj} L_{rj}}{\alpha_{\mu kq} L_{kq}}} \right]^{\omega} \qquad (22)$$

Για τον τροφοδοτούμενο κλάδο της πλήρους διαδρομής με την ελάχιστη μέση κλίση είναι $\beta_{\pi kq} = \Phi_{\pi kq}^{\omega}$.

γ. Για τον κάθε *τροφοδοτούντα* κλάδο του δικτύου υπολογίζεται η ποσότητα :

$$\Lambda_i = \frac{\Phi_i}{\left[\sum_{r=i}^{n}\sum_{j=1}^{p}\beta_{\pi rj}\right]^{1/\omega}} \quad \text{όπου} \quad i = 1, 2, \ldots, r, \ldots n \tag{23}$$

δ. Υπολογίζεται η ποσότητα $\Lambda_{kq} = \sum_{i=1}^{k}\Lambda_i + 1$ (24)

ε. Υπολογίζεται το $\Delta H'_{\pi kq} = \frac{H_A - H_{\pi kq}}{\Lambda_{kq}}$ (25)

στ. Τέλος από τις σχέσεις (15), (23) και (25) προκύπτουν :

$$\Delta H'_i = \Delta H'_{\pi kq}\Lambda_i \tag{26}$$

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη συγκριτική μελέτη των δύο μεθόδων προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Το ανηγμένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα κατά τον υπολογισμό του διαθέσιμου πιεζομετρικού φορτίου των κλάδων του δικτύου είναι μικρότερο από 0,01 % όταν ο συντελεστής C παίρνει τιμές κυμαινόμενες από 1,31 έως 1,35. Το ελάχιστο ανηγμένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα παρατηρείται για C ≅ 1,32 και είναι της τάξεως του 0,001 % .
- Από την εξίσωση των Darcy-Weiscbach προκύπτει ότι το ανηγμένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα κατά τον υπολογισμό των διαμέτρων των αγωγών είναι το 4 % του μέσου τετραγωνικού σφάλματος που προκύπτει κατά τον υπολογισμό των απωλειών φορτίου ήτοι είναι της τάξεως του 0,00004 %. Επομένως το σφάλμα είναι ασήμαντο και *οι δύο μέθοδοι ταυτίζονται απολύτως*.
- Η απαιτουμένη υπολογιστική εργασία για τον καθορισμό των διαθέσιμων υδραυλικών φορτίων σύμφωνα με την απλοποιημένη μέθοδο είναι *πολύ μικρότερη* από την αντίστοιχη σύμφωνα με τη γενική μέθοδο, δεδομένου ότι για την τελευταία απαιτείται κατάστρωση προγράμματος στον υπολογιστή ακόμη και για μικρά δίκτυα, ενώ για την προτεινόμενη μέθοδο απαιτείται ένας απλός υπολογιστής τεσσάρων πράξεων και καμμία γνώση προγραμματισμού. Δικαιολογείται, επομένως, πλήρως να προτιμάται η χρησιμοποίηση της απλοποιημένης μεθόδου αντί των άλλων μεθόδων βελτιστοποίησης κατά τη μελέτη των ακτινωτών δικτύων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαμβακερίδου. Λ. 1990. Δίκτυα υδρεύσεων - αρδεύσεων υπό πίεση. Επίλυση – βελτιστοποίηση. Αθήνα.
2. Chiplunkar. A. V. and Khanna. P..1983. Optimal design of branched water supply networks. Jour. Env. Eng. Div. (ASCE). 109(3). 604-618
3. Θεοχάρης. Μ. 2004. Βελτιστοποίηση των αρδευτικών δικτύων. Εύρεση των οικονομικών διαμέτρων. Διδ. Διατρ. Τμήμα Αγρ. και Τοπ. Μηχ. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
4. Mandry. J. E..1967. Design of pipe distribution for sprinkler and drainage. Jour. of the Irrigation and Drainage Div. (ASCE). 93.
5. Νουτσόπουλος. Γ. 1969. Το πρόβλημα της οικονομικής πιεζομετρικής γραμμής ακτινωτών δικτύων βαρύτητος. Περιοδ. Τεχν. Χρον. Αθήνα.1969(10). 661 – 676.

6. Swamee. P.K., Kumar. V., and Khanna. P. 1973. Optimization of dead end water distribution mains. Jour. Env. Eng. Div. (ASCE). 99(2). 123-134.
7. Τζιμόπουλος. Χ.. 1982. Γεωργική Υδραυλική Τομ. Ι – ΙΙ. Θεσσαλονίκη.

ΑΡΔΕΥΣΗ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΤΑΓΟΝΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΝΕΡΟΥ

Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Κ. Α. Δημοπούλου
Π.Θ., Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Νέα Ιωνία, Μαγνησίας
e-mail: msak@agr.uth.gr και roidimop@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, αξιολογείται η επίδραση της στάγδην άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων, σε δύο επίπεδα εφαρμογής νερού. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (p=0,05) δεν έδωσε σημαντικές διαφορές στα παραγωγικά χαρακτηριστικά. Συνεπώς, η άρδευση με ποσότητα εφαρμοζόμενου νερού κατά 20% λιγότερο από το απαιτούμενο για την πλήρη κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας φαίνεται εφικτή, χωρίς σημαντικές απώλειες στην παραγωγή.

SUGAR BEET IRRIGATION USING SURFACE DRIP METHOD WITH DIFFERENT WATER APPLICATION DEPTHS

M. Sakellariou-Makrantonaki, K. A. Dimopoulou
University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Hydraulics, Fytokou Street, 38446 Nea Ionia Magnesias, Greece.
e-mail: msak@agr.uth.gr and roidimop@hotmail.com

ABSTRACT

In the present study, the effects of drip irrigation on yield characteristics of sugar beet under two levels of water application were evaluated. The statistical elaboration of the experimental data did not reveal statistically significant differences in sugar beet yield characteristics. Consequently, irrigation with 20% less water applied than the water needed for meeting the total crop requirements seems feasible, without any substantial yield reduction.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άρδευση με σταγόνα αποτελεί μια μέθοδο, που δίνει τη δυνατότητα ορθολογικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Στα μεσογειακά περιβάλλοντα, όπου η ποσότητα του νερού άρδευσης δεν είναι αρκετή και συνήθως χορηγείται σε καλλιέργειες με υψηλή πρόσοδο, οι εναλλακτικές πρακτικές άρδευσης πρέπει να επιδιωχθούν για να λύσουν το πρόβλημα. Η στάγδην άρδευση συγκαταλέγεται ανάμεσα στις σύγχρονες μεθόδους άρδευσης και χαρακτηρίζεται από υψηλή αποδοτικότητα χρήσης ύδατος.

Οι πληροφορίες όμως, που αφορούν την χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου στην άρδευση ζαχαροτεύτλων, κάτω από μεσογειακές συνθήκες είναι περιορισμένες. Η στάγδην άρδευση είναι ακόμα υπό έρευνα, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνεται να είναι ενθαρρυντικά, τόσο όσον αφορά την παραγωγή, αλλά και σε σχέση με την ομοιομορφία άρδευσης, την εξοικονόμιση νερού και την επίδραση στο μικροκλίμα της καλλιέργειας (συνθήκες για ανάπτυξη ζιζανίων και ασθενειών) [8].

Στην Ελλάδα, μόνο το 1% της καλλιεργούμενης έκτασης, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου αντιστοιχεί στην περιοχή της Θεσσαλίας, αρδεύεται με το σύστημα της στάγδην άρδευσης (Ιωαννίδης Φ., προσωπική επικοινωνία). Το υψηλό κόστος της εγκατάστασης του συστήματος φαίνεται να είναι ο περιοριστικός παράγοντας για την εξάπλωσή του. Η αγροοικονομική ανάλυση που πραγματοποίησαν οι Sharmasarkar et al. [12], σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων, έδειξε ότι, η άρδευση με σταγόνες είναι πιο κερδοφόρα όταν εφαρμόζεται σε μεγάλες εκτάσεις από ότι σε εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας.

Οι Sakellariou et al. [10], αναφέρουν δυνατότητα εξοικονόμησης νερού κατά 20% κάτω από συνθήκες στάγδην άρδευσης χωρίς να υπάρχει ουσιαστική μείωση στην παραγωγή της καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων.

Οι Tognetti et al. [13], αναφέρουν εξοικονόμηση νερού σε ποσοστό 25% με εφαρμογή στάγδην άρδευσης σε πείραμα που διεξήχθη στην νότια Ιταλία, συγκριτικά με την χαμηλής πίεσης τεχνητή βροχή, χωρίς σημαντικές διαφορές στην παραγωγή της καλλιέργειας ζαχαρότευτλων.

Οι Fabeiro et al. [4], μελετώντας την δυνατότητα εξοικονόμησης νερού στην περιοχή Albacete της Ισπανίας, όπου οι κλιματολογικές συνθήκες είναι ανάλογες με αυτές των περιοχών τευτλοκαλλιέργειας στην Ελλάδα, αναφέρουν ότι, όταν ο περιορισμός ύδατος ήταν μέσος στο πρώτο στάδιο ανάπτυξης, μέτριος στο στάδιο διόγκωσης της ρίζας και αυστηρός στο στάδιο της ωρίμανσης, οι παραγωγές ήταν υψηλές.

Στην παρούσα εργασία, αξιολογείται η επίδραση της στάγδην άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, σε δύο επίπεδα εφαρμογής νερού (σε κάλυψη 100% και 80% των καθαρών αναγκών βάση της εξατμισοδιαπνοής).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η επίδραση δύο επιπέδων εφαρμογής νερού στα παραγωγικά χαρακτηριστικά των ζαχαροτεύτλων μελετήθηκε σε αγρό στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (39° 23΄ γεωγραφικό πλάτος, 22° 45΄ γεωγραφικό μήκος, 50 m υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας), κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2003, σε έδαφος καλά στραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδες που ανήκει στην υπο-ομάδα των Typic Xerochrepts (USDA, 1975) [6]. Το πειραματικό σχέδιο ήταν Πλήρως Τυχαιοποιημένων Ομάδων με δύο μεταχειρίσεις και τέσσερις επαναλήψεις. Το πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 10m x 4,5m και περιελάμβανε 3 σταλακτηφόρους

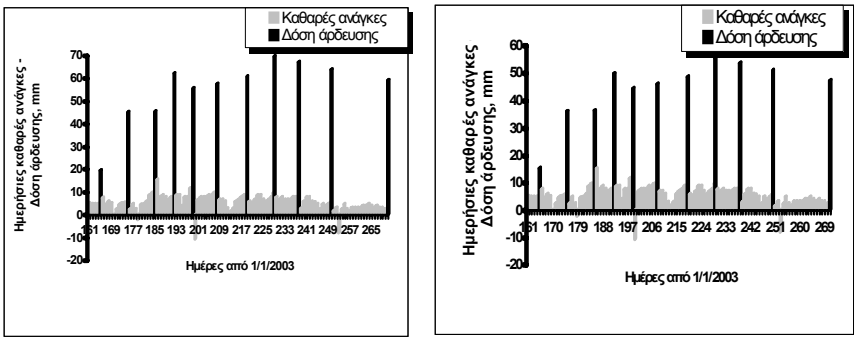
αγωγούς σε απόσταση 1,5m μεταξύ τους. Η σπορά του πειράματος έγινε στις 17 Απριλίου 2003, με αποστάσεις φυτών 50cm μεταξύ και 15cm επί των γραμμών.
Οι μεταχειρίσεις που εφαρμόσθηκαν ήταν:
α) Επιφανειακή Στάγδην Άρδευση (Ε 100%ΕΤ)με εφαρμοζόμενη ποσότητα ύδατος ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας βάση της εξατμισοδιαπνοής, και
β) Επιφανειακή Στάγδην Άρδευση (Ε 80%ΕΤ)με εφαρμοζόμενη ποσότητα ύδατος ίση με το 80% των αναγκών της καλλιέργειας βάση της εξατμισοδιαπνοής.
Το εύρος άρδευσης και στις δύο μεταχειρίσεις ήταν ανάλογο με αυτό που εφαρμόζεται στην πρακτική καλλιεργητική τεχνική από τους καλλιεργητές ζαχαροτεύτλων.

Οι αγωγοί μεταφοράς νερού των δικτύων ήταν από πολυαιθυλένιο διατομής 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. Η άρδευση ήταν αυτοματοποιημένη. Το νερό για την άρδευση προερχόταν από παρακείμενη γεώτρηση (αντλία μέσης παροχής 60 – 80 m^3/h με άξονα και σωλήνα 4΄΄). Επίσης, τοποθετήθηκαν αντλία προώθησης του νερού στα αρδευτικά δίκτυα, φίλτρα, πιεζόμετρο κ.ά

Η μέτρηση της εξάτμισης, απαραίτητης για τον υπολογισμό των αναγκών άρδευσης της καλλιέργειας, έγινε με την βοήθεια του εξατμισιμέτρου τύπου Α. Οι ενδείξεις του οργάνου που αντιπροσώπευαν την εξάτμιση από τη λεκάνη σε mm/ημέρα, πολλαπλασιαζόμενες με τον συντελεστή διόρθωσης του εξατμισιμέτρου (Κεξ = 0,80) και την αντίστοιχη για κάθε βλαστικό στάδιο τιμή του φυτικού συντελεστή, έδιναν την τιμή της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Η εκτίμηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αυτόματου οργάνου εμβαδομέτρησης LI – COR.

Μέσω του μετεωρολογικού σταθμού του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής, ο οποίος βρισκόταν σε απόσταση 25m από το κέντρο του αγρού, λαμβάνονταν σε ωριαία βάση, καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, η διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα και η ημερήσια βροχόπτωση.
Πραγματοποιήθηκαν 11 αρδεύσεις (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 Δόσεις άρδευσης των μεταχειρίσεων Ε 100%ΕΤ και Ε 80%ΕΤ αντίστοιχα σε σχέση με τις καθαρές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας.

Κατά την συγκομιδή (13 Οκτωβρίου), μετρήθηκε ο αριθμός ριζών κάθε τεμαχίου και ζυγίστηκαν τα νωπά βάρη του υπέργειου (φύλλα και κορυφές) και υπόγειου τμήματος (ριζών) επί τόπου στον αγρό, ενώ ένα δείγμα ριζών, βάρους ~15kg, από κάθε

πειραματικό τεμάχιο 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 της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης Α.Ε.

Εκτιμήθηκε η διαφορά των μέσων όρων με την βοήθεια του t – κριτηρίου 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).

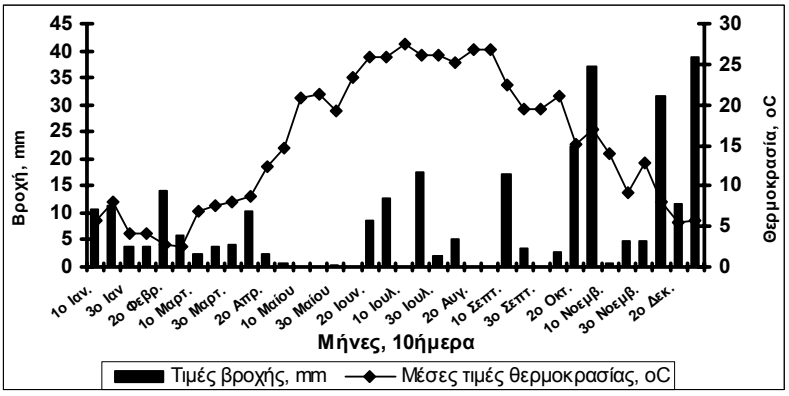
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Κλιματικά δεδομένα

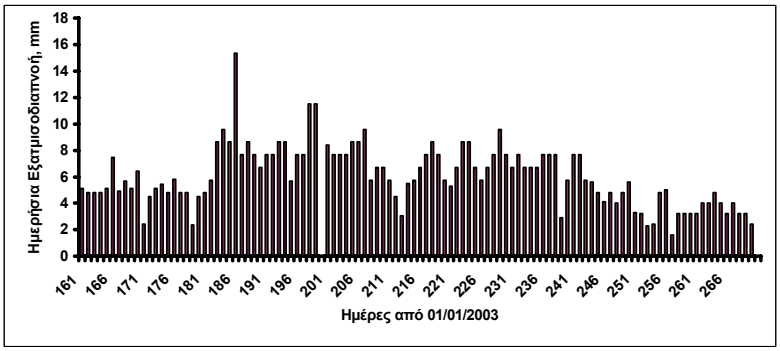
Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται, ανά 10ήμερο, οι τιμές της βροχόπτωσης και της μέσης θερμοκρασίας του 24ώρου κατά την διάρκεια του έτους 2003 στην περιοχή του Βελεστίνου Μαγνησίας, όπου διεξήχθη το πείραμα.

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.1, οι ελαφρές βροχοπτώσεις στο 2^{ο} και 3^{ο} 10ήμερο Απριλίου, αν και δεν ήταν μεγάλου ύψους, εν τούτοις αξιοποιήθηκαν από την καλλιέργεια στο στάδιο του φυτρώματος. Από την ημερομηνία έναρξης της στάγδην άρδευσης (14/06/2003) μέχρι και την λήξη των αρδεύσεων (28/09/2003) η βροχόπτωση ήταν συνολικά 74,29 mm.

Η θερμοκρασία κατά το διάστημα αυτό κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (μέσες θερμοκρασίες 24ώρου μεγαλύτερες των 25°C). Οι συνθήκες αυτές προκάλεσαν έντονη εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Η μεγαλύτερη τιμή εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (15,36) σημειώθηκαν στις 5/7 (186 ημέρες από 1/1/2003). Την ημέρα εκείνη σημειώθηκε και η μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία 24ώρου (Σχ. 3.1).



Σχήμα 3.1 Τιμές βροχόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας 24ώρου ανά 10ήμερο έτους 2003.

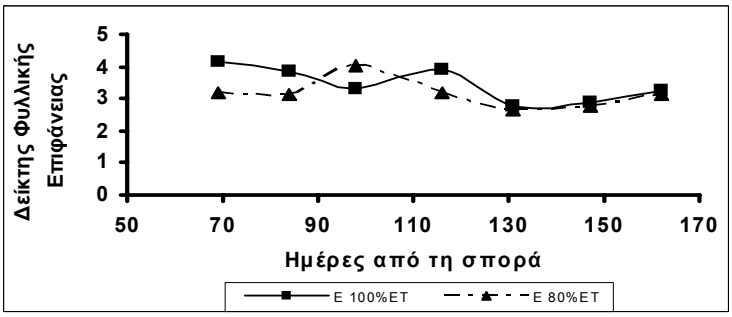


Σχήμα 3.2 Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργεια

3.2 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 (Δ.Φ.Ε.). Το 85-95% του προσπίπτοντος φωτός δεσμεύεται με LAI μόνο 3 ή 4 [11], τιμή που επιτεύχθηκε και στις δύο μεταχειρίσεις. Πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις ανά 15ήμερο, από τις 25 Ιουνίου έως τις 26 Σεπτεμβρίου.

Η μεταχείριση που δεχόταν τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού φαίνεται να αποκτά περίπου 20 ημέρες νωρίτερα την μέγιστη τιμή του ΔΦΕ



Σχήμα 3.3 Εξέλιξη του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας.

3.3 Υδατοκατανάλωση

Στην μεταχείριση Ε 100%ΕΤ χορηγήθηκαν συνολικά 606,88mm νερού, ενώ στην μεταχείριση Ε 80%ΕΤ 485,5mm. Η ποσότητα αυτή έρχεται σε συμφωνία με πειραματικά αποτελέσματα της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης Α.Ε., όπου αναφέρεται ότι οι συνολικές ανάγκες των ζαχαρότευτλων σε νερό στο διάστημα μιας καλλιεργητικής χρονιάς, με στόχο την οικονομικότερη απόδοση, ανέρχονται σε 610 m^3/στρ. στην πεδιάδα της Θεσσαλίας με διακυμάνσεις σε ποσοστό περίπου ±10% [2].

Με βάση τα παραγωγικά αποτελέσματα που αναλύονται παρακάτω στην παρούσα εργασία, συμπεραίνουμε, ότι υπάρχει η δυνατότητα εξοικονόμησης αρδευτικού νερού χωρίς επιπτώσεις στην παραγωγή της καλλιέργειας.

3.4 Παραγωγικά αποτελέσματα

Ο αριθμός ριζών/στρ δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις (Πιν. 3.1, 3.2). 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% [3].

Στα υπόλοιπα παραγωγικά χαρακτηριστικά, επίσης, δεν προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, αν και η μικρή υπεροχή του βάρους ριζών στη μεταχείριση που δέχθηκε την μεγαλύτερη ποσότητα ύδατος προσδίδει σε αυτή υψηλότερο στρεμματοζάχαρο και αξία αγοράς τεύτλων, μιας και η τιμή του ζαχαρικού τίτλου ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν παρουσιάζει αξιόλογη διαφορά. (Πιν. 3.1, 3.2).

Η περιεκτικότητα των στοιχείων K, Na και α–amino 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 [5]. Μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, όσον αφορά τα μελασογόνα συστατικά (Πιν. 3.1, 3.2).

Σύμφωνα με τον Milford et al. [7], 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 [1] 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. [9], 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 et al. [14], 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.

Πίνακας 3.1 Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία και F-test.

Παραγωγικά Χαρακτηριστικά	**Μ.Ο. Ε 100%ΕΤ**	**Τυπική απόκλιση Ε 100%ΕΤ**	**Μ.Ο. Ε 80%ΕΤ**	**Τυπική απόκλιση Ε 80%ΕΤ**	**F**	**$P_{0.05}$**
Αρ. Ριζών	10916,5	419,5	10749,8	500,1	1,4211	0,7797
Βάρος Φ+Κ	2737,5	355,4	2858,3	426,2	1,4375	0,7727
Βάρος ριζών	7729,8	500,3	7181,5	478,4	1,0937	0,9430
Ζαχαρικός τίτλος	15,763	0,842	15,875	0,638	1,7398	0,6604
Στρεμματοζάχαρο	1218	90,8	1139,3	67,5	1,8081	0,3373
Αξία παραγωγής	401,290	39,119	376,747	24,704	2,3809	0,4948
Κάλιο	1233,225	240,596	1155,975	150,604	2,5521	0,4619
Νάτριο	367,335	72,625	337,100	43,261	2,8182	0,4175
α – amino N	470,243	62,209	448,600	30,673	4,1135	0,2758

Πίνακας 3.2 Σύγκριση των μέσων όρων με το t-test.

Παραγωγικά Χαρακτηριστικά	t	Τυπική απόκλιση Διαφοράς μέσων όρων	ΒΕ	$P_{0,05}$
Αρ. Ριζών	0,3781	440,9901	3	0,7305
Βάρος Φ+Κ	-0,5872	205,6532	3	0,5984
Βάρος ριζών	1,2933	421,9454	3	0,2847
Ζαχαρικός τίτλος	-0,5087	0,2211	3	0,6460
Στρεμματοζάχαρο	1,1394	69,1151	3	0,3373
Αξία παραγωγής	1,0245	23,9550	3	0,3810
Κάλιο	0,7074	109,1974	3	0,5303
Νάτριο	0,9092	33,2777	3	0,4303
α – amino N	1,1111	19,4801	3	0,3476

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία ερευνήθηκε η επίδραση διαφορετικών επιπέδων άρδευσης με σταγόνα στα παραγωγικά χαρακτηριστικά καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων, σε έδαφος καλά στραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδες. Τα επίπεδα ήταν κάλυψη 100% και 80% των καθαρών αναγκών βάση της εξατμισοδιαπνοής. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα παραγωγικά χαρακτηριστικά. Το αποτέλεσμα αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι υπάρχει η δυνατότητα εξοικονόμησης ύδατος σε ποσοστό 20% των καθαρών αναγκών της καλλιέργειας, χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στην τελική παραγωγή.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **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 Researce, Brussels, Belgium.
2. **EBZ AE** (1997). *Το πότισμα των ζαχαροτεύτλων*, σελ. 24.
3. **EBZ AE** (2001). *Ανοιξιάτικη προετοιμασία χωραφιού και σπορά τεύτλων*, σελ. 8.
4. **Fabeiro, C., Martín de Santa Olalla, F., López, R. and Domínguez, A. (**2003). *Production and quality of the sugar beet (Beta vulgaris L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate*. Agricultural Water Management. **62** (3), pp 215-227.
5. **Harvey, W**. C. and Dutton, V. J. (1993). Root quality and processing. In The Sugar Beet Crop. pp. 571-617. D. A. Cooke and R. K. Scott (Eds.). Chapman & Hall, London, UK.

6. **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.
7. **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.
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. **Palmer, M. and Casburn, C.** (1985). *Amino nitrogen analyses – factory experiences*. British Sugar Beet Review **53**, pp 73-76.
10. **Sakellariou-Maktantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P. and Kapetanos, B.** (2002). *Water saving using modern irrigation methods*. Hydrorama 2002, pp 96–102.
11. **Scott, K. R. and Jaggard, W. K.** (1993). *Crop physiology and agronomy*. In The Sugar Beet Crop. pp. 179-237. D. A. Cooke and R. K. Scott (Eds.). Chapman & Hall, London, UK.
12. **Sharmasarkar, C. F., Sharmasarkar, S., Held, J. L., Miller, D. S., Vance, F. G. and Zhang, R. (**2001). *Agroeconomic Analyses of Drip Irrigation for Sugarbeet Production*. Agronomy Journal. 93, pp 517-523.
13. **Tognetti, R., Palladino, M., Minnocci, A., Delfine, S. and Alvino, A. (**2003). *The response of sugar beet to drip and low – pressure sprinkler irrigation in southern Italy*. Agricultural Water Management. **60** (2), pp 135 – 155.
14. **Tsialtas, T. J. and Maslaris**, **N. (**2004). *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. **190** (1-10). Άρθρο υπό εκτύπωση.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Κ. Α. Δημοπούλου
Π.Θ., Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Νέα Ιωνία, Μαγνησίας
e-mail: msak@agr.uth.gr και roidimop@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η επίδραση του εύρους άρδευσης, με την μέθοδο της επιφανειακής σταγόνας, σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων που εγκαταστάθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το έτος 2003. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, έδειξε στατιστικώς σημαντικές διαφορές (p=0,05) στην παραγωγή στρεμματοζαχάρου, το οποίο οφειλόταν στο μεγαλύτερο βάρος ριζών, που επιτεύχθηκε στην περίπτωση που το εύρος άρδευσης αντιστοιχούσε σε άθροισμα καθαρών αναγκών κοντά στην τιμή της υπολογιζόμενης πρακτικής δόσης άρδευσης. Αυτό είχε σαν συνέπεια, την σημαντικά μεγαλύτερη αξία αγοράς τεύτλων.

EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION INTERVAL ON SUGAR BEET YIELD.

M. Sakellariou-Makrantonaki, K. A. Dimopoulou
University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, Laboratory of Agricultural Hydraulics, Fytokou Street, 38446 Nea Ionia Magnesias, Greece
e-mail: msak@agr.uth.gr and roidimop@hotmail.com

ABSTRACT

The effects of the irrigation interval, using drip irrigation, on sugar beet crop performance were studied in a field experiment that was set up in the experimental farm of University of Thessaly in 2003. The results show statistically significant differences (p=0,05) in the sucrose yield and in the ultimate value of the crop at this treatment where the irrigation interval corresponded to the level where the net irrigation needs reached the calculated irrigation depth.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οικονομικότητα της αρδευόμενης καλλιέργειας ζαχαρότευτλων εξαρτάται όχι μόνο από το προστιθέμενο αρδευτικό νερό, αλλά και από το κόστος της άρδευσης και την τιμή που πληρώνεται η παραγωγή των τεύτλων και των υποπροϊόντων τους.
Πρακτικά, όλες οι γνωστές μέθοδοι άρδευσης χρησιμοποιούνται για την άρδευση της καλλιέργειας ζαχαρότευτλων ανά τον κόσμο.

Στην Ελλάδα, η καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων επεκτείνεται στις κεντρικές και βόρειες περιοχές και αποτελεί το 5% περίπου της καλλιεργούμενης γεωργικής έκτασης στην περιοχή αυτή. Η στάγδην άρδευση είναι ακόμα υπό έρευνα, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνεται να είναι ενθαρρυντικά, τόσο όσον αφορά την παραγωγή αλλά και σε σχέση με την ομοιομορφία άρδευσης, την εξοικονόμηση νερού και την επίδραση στο μικροκλίμα της καλλιέργειας (συνθήκες για ανάπτυξη ζιζανίων και ασθενειών). Η άρδευση με σταγόνες πραγματοποιείται μόλις σε ποσοστό 1% της καλλιεργούμενης έκτασης το μεγαλύτερο μέρος του οποίου, αντιστοιχεί στην περιοχή της Θεσσαλίας (Ιωαννίδης Φ., προσωπική επικοινωνία).

Οι Sharmasarkar et al. [14], αναφέρουν υψηλότερη παραγωγή ριζών ζαχαρότευτλων και στρεμματοζαχάρου (το γινόμενο του νωπού βάρος ριζών και της περιεκτικότητας σε ζάχαρη ανά στρέμμα) κάτω από συνθήκες στάγδην άρδευσης συγκριτικά με την άρδευση με αυλάκια και η υψηλότερη αποδοτικότητα παρουσιάζεται στις περιοχές με μεγαλύτερο κόστος ύδατος και υψηλότερες δαπάνες για καταπολέμηση ζιζανίων. Επίσης, σε πείραμα που διεξήχθη στην περιοχή Wyoming των Η.Π.Α., οι παραπάνω ερευνητές [15] αναφέρουν ότι η αποδοτικότητα χρήσης ύδατος και η αποδοτικότητα χρήσης λιπάσματος ήταν υψηλότερη στη άρδευση με σταγόνα από ότι στην άρδευση με κατάκλυση, δίνοντας παράλληλα και υψηλότερη παραγωγή στρεμματοζαχάρου κατά 3-28% ακόμα και στις περιπτώσεις μειωμένης εφαρμογής ύδατος με το σύστημα της στάγδην άρδευσης.

Οι Tognetti et al. [16], αναφέρουν εξοικονόμηση νερού σε ποσοστό 25% με εφαρμογή στάγδην άρδευσης σε πείραμα που διεξήχθη στην νότια Ιταλία, συγκριτικά με την χαμηλής πίεσης τεχνητή βροχή, χωρίς σημαντικές διαφορές στην παραγωγή της καλλιέργειας ζαχαρότευτλων.

Στην Ελλάδα, εκτός από την έρευνα που διεξάγει η EBZ ΑΕ για την επίδραση της στάγδην άρδευσης (επιφανειακής και υπόγειας) στην παραγωγικότητα της καλλιέργειας ζαχαρότευτλων, έχουν ασχοληθεί και οι Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη κ.ά. [11, 12] και Ντιούδης κ.α. [9].

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση της επίδρασης του εύρους της στάγδην άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας των ζαχαροτεύτλων με συνολική εφαρμογή ίδιων ποσοτήτων νερού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η επίδραση του εύρους της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων, μελετήθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (39° 23΄ γεωγραφικό πλάτος, 22° 45΄ γεωγραφικό μήκος, 50 m υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας), κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2003, σε έδαφος καλά στραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδες, που ανήκει στην υπο-ομάδα των Typic Xerochrepts (USDA, 1975) [6]. Το πειραματικό σχέδιο ήταν Πλήρως Τυχαιοποιημένων Ομάδων με δύο μεταχειρίσεις και τέσσερις επαναλήψεις. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 10m x 4,5m και περιελάμβανε

3 σταλακτηφόρους αγωγούς σε απόσταση 1,5m μεταξύ τους. Η σπορά του πειράματος έγινε στις 17 Απριλίου 2003, με αποστάσεις φυτών 50cm μεταξύ και 15cm επί των γραμμών.

Οι μεταχειρίσεις που εφαρμόσθηκαν ήταν:

α) Επιφανειακή Στάγδην Άρδευση (Ε 100%ΕΤ) με εύρος άρδευσης, το οποίο να αντιστοιχεί σε άθροισμα καθαρών αναγκών κοντά στην τιμή της υπολογιζόμενης πρακτικής δόσης άρδευσης, έτσι ώστε η υγρασία του εδάφους στη ζώνη του ριζοστρώματος να βρίσκεται κοντά στην υδατοϊκανότητα και πάνω από το σημείο μόνιμης μάρανσης σε όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου και,

β) Επιφανειακή Στάγδην Άρδευση (ΕΚΤ 100%ΕΤ) με εύρος άρδευσης ανάλογο με αυτό που εφαρμόζεται στην πρακτική καλλιεργητική τεχνική. Η συχνότητα δηλαδή των αρδεύσεων ήταν ανάλογη με τη συχνότητα αρδεύσεων, γειτονικών στην περιοχή του πειράματος, εμπορικών τευτλοαγρών που εφαρμοζόταν το ίδιο σύστημα άρδευσης.

Και στις δύο μεταχειρίσεις η εφαρμοζόμενη ποσότητα ύδατος ήταν ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, που υπολογίζονταν με την βοήθεια του εξατμισιμέτρου τύπου Α.

Οι αγωγοί μεταφοράς νερού των δικτύων ήταν από πολυαιθυλένιο διατομής 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. 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, πιεζόμετρο κ.ά

Η εκτίμηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αυτόματου οργάνου εμβαδομέτρησης LI – COR.

Η καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων (ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα και άθροισμα ημερήσιας βροχόπτωσης) 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.

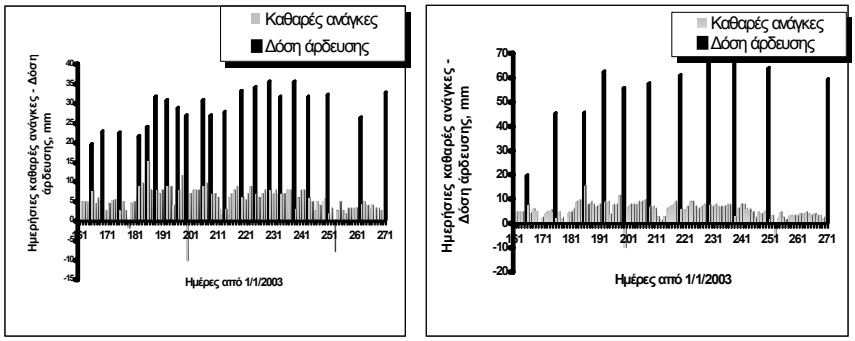
Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στις 13 Οκτωβρίου (180 ημέρες από την σπορά). Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, συγκομίζονταν και αποκορυφώνονταν, με το χέρι, δύο γειτονικές γραμμές μήκους 3m (επιφάνεια $3m^2$). Η επιλογή των γραμμών γινόταν από το μέσο του πειραματικού τεμαχίου και έτσι ώστε, η μία να γειτνιάζει με σταλακτηφόρο αγωγό, ενώ η άλλη όχι. Μετρήθηκε ο αριθμός ριζών κάθε τεμαχίου και ζυγίστηκαν τα νωπά βάρη του υπέργειου (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 (Κ, Να, α-Ν) 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 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 βροχής, διαστάσεις γραμμών άρδευσης και ισαποχή σταλακτήρων επί των γραμμών) για την κάθε μεταχείριση χωριστά, με βάση τους μετρούμενους ρυθμούς ημερήσιας εξάτμισης.

Πραγματοποιήθηκαν 21 αρδεύσεις στη μεταχείριση Ε 100%ΕΤ και 11 αρδεύσεις στη μεταχείριση ΕΚΤ 100%ΕΤ (Σχ. 2.1α, β).



(α) (β)

Σχήμα 2.1 Δόσεις άρδευσης των μεταχειρίσεων Ε 100%ΕΤ (α) και ΕΚΤ 100%ΕΤ (β) αντίστοιχα, σε σχέση με τις καθαρές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

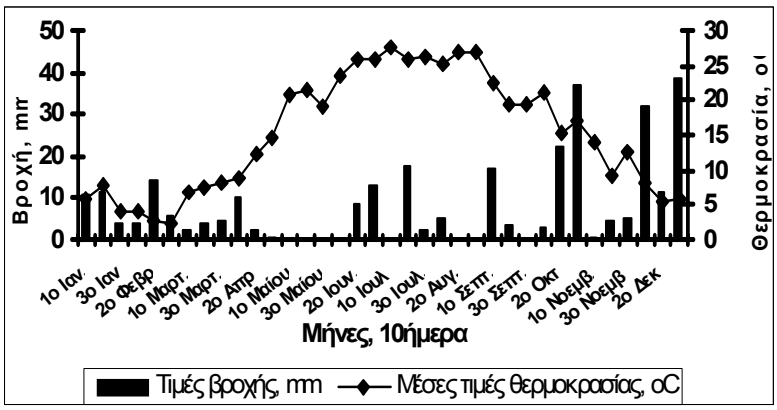
3.1 Κλιματικά δεδομένα

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται, ανά 10ήμερο, οι τιμές της βροχόπτωσης και της μέσης θερμοκρασίας του 24ώρου κατά την διάρκεια του έτους 2003 στην περιοχή του Βελεστίνου Μαγνησίας, όπου διεξήχθη το πείραμα.

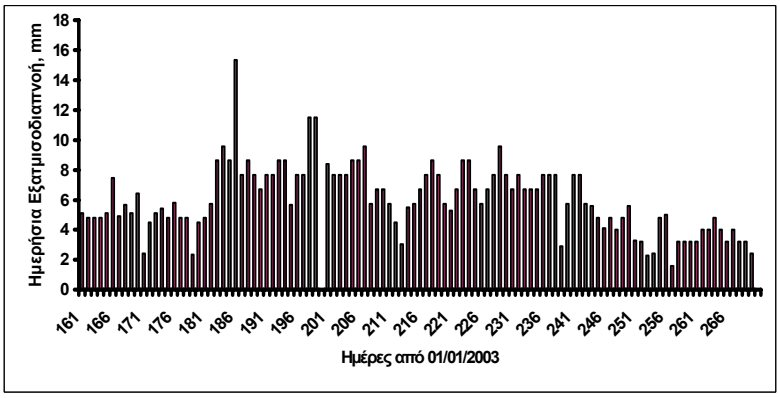
Οι ελαφρές βροχοπτώσεις στο 2^{ο} και 3^{ο} 10ήμερο Απριλίου (Σχήμα 3.1), αν και δεν ήταν μεγάλου ύψους, εν τούτοις αξιοποιήθηκαν από την καλλιέργεια στο στάδιο του φυτρώματος. Κατά την διάρκεια της κύριας αρδευτικής περιόδου (Ιούνιος – Αύγουστος), συνέβησαν έντεκα επεισόδια βροχόπτωσης και σε κανένα το ύψος βροχής δεν ξεπέρασε τα 16 mm. Από την ημερομηνία έναρξης της στάγδην άρδευσης (14/06/2003) μέχρι και την λήξη των αρδεύσεων (28/09/2003) η βροχόπτωση ήταν συνολικά 74,29 mm. Το γεγονός των μειωμένων βροχοπτώσεων συντελεί στην πιο ξεκάθαρη αξιολόγηση των μεθοδολογιών άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν σε σχέση με τα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων, μιας και οι αναγκαίες για την καλλιέργεια ποσότητες νερού χορηγήθηκαν κυρίως μέσω της άρδευσης.

Η θερμοκρασία κατά το διάστημα αυτό κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (μέσες θερμοκρασίες 24ώρου μεγαλύτερες των 25°C). Οι συνθήκες αυτές προκάλεσαν έντονη εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Η μεγαλύτερη τιμή εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (15,36 mm) σημειώθηκαν στις 5/7 (186 ημέρες από

1/1/2003). Την ημέρα εκείνη σημειώθηκε και η μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία 24ώρου (Σχ. 3.1).



Σχήμα 3.1 Τιμές βροχόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας 24ώρου ανά 10ήμερο έτους 2003.

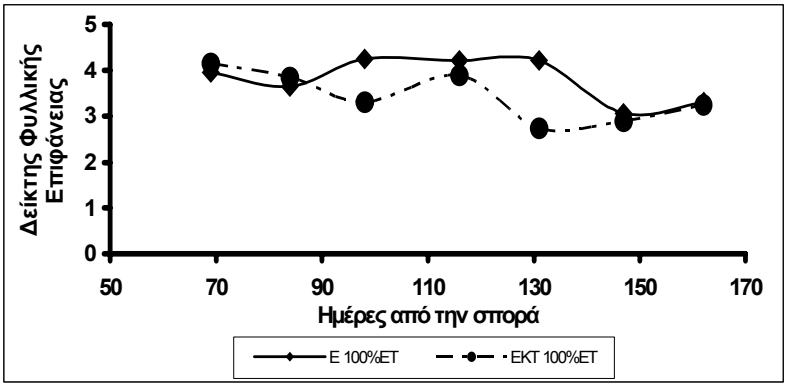


Σχήμα 3.2 Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργεια

3.2 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 (Δ.Φ.Ε.). Το 85-95% του προσπίπτοντος φωτός δεσμεύεται με Δ.Φ.Ε. μόνο 3 ή 4 [13], τιμή που επιτεύχθηκε και στις δύο μεταχειρίσεις. Πραγματοποιήθηκαν 7 μετρήσεις ανά 15ήμερο, από τις 25 Ιουνίου έως τις 26 Σεπτεμβρίου.

Στο Σχ. 3.3 παρουσιάζεται η εξέλιξη του ΔΦΕ στις δύο μεταχειρίσεις, όπου φαίνεται χαρακτηριστικά η επίδραση του μεγαλυτέρου εύρους άρδευσης, προκαλώντας την συνεχή αυξομείωση της τιμής του ΔΦΕ κατά τους κύριους αρδευτικούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.



Σχήμα 3.3 Εξέλιξη του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας

3.3 Υδατοκατανάλωση

Η συνολική ποσότητα ύδατος, που χορηγήθηκε μέσω άρδευσης, ήταν 606,88mm. Ένα επιπλέον ποσό ύδατος 66,39mm δέχθηκε η καλλιέργεια από βροχόπτωση κατά την διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (2° 15ήμερο Ιουνίου – τέλη Σεπτεμβρίου), το ωφέλιμο ύψος της οποίας ήταν 53,112mm. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις εκτιμήσεις που δίνει η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης, με βάση την μελέτη πειραματικών αποτελεσμάτων, για τις συνολικές ανάγκες των ζαχαρότευτλων σε νερό κατά την διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου, με στόχο την οικονομικότερη απόδοση, οι οποίες ανέρχονται από 540 m^3/στρ. στην περιοχή της Θράκης έως 610 m^3/στρ. στην πεδιάδα της Θεσσαλίας. Οι διακυμάνσεις προς τα πάνω ή προς τα κάτω, που οφείλονται στις μεταβολές του καιρού από χρόνο σε χρόνο, είναι περιορισμένες σε ποσοστό περίπου ±10% [3]. Επίσης, ο Analogides [1], καθώς και ο Morillo-Velarde [8], αναφέρουν ότι στην λεκάνη της Μεσογείου, κατά τους θερινούς μήνες, απαιτείται εφαρμογή ύδατος στην καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων μέχρι και 800 mm για να αντισταθμιστούν οι απώλειες που οφείλονται στην εξατμισοδιαπνοή.

3.4 Παραγωγικά αποτελέσματα

3.4.1 Αριθμός ριζών: Ο αριθμός ριζών/στρ δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις (Πιν. 3.1, 3.2). 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% [4].

3.4.2 Βάρος Φύλλων και Κορυφών: Μεγαλύτερο βάρος Φύλλων και Κορυφών εμφανίζεται στην μεταχείριση με το μικρότερο εύρος άρδευσης χωρίς να προκύπτει στατιστικά σημαντική διαφορά (Πιν. 3.1, 3.2). Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε συμφωνία και με τον μέσο όρο των τιμών από όλες τις μετρήσεις του ΔΦΕ, όπου στη μεταχείριση Ε 100%ΕΤ τιμή είναι μεγαλύτερη.

3.4.3 Βάρος ριζών: Το εύρος άρδευσης φαίνεται να έπαιξε σημαντικό ρόλο. Οι πιο συχνές αρδεύσεις είχαν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο βάρος ριζών με τιμή του t-κριτηρίου πολύ κοντά στο να προκύψει στατιστικά σημαντική διαφορά ((Πιν. 3.1, 3.2).

3.4.4 Ζαχαρικός τίτλος: Η διαφορά στο Ζαχαρικό τίτλο μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν είναι στατιστικά σημαντική, αν και εμφανίζεται μια μικρή υπεροχή στην μεταχείριση

ΕΚΤ 100%ΕΤ (Πιν. 3.1, 3,2). Επίσης, φαίνεται να υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ βάρους ριζών και ζαχαρικού τίτλου. Ανάλογα αποτελέσματα αναφέρει και ο Wolf [18].
3.4.5 Στρεμματοζάχαρο – Αξία αγοράς τεύτλων: Συνέπεια του αρκετά μεγαλυτέρου βάρους ριζών της μεταχείρισης Ε 100%ΕΤ έναντι της ΕΚΤ 100%ΕΤ και ταυτόχρονα της μη σημαντικής διαφοράς στο ζαχαρικό τίτλο μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, είναι η επίτευξη μεγαλυτέρου στρεμματοζαχάρου και αξία αγοράς τεύτλων, για την μεταχείριση με το μικρότερο εύρος άρδευσης, δίνοντας μάλιστα και στατιστικά σημαντική διαφορά (Πιν. 3.1, 3.2).
3.4.6 Μελασογόνα συστατικά: Η περιεκτικότητα των στοιχείων Κ, Na και α-αμίνο Ν 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 [5]. Μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, όσον αφορά τα μελασογόνα συστατικά (Πιν. 3.1, 3.2).

Σύμφωνα με τον Milford et al. [7], οι εμπορικά αποδεκτές συγκεντρώσεις Κ 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 [2] 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. [10], τα αποδεκτά όρια του α-αμίνο Ν 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 et al. [17], αναφέρουν συγκεντρώσεις Κ, Na και α-αμίνο Ν στις ρίζες των τεύτλων σε πολύ υψηλότερα επίπεδα από τα αποδεκτά όρια που αναφέρθηκαν. Ανάλογα είναι και τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 3.1 Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία και F-test.

Παραγωγικά Χαρακτη-ριστικά	**Μ.Ο. Ε 100%ΕΤ**	**Τυπική απόκλιση Ε 100%ΕΤ**	**Μ.Ο. ΕΚΤ 100%ΕΤ**	**Τυπική απόκλιση ΕΚΤ 100%ΕΤ**	**F**	**$P_{0,05}$**
Αρ. Ριζών	10833,3	430,3	10916,5	419,5	1,0522	0,9676
Βάρος Φ+Κ	3589,3	539,2	2737,5	355,4	2,3014	0,5114
Βάρος ριζών	9285,8	833,3	7729,8	500,3	2,7742	0,4243
Ζαχαρικός τίτλος	15,150	0,716	15,763	0,842	1,3811	0,7971
Στρεμματοζάχαρο	1404	97,5	1218	90,8	1,1542	0,9089
Αξία παραγωγής	451,625	32,366	401,290	38,119	1,3871	0,7944
Κάλιο	1189,230	230,855	1233,225	240,596	1,0862	0,9474
Νάτριο	383,420	36,094	367,355	72,625	4,0486	0,2802
α – amino N	443,245	27,841	470,243	62,209	4,9929	0,2195

Πίνακας 3.2 Σύγκριση των μέσων όρων με το t-test.

Παραγωγικά Χαρακτηριστικά	t	Τυπική απόκλιση Διαφοράς μέσων όρων	ΒΕ	$P_{0,05}$
Αρ. Ριζών	-0,1998	416,65	3	0,8544
Βάρος Φ+Κ	2,1111	403,4715	3	0,1252
Βάρος ριζών	3,0156	515,9840	3	0,0570
Ζαχαρικός τίτλος	-1,1942	0,5129	3	0,3182
Στρεμματοζάχαρο	4,6148	40,3051	3	0,0191
Αξία παραγωγής	5,6750	8,8696	3	0,0108
Κάλιο	-0,3411	128,9872	3	0,7555
Νάτριο	0,3049	52,6815	3	0,7803
α – amino N	-1,1973	22,5495	3	0,3172

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετήθηκε η επίδραση του εύρους της στάγδην άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων, σε έδαφος καλά στραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδες. Προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p=0,05) στην παραγωγή στρεμματοζαχάρου, με αποτέλεσμα την επίσης σημαντικά μεγαλύτερη χρηματική αξία της παραγωγής υπέρ της μεταχείρισης, όπου το εύρος άρδευσης αντιστοιχούσε σε άθροισμα καθαρών αναγκών της καλλιέργειας σε νερό κοντά στην τιμή της υπολογιζόμενης δόσης άρδευσης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Analogides, D. A.,** (1993). *Estimating sugar beet irrigation requirements on the basisof climatic parameters in Greece: results and conclusions from a 6-year experimental study (1980—85)*. In: Anonymous (eds), Proceedings of the 56th IIRB Congress, Brussels, pp. 259—269. International Institute for Beet Research, Brussels.
2. **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 Researce, Brussels, Belgium.
3. **EBZ AE** (1997). *Το πότισμα των ζαχαροτεύτλων*, σελ. 24.
4. **EBZ AE** (2001). *Ανοιξιάτικη προετοιμασία χωραφιού και σπορά τεύτλων*, σελ. 8.
5. **Harvey, W**. C. and Dutton, V. J. (1993). Root quality and processing. In The Sugar Beet Crop. pp. 571-617. D. A. Cooke and R. K. Scott (Eds.). Chapman & Hall, London, UK.
6. **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.

7. **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.
8. **Morillo-Velarde, R.,** (2001). *Les besoins hydriques de la betterave sucriere dans les regions mediterraneennes.* In: R. Morillo-Velarde, L. Cavazza, M. Cariolle, and R. Beckers (eds), IIRB Advances in Sugar Beet Research, Irrigation de la betterave sucriere en zone mediterraneenne, pp. 7 14. International Institute for Beet Research, Brussels.
9. **Ντιούδης, Π., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τερζίδης, Γ., Μασλάρης, Ν. και Νούσιος, Γ.** (2003). *Διαφορετικές διατάξεις άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων*. Πρακτικά 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 159-166.
10. **Palmer, M. and Casburn, C.** (1985). *Amino nitrogen analyses – factory experiences*. British Sugar Beet Review **53**, pp 73-76.
11. **Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P.** (2002). *Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation.* Global NEST: The International Journal 4 (2-3): 85-91.
12. **Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Μασλάρης, Ν., Καλφούντζος, Δ. και Γούλας, Χ. (**1998). *Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια ζαχαρότευτλων.* Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ), Αθήνα, σελ. 271-280.
13. **Scott, K. R. and Jaggard, W. K.** (1993). *Crop physiology and agronomy*. In The Sugar Beet Crop. pp. 179-237. D. A. Cooke and R. K. Scott (Eds.). Chapman & Hall, London, UK.
14. **Sharmasarkar, C. F., Sharmasarkar, S., Held, J. L., Miller, D. S., Vance, F. G. and Zhang, R. (**2001). *Agroeconomic Analyses of Drip Irrigation for Sugarbeet Production*. Agronomy Journal. 93, pp 517-523.
15. **Sharmasarkar C. F., Sharmasarkar, S., Miller, D. S., Vance, F. G. and Zhang, R.** (2001). *Assessment of drip and flood irrigation on water and fertilizer use efficiencies for sugarbeets*. Agricultural Water Management. **46** (3), pp 241-251.
16. **Tognetti, R., Palladino, M., Minnocci, A., Delfine, S. and Alvino, A. (**2003). *The response of sugar beet to drip and low – pressure sprinkler irrigation in southern Italy*. Agricultural Water Management. **60** (2), pp 135 – 155.
17. **Tsialtas, T. J. and Maslaris**, **N. (**2004). *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. **190** (1-10). Άρθρο υπό εκτύπωση.
18. **Wolf, I.,** (1995). *Sorte und Sortenwahl bei Zuckerrüben und deren Wechselwirkung zu Umwelt und Qualitätsbezahlung*. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier, Göttingen.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΤΟΜΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Γ. Κάργας, Ι. Αργυροκαστρίτης, Π. Κερκίδης
Γ.Π.Α. - Τμήμα Α.Φ.Π.&Γ.Μ., Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων
Ιερά Οδός 75 - 11855, Αθήνα – e-mail: lhyd4kag@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία επιλύεται αριθμητικά η διαφορική εξίσωση Richards που διέπει το φαινόμενο της κατακόρυφης διήθησης του νερού στο έδαφος για οριακές συνθήκες κατάκλυσης. Οι αναλυτικές εκφράσεις που αφορούν στη χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας με πλήρη βρόχο υστέρησης έχουν προκύψει από την προσαρμογή πειραματικών δεδομένων στη σχέση van Genuchten, ενώ οι υστερητικές εκφράσεις της K(H), προέκυψαν από την εφαρμογή του θεωρητικού μοντέλου Mualem καθώς και από τον έμμεσο υπολογισμό της σχέσης K(H) από πειραματικά δεδομένα οριζόντιας διήθησης (για την διαβροχή) και από πειράματα εκροής νερού με την εφαρμογή οριακής συνθήκης βήματος πίεσης, (one step outflow) (για τη στράγγιση). Για την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων της K(H) από την οριζόντια διήθηση και την εκροή ενός βήματος χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Brutsaert. Οι κατατομές υγρασίας αναφέρονται σε δύο πορώδη μέσα και σε διαφορετικούς χρόνους διήθησης. Και στις δύο περιπτώσεις πορωδών μέσων είναι φανερή η επίδραση της υστέρησης στη διαμόρφωση των προφίλ υγρασίας αλλά και στην αθροιστική διήθηση.

EFFECT OF HYSTERESIS ON SOIL WATER PROFILE DEVELOPMENT IN FLOOD IRRIGATED SOILS

G. Kargas, I. Argyrokastritis, P. Kerkides
Agricultural University of Athens, Dept. of Natural Resources Development and Agricultural Engineering, Sect. of Water Resources Management
75, Iera Odos str. – 11855 Athens, Greece e-mail: lhyd4kag@aua.gr

ABSTRACT

In this paper Richards' equation is solved numerically. Analytical expressions for soil moisture characteristics having a complete hysteretic loop, have been obtained by curve fitting of experimental data to the van Genuchten model. Analytical expressions for K(H) relationships were obtained either by applying Mualem's model, or indirectly, through the execution of an infiltration experiment in a horizontal column containing an initially dry porous body (wetting branch), or through an one-step outflow experiment (drying brach) and fitting the data to Brutsaert's equation. Moisture profiles of vertical flooding infiltration for various times, as well as cumulative infiltration versus time relationships obtained numerically, are compared for two porous bodies. Hysteresis effects on moisture profile development and cumulative infiltration are found for both porous bodies examined.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η κατάκλυση αποτελεί τον παραδοσιακό τρόπο άρδευσης. Είναι επίσης διαπιστωμένο ότι τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η χρήση μεθόδων προσομοίωσης για την περιγραφή και την πρόβλεψη φαινομένων μεταφοράς μάζας στην ακόρεστη ζώνη. Μεταξύ των φαινομένων αυτών συγκαταλέγονται τα φαινόμενα κίνησης διαλυτών ουσιών στο έδαφος καθώς και το φαινόμενο της διήθησης του νερού κατά την εφαρμογή της άρδευσης. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή τέτοιων μεθόδων είναι η γνώση των υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους και συγκεκριμένα η σχέση της περιεκτικότητας σε νερό με την αρνητική πίεση Θ(Η) (χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας) και η σχέση της υδραυλικής αγωγιμότητας με την περιεκτικότητα σε νερό Κ(Θ) ή την αρνητική πίεση Κ(Η). Όλες οι σχέσεις αυτές χαρακτηρίζονται από υστέρηση και για να μπορέσει κανείς να την λάβει υπόψη του, θα πρέπει να έχει στη διάθεσή του πειραματικά δεδομένα τα οποία και πολλά είναι στον αριθμό τους και επίπονες προσπάθειες πρέπει να καταβάλλει για την απόκτησή τους. Συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι να καταλήγει κανείς συχνά στο να αγνοήσει την ύπαρξη της υστέρησης με αποτέλεσμα να οδηγείται σε σημαντικά σφάλματα (Nielsen et al., 1986, Russo et al., 1989, Si and Kachanoski, 2000). Από την άλλη μεριά, πολλές είναι οι μέθοδοι που έχουν επινοηθεί για τον προσδιορισμό αυτών των ιδιοτήτων και μάλιστα αυτές ποικίλουν από πλευράς λεπτομέρειας και πολυπλοκότητας στη διαδικασία της μέτρησης αλλά και ακρίβειας ως προς το αποτέλεσμα (Stolte et al., 1994). Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας σε διαταραγμένα ή αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα, αν και χρονοβόρος, ιδιαίτερα όταν κάποιος ενδιαφέρεται για την υστερητική συμπεριφορά του εδάφους, φαντάζει ως σχετικά εύκολη υπόθεση για έναν ερευνητή. Εν τούτοις ο άμεσος προσδιορισμός της σχέσης Κ(Η) ή της σχέσης της διαχυτικότητας με την περιεκτικότητα σε νερό D(Θ), είναι μια σχετικά χρονοβόρος διαδικασία και απαιτεί ιδιαίτερο και ακριβό εξοπλισμό. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορα υπολογιστικά σχήματα (Childs and Collis-George, 1950, Burdine, 1953, Marshall, 1958, Jackson 1972, Mualem, 1976, van Genuchten, 1980) με τα οποία μπορεί κανείς να προβλέψει τις ιδιότητες αυτές από άλλες πιο εύκολα μετρήσιμες, όπως είναι η σχέση Θ(Η) και η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό Ks. Επίσης έχουν προταθεί κατά καιρούς έμμεσες ή εμπειρικές μέθοδοι με τις οποίες οι σχέσεις Θ(Η) και Κ(Η) μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια των λεγόμενων συναρτήσεων απεικόνισης πεδίου (Αντωνόπουλος, 1999) (pedotransfer functions) μέσω εύκολα μετρούμενων εδαφικών ιδιοτήτων όπως η μηχανική σύσταση, η φαινομενική πυκνότητα, το ποσοστό της οργανικής ουσίας κ.ά. Φυσικά δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι οι πλέον αξιόπιστες είναι οι άμεσες μέθοδοι και μάλιστα αν είναι δυνατό, όλοι οι προσδιορισμοί να γίνονται σε ένα και το αυτό εδαφικό δείγμα (van Genuchten and Leij, 1992). Στην παρούσα εργασία η σχέση Θ(Η) κατά την αποστράγγιση και διαβροχή συνδυάζεται με τις αντίστοιχες σχέσεις Κ(Η) που προκύπτουν με τρεις διαφορετικούς τρόπους και αποτελούν δεδομένα εισόδου για την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης του Richards στην περίπτωση της κατακόρυφης διήθησης με κατάκλυση, με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της υστέρησης σε προβλήματα άρδευσης (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, 1986). Ο πρώτος τρόπος αφορά στην πρόβλεψη της σχέσης Κ(Η) για τους οριακούς κλάδους στράγγισης και διαβροχής με την εφαρμογή του μοντέλου Mualem (1976) στη σχέση Θ(Η) του van Genuchten (1980). Ο δεύτερος τρόπος αφορά στη σχέση Κ(Η) που δύναται να προκύψει σε συνδυασμό με τη σχέση D(Θ) από ένα πείραμα εκροής ενός βήματος (για τον κλάδο στράγγισης). Ο τρίτος τρόπος αφορά στη σχέση Κ(Η) που δύναται να προκύψει σε

συνδυασμό με τη σχέση D(Θ) από πείραμα οριζόντιας διήθησης (για τον κλάδο διαβροχής) (Ευαγγελίδης, 2003).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο πορώδη μέσα. Ένα έδαφος με κατανομή μεγέθους κόκκων 50% άμμο, 43% άργιλο και 7% ιλύ (Αμμώδης αργιλος) και ένα μείγμα άμμου και τύρφης που περιείχε τρία κλάσματα άμμου (0,1-0,15mm, 0,15-0,25mm και 0,25-1mm σε ποσοστά 5%, 12% και 70% αντίστοιχα) 5% άργιλο και ιλύ και 8% τύρφη (Αμμος). Οι υδραυλικές ιδιότητες των μέσων αυτών, δηλ. οι σχέσεις Θ(Η) και Κ(Η), η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης του Richards, προσδιορίστηκαν με μία μεθοδολογία που έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στο παρελθόν (Kargas et al., 2004). Αρχικά προσδιορίστηκε ο βρόχος υστέρησης της σχέσης Θ(Η) στο μεν έδαφος με τη βοήθεια κύτταρου πίεσης, το οποίο στηρίζεται στην ίδια αρχή με τη συσκευή Richards, στο δε μείγμα άμμου και τύρφης με συσκευή Haines.

Από τα δεδομένα των δύο οριακών κλάδων του βρόχου υστέρησης με τη βοήθεια του προγράμματος RETC (van Genuchten et al., 1988) υπολογίστηκαν οι συντελεστές a, n και m της εξίσωσης van Genuchten (1980) και για τα δύο πορώδη μέσα και για τον κάθε κλάδο ξεχωριστά.

$$\Theta(H) = \frac{\Theta_s - \Theta_r}{\left(1 + \left(a \times \mathrm{H}\right)^n\right)^m} + \Theta_r \qquad (1)$$

όπου : Θ η υγρασία (cm^3/cm^3), Θ_S η υγρασία στον κορεσμό (cm^3/cm^3), Θ_r η υπολειμματική υγρασία (cm^3/cm^3) και H το φορτίο πίεσης (cm) (Πίνακας 1).

Από την αναλυτική έκφραση $\Theta(\mathrm{H})$ προέκυψε η αναλυτική έκφραση της κλίσης

$$\frac{d\Theta}{dH} = \left(\Theta_s - \Theta_r\right) \times a \times m \times n \times \left(a \times H\right)^{n-1} \times \left(1 + \left(a \times H\right)^n\right)^{-m-1} \qquad (2)$$

Ο προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό $\mathrm{K_S}$, έγινε με περατόμετρο σταθερού φορτίου σε ξεχωριστό εδαφικό δείγμα, αλλά με την ίδια περίπου φαινομενική πυκνότητα με αυτή του δείγματος στο κύτταρο πίεσης. Ελήφθη ο μέσος όρος τριών επαναλήψεων για την απόκτηση της τιμής της $\mathrm{K_S}$. Κατόπιν ακολούθησε η πρόβλεψη της σχέσης $\mathrm{K}(\mathrm{H})$ για τις οριακές καμπύλες αποστράγγισης και διαβροχής, μέσω της εξίσωσης (3) που προκύπτει από την εφαρμογή της εξίσωσης (1) στο μοντέλο υπολογισμού της Κ(Η) του Mualem (1976) (van Genuchten, 1980).

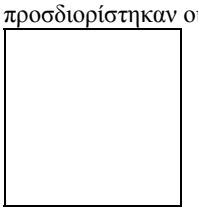
$$\mathrm{K}(\mathrm{H}) = \frac{\mathrm{K}_s \times \left\{1 - (a \times |\mathrm{H}|)^{n-1} \times \left[1 + (a \times |\mathrm{H}|)^n\right]^{-m}\right\}^2}{\left\{1 + (a \times |\mathrm{H}|)^n\right\}^{m/2}} \qquad (3)$$

Μετά το τέλος της διαδικασίας διαβροχής, πραγματοποιήθηκε το πείραμα εκροής ενός βήματος και στα δύο πορώδη μέσα. Στην περίπτωση του εδάφους εφαρμόστηκε βήμα πίεσης 320 cm, ενώ στην περίπτωση του μίγματος άμμου και τύρφης 90 cm. Κατά τη διαδικασία εκροής ενός βήματος έγινε καταγραφή των όγκων εκροής V_i και

των αντίστοιχων χρόνων t_i με την βοήθεια ειδικής ζυγαριάς και κατόπιν προσδιορίστηκε η σχέση $D(\overline{\Theta})$ με τη σχέση του Gardner (1962):

$$D\left(\overline{\Theta}\right) = -\frac{4L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\frac{d\overline{\Theta}}{dt}}{\left(\overline{\Theta} - \Theta_f\right)} \quad (4)$$

όπου D ο συντελεστής διάχυσης, L το ύψος του δείγματος, $\overline{\Theta}$ η μέση υγρασία, $\frac{d\overline{\Theta}}{dt}$ η κλίση της καμπύλης $\overline{\Theta}(t)$ και Θ_f η τελική υγρασία του δείγματος στην ισορροπία. Από τη σχέση $D(\overline{\Theta})$ και με χρήση της εξίσωσης (2) για την καμπύλη αποστράγγισης, καθώς και του ορισμού του συντελεστή διάχυσης D, όπως αυτός ορίστηκε από τους Childs and Collis-George (1950), $D\left(\Theta\right) = K \times \frac{dH}{d\Theta}$ προσδιορίστηκε η σχέση $K(H)$ κατά την αποστράγγιση και για τα δύο πορώδη μέσα που εξετάστηκαν. Κατόπιν ακολούθησε πείραμα οριζόντιας διήθησης και στα δύο πορώδη μέσα που εξετάστηκαν και προσδιορίστηκε η σχέση $D(\Theta)$ για καθένα από αυτά με εφαρμογή της μεθόδου που έχει προταθεί κατά το παρελθόν από τους Bruce and Klute (1956) και Matano (1930). Από τη σχέση $D(\Theta)$ και με χρήση της εξίσωσης (2) για την καμπύλη διαβροχής, καθώς και του ορισμού του συντελεστή διάχυσης D, όπως αυτός ορίστηκε από τους Childs and Collis-George (1950), προσδιορίστηκε η σχέση $K(H)$ κατά τη διαβροχή και για τα δύο πορώδη μέσα. Τόσο στην περίπτωση της σχέσης $K(H)$ κατά την αποστράγγιση, που προέκυψε έμμεσα από πείραμα εκροής ενός βήματος, όσο και στην περίπτωση της σχέσης $K(H)$ κατά τη διαβροχή, που προέκυψε έμμεσα από πείραμα οριζόντιας διήθησης, έγινε προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην εξίσωση (5) (Gardner, 1960, Brutsaert, 1967) και για τα δύο πορώδη μέσα και προσδιορίστηκαν οι παράμετροι A και B.



(5)

Ακολούθησε η αριθμητική επίλυση της εξίσωσης του Richards με

$$\frac{\partial\Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K\frac{\partial H}{\partial z} + K\right) \quad (6)$$

με αρχική συνθήκη

$$t = 0,\ z \le 0,\ \Theta = \Theta_\alpha,\ \left(H = H_\alpha\right) \quad (7)$$

και οριακές συνθήκες

$$z = 0,\ t > 0,\ \Theta = \Theta_s,\ \left(H = H_0 = 0\right) \quad (8)$$

$z \to -\infty$, $t > 0$, $\Theta = \Theta_\alpha$ (9)

Η αριθμητική επίλυση επιτεύχθηκε με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, η οποία χρησιμοποιεί ένα πεπλεγμένο σχήμα με ρητή γραμμικοποίηση, όπως αυτή έχει παρουσιαστεί από τους Haverkamp et al. (1977) (σχήμα Laasonen). Τα βήματα χρόνου και διαστήματος που χρησιμοποιήθηκαν εξασφάλισαν τοπικά ισοζύγια όγκου νερού της τάξης του 0.99 σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Η αριθμητική επίλυση της εξίσωσης του Richards, ανάλογα με τις εξισώσεις που περιγράφουν τις σχέσεις $\Theta(H)$ και $K(H)$ για τα δύο πορώδη μέσα που εξετάστηκαν, έγινε για τις εξής περιπτώσεις:

1. Χρήση της $\Theta(H)$ με τον οριακό κλάδο στράγγισης από την εξίσωση (1) και χρήση της σχέσης $K(H)$ με την εξίσωση (3) (λύση Α).
2. Χρήση της $\Theta(H)$ με τον οριακό κλάδο διαβροχής από την εξίσωση (1) και χρήση της σχέσης $K(H)$ με την εξίσωση (3) (λύση Β).
3. Χρήση της $\Theta(H)$ με τον οριακό κλάδο στράγγισης από την εξίσωση (1) και χρήση της σχέσης $K(H)$ που προέκυψε έμμεσα από αντίστοιχο πείραμα εκροής ενός βήματος, με την εξίσωση (5) (λύση Γ).
4. Χρήση της $\Theta(H)$ με τον οριακό κλάδο διαβροχής από την εξίσωση (1) και της σχέσης $K(H)$ που προέκυψε έμμεσα από αντίστοιχο πείραμα οριζόντιας διήθησης, με την εξίσωση (5) (λύση Δ).

Στην περίπτωση του μίγματος άμμου και τύρφης, λύσεις της εξίσωσης του Richards επετεύχθησαν και για τις 4 προαναφερθείσες περιπτώσεις περιγραφής των υδραυλικών ιδιοτήτων. Στην περίπτωση του εδάφους, (Αμμώδους αργίλου) αντίστοιχες λύσεις επετεύχθησαν μόνο για τις περιπτώσεις 1, 2 και 3.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων των εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των σχέσεων $\Theta(H)$ και $K(H)$ για τα δύο πορώδη μέσα που χρησιμοποιήθηκαν και για τις λύσεις της εξίσωσης του Richards που επετεύχθησαν.

Πίνακας 1. Τιμές των παραμέτρων των εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των σχέσεων $\Theta(H)$ και $K(H)$ στις αριθμητικές λύσεις

Μείγμα άμμου και τύρφης (Αμμος)				
	Στράγγιση	Διαβροχή	Στρ. –εκρ.1 βήμ.	Διαβρ.-οριζ.διήθ.
Λύση	Α	Β	Γ	Δ
Θs ($cm^3.cm^{-3}$)	0,585	0,585	0,585	0,585
Θr ($cm^3.cm^{-3}$)	0,251	0,251	0,251	0,251
Ks (cm/h)	58,8	58,8	58,8	58,8
a (h^{-1})	0,03017	0,10201	0,03017	0,10201
n	6,9205	2,32083	6,9205	2,32083
m	0,8555	0,56911	0,8555	0,56911
A	-	-	1,553E+08	2,2115E+04
B	-	-	6,488	4,973026

Έδαφος (Αμμώδης άργιλος)				
Θs ($cm^3.cm^{-3}$)	0,612	0,612	0,612	-
Θr ($cm^3.cm^{-3}$)	0,2295	0,236	0,2295	-
Ks (cm/h)	14,88	14,88	14,88	-
a (h^{-1})	0,0963	0,3377	0,0963	-
n	1,7334	1,637	1,7334	-
m	0,4231	0,38917	0,4231	-
A	-	-	12,88027	-
B	-	-	2,44538	-

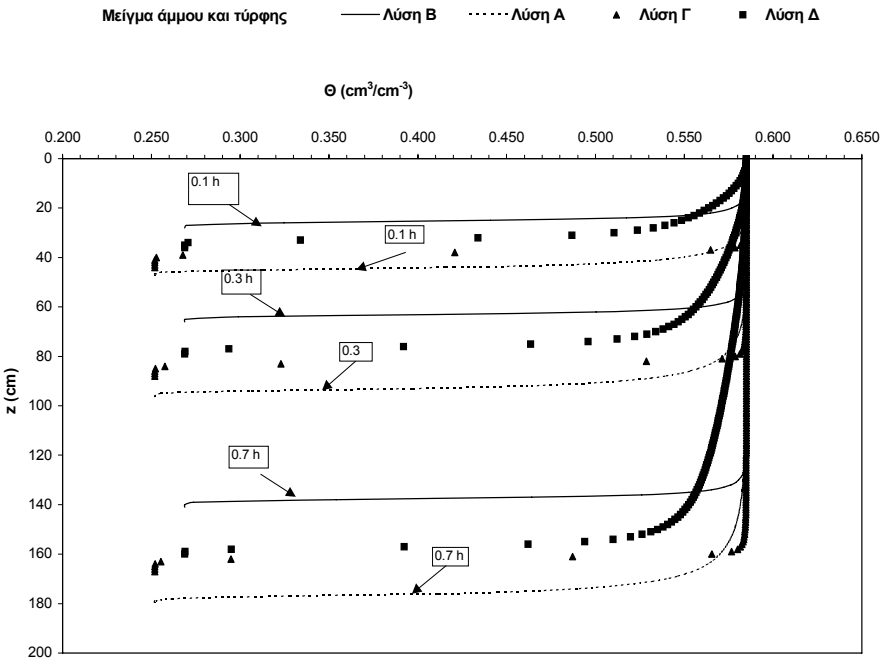
Σε όλες τις περιπτώσεις προσαρμογής των πειραματικών σημείων ή των σημείων που προέκυψαν έμμεσα από πείραμα εκροής ενός βήματος ή από πείραμα οριζόντιας διήθησης, στις εξισώσεις που περιγράφουν τις υδραυλικές ιδιότητες των εξετασθέντων πορωδών μέσων, ο συντελεστής συσχέτισης ήταν της τάξης του 99%.

Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται για χρόνους διήθησης 0,1ώρες 0,3 ώρες και 0,7 ώρες αντίστοιχα, οι κατατομές υγρασίας που προέκυψαν από την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης του Richards για το μείγμα άμμου και τύρφης, συγκριτικά και για τις τέσσερεις περιπτώσεις λύσεων που επετεύχθησαν.

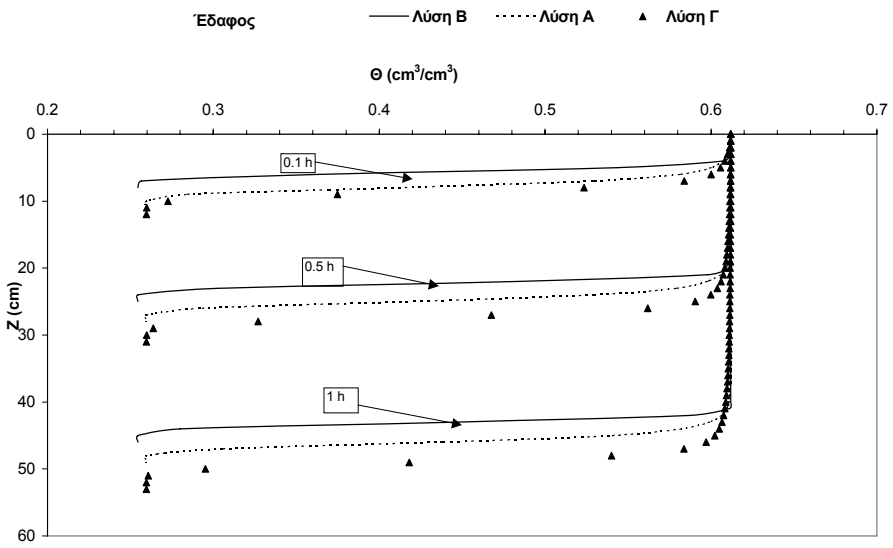
Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται για χρόνους διήθησης 0,1ώρες 0,5 ώρες και 1,0 ώρα αντίστοιχα, οι κατατομές υγρασίας που προέκυψαν από την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης του Richards για το έδαφος, συγκριτικά για τις τρεις περιπτώσεις λύσεων που επετεύχθησαν.

Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται συγκριτικά οι σχέσεις αθροιστικής διήθησης – χρόνου I(t) που αντιστοιχούν στις τέσσερεις περιπτώσεις αριθμητικών λύσεων που επετεύχθησαν για το μείγμα άμμου και τύρφης (άμμος).

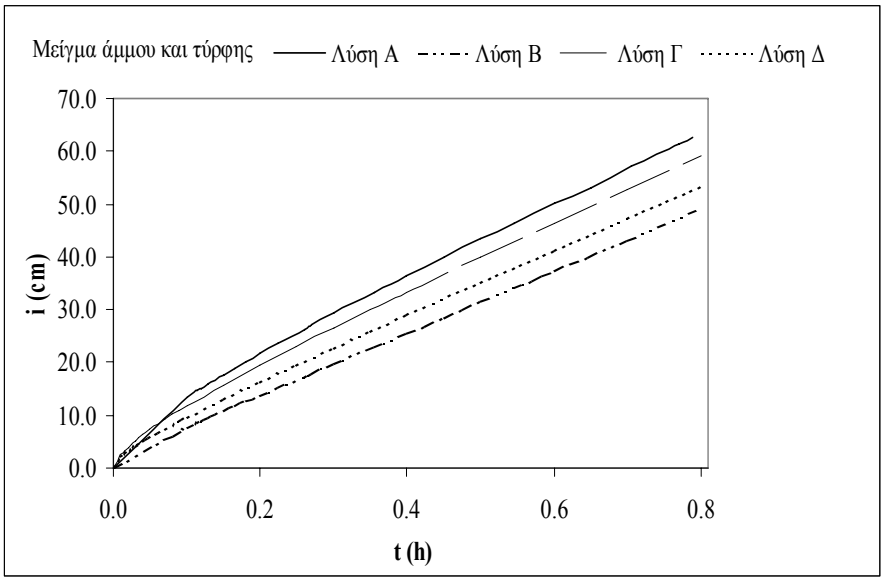
Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται συγκριτικά οι σχέσεις αθροιστικής διήθησης – χρόνου I(t) που αντιστοιχούν στις τρεις περιπτώσεις αριθμητικών λύσεων που επετεύχθησαν για το έδαφος (.



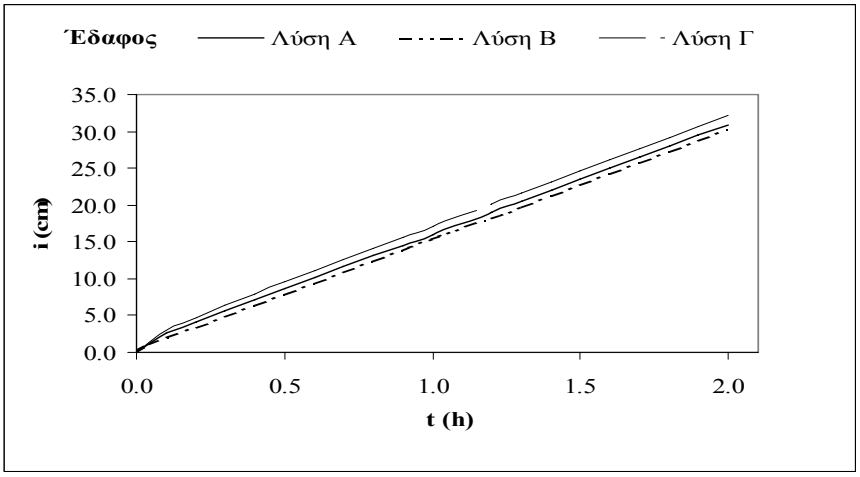
Σχήμα 1. Κατατομές υγρασίας για το μείγμα άμμου και τύρφης, συγκριτικά για όλες τις περιπτώσεις λύσεων που επετεύχθησαν και για διάφορους χρόνους διήθησης



Σχήμα 2. Κατατομές υγρασίας για το έδαφος, συγκριτικά για όλες τις περιπτώσεις λύσεων που επετεύχθησαν και για διάφορους χρόνους διήθησης



Σχήμα 3. Σύγκριση των σχέσεων αθροιστικής διήθησης – χρόνου που αντιστοιχούν στις τέσσερεις περιπτώσεις αριθμητικών λύσεων που επετεύχθησαν για το μείγμα άμμου και τύρφης (Αμμος).



Σχήμα 4. Σύγκριση των σχέσεων αθροιστικής διήθησης – χρόνου που αντιστοιχούν στις τρεις περιπτώσεις αριθμητικών λύσεων που επετεύχθησαν για το έδαφος (Αμμώδης άργιλος).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτουν τα ακόλουθα:
Η αγνόηση του φαινομένου της υστέρησης στην κατακόρυφη διήθηση υπό συνθήκες κατάκλυσης, στην οποία μπορεί να καταλήξει κανείς επικαλούμενος δυσκολίες πειραματισμού, οπότε να χρησιμοποιήσει στους υπολογισμούς του καμπύλες στράγγισης που είναι και πιο εύκολα προσδιορίσιμες, αντιπροσωπεύεται από τις λύσεις Α και Γ. Στις λύσεις αυτές χρησιμοποιείται ο κλάδος στράγγισης για την περιγραφή των σχέσεων Θ(Η) και Κ(Η), με τη δεύτερη σχέση είτε να προβλέπεται με το μοντέλο Mualem (1976) (λύση Α) είτε να προσδιορίζεται έμμεσα με πείραμα εκροής ενός βήματος (λύση Γ). Μια τέτοια επιλογή φαίνεται ότι οδηγεί σε υπερεκτίμηση της ποσότητας του νερού που διηθείται. Αυτό είναι φανερό τόσο στην περίπτωση του εδάφους όσο και στην περίπτωση του μείγματος άμμου και τύρφης, αφού οι σχέσεις I(t) στις περιπτώσεις λύσεων Α και Γ ευρίσκονται πάνω από τις αντίστοιχες σχέσεις I(t) των λύσεων Β και Δ, στις οποίες χρησιμοποιείται ο κλάδος της διαβροχής. Μεγαλύτερη και πιο αισθητή διαφορά στις κατατομές υπάρχει στην περίπτωση του μείγματος άμμου και τύρφης, όπου η συμμετοχή της άμμου στο πορώδες μέσο κάνει πιο αισθητή την ύπαρξη της υστέρησης. Αντίστοιχα μεγάλη και αισθητή διαφορά εμφανίζεται και στις καμπύλες αθροιστικής διήθησης – χρόνου στο μείγμα άμμου και τύρφης. Η μεγαλύτερη υπερεκτίμηση στην αθροιστική διήθηση γίνεται στην περίπτωση της λύσης Α, όπου χρησιμοποιήθηκε ο κλάδος στράγγισης για την περιγραφή της σχέσης Θ(Η) με το μοντέλο του van Genuchthen (1980) και η σχέση Κ(Η) προβλέφθηκε από το συνδυασμό του μοντέλου του Mualem (1976) με τη σχέση Θ(Η) του μοντέλου του Van

Genuchthen. Οι παραπάνω διαφορές στις κατατομές επιβεβαιώνονται από τις διαφορές που έχουν αναφερθεί και από άλλους ερευνητές (Gupta et al., 1974, Kerkides et al. 2005, κ. ά) ότι προκύπτουν στον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνόπουλος Β., 1999. *Υδρολογία της ακόρεστης ζώνης του εδάφους*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, σ.264
2. R.R Bruce and A. Klute 1956: The measurement os soil moisture diffusivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20:458-462.
3. Burdine N.T. 1953: Relative permeability calculations from pore-size distribution data. Petr. Trans. Am. Inst. Mining Metall. Eng. 198: 71-77.
4. Brutsaert W., 1967. Some methods of calculating unsaturated permeability. Trans.ASAE 10: 400-404
5. Childs, E.C and N. Collis-George, 1950. The permeability of porous materials, Proc. Roy. Coc. Ser. A, 201: 392-405.
6. Gardner W.R. 1960: Dynamic aspects of water availability to plants. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26: 63-73.
7. Gardner, W.R.,1962. Note on the separation and solution of diffusion type equations. Soil Sci.Soc.Am.Proc.,38:710-716.
8. Gupta, S.C., D.A. Farrel, and W.E.Larson, 1974. Determinig effective soil water diffussivities from one-step outflow experiments, Soil Sci.Soc.Am.Proc., 38: 701-716.
9. Ευαγγελίδης Χ., 2001. Ανάλυση του φαινιμένου ροής-συγκέντρωσης σε ακόρεστη κατάσταση με πειραματικές και θεωρητικές διαδικασίες. Περίπτωση οριζόντιας ροής. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ, Τμήμα Α.Τ.Μ, Θεσσαλονίκη.
10. Haverkamp R., Vauclin M., Touma J., Wierenga P.J. and Vachaud G., 1977. A comparison of Numerical Simulation Models for One-Dimensional infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 41:285-296.
11. Jackson R.A. 1972: On the calculation of hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc.36: 380-383.
12. Kargas G. P., Patsialou and P. Kerkides., 2004. Comparative Evaluation of Methodologies used in the Determination of the Hydraulic Properties of Porous Media, EWRA Proceedings on «Water Resources Management: Risk and challenges for the 21 of Century», September 2-4, 2004 Izmir, Turkey, pp. 891-901.
13. Kerkides P., G. Kargas, I. Argyrokastritis, 2005. Comparative Evaluation of Methodologies used in the Determination of the Hydraulic Properties of Porous Media. *Irrigation and Drainage* (Submitted)
14. Marshall T.J. 1958: A relation between permeability and size distribution pores. J. Soil Sci. 9:1-8
15. Matano C., 1932. On the relation between the diffusion coefficient and concentrations of solid metals. Jap. J. Phys. 8: 109-133.
16. Mualem, Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Resour. Res., 12:513-522.
17. Nielsen, D.R et al., 1986. Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone, Water. Res.Research, 22: 89-108.

18. Russo, D. W et al. 1989. Numerical analysis of solute transport during transient irrigation: 1. Effect of hysteresis and profile heterogeneity, Water. Res.Research., 25:2109-2118.
19. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 1986. Επίδραση των υδροδυναμικών παραμέτρων διήθησης-στράγγισης σε προβλήματα αρδεύσεων. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ. Τμήμα Α.Τ.Μ, Θεσσαλονίκη.
20. Si, B. C. and Kachanoski R.G., 2000. Unified solution for infiltration and drainage with hysteresis: Theory and field test. SSSAJ 64: 30-36.
21. Stolte J. et. al. 1994 : Comparison of six methods to determine unsaturated soil hydraulic conductivity, Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1596-1603.
22. van Genuchten, M. Th., 1980. A closed form equation for the predicting the hydraulic conductivities of unsaturated soils, SSSAJ 44:892-898.
23. van Genuchten and Leij, 1992. On estimating the hydraulic properties of Unsaturated Soils. Proc. of International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils, p.1-14.

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΛΙΒΑΔΙΟΥ Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Δ. Καλφούντζος[1], Γ. Ζαβάκος[1], Ι. Αλεξίου[1], Σ. Κωτσόπουλος[1] , Κ Δραγοΐδου[1] , Ι. Καλαβρουζιώτης[2], Κ. Γκούμας[3]

[1]ΕΘΙΑΓΕ-Ινστιτούτο Συστημάτων Ψηφιακής Τεχνολογίας και Αγροτικής Πληροφορικής, Θεοφράστου 1, Λάρισα 413 35, E-mail: kalfountzos@nagref.gr
[2]Τμήμα Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, Γ. Σεφέρη 2, Αγρίνιο 30100, E-mail: ikalavru@cc.uoi.gr
[3] Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λάρισας, Δ/νση Εγγείων Βελτιώσεων, 413 35 Λάρισα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόσβαση σε αρδευτικό νερό μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο και να συμβάλει στην καταπολέμηση της φτώχειας και στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων της υπό μελέτη αγροτικής περιοχής. Η κατασκευή φράγματος στο Λιβάδι Ελασσόνας χωρητικότητας $1.8*10^6$ m^3 νερού θα επιλύσει το πρόβλημα της άρδευσης 5000 στρεμμάτων σε μία περιοχή που επικρατούσαν μη αρδευόμενες καλλιέργειες. Τα εδάφη της υπό άρδευση περιοχής είναι πεδινά με μέση προς βαριά σύσταση και καλή υδρομορφία Η ορθολογική διαχείριση του διαθέσιμου νερού αποβλέπει στην εξοικονόμησή του και στην αύξηση της παραγωγικότητάς του.

RATIONAL WATER USE OF THE LIVADI DAM IN LARISSA PREFECTURE FOR CROP IRRIGATION

D. Kalfountzos[1], G. Zavakos[1], I. Alexiou[1], S. Kotsopoulos[1] , K. Dragoidou[1],. I. Kalavrouziotis[2], K. Goumas[3]

[1]NAGREF-Institute of Digital Technology Systems and Agricultural Informatics 1,Theophrastos Str., 413 35, Larissa , E-mail: kalfountzos@nagref.gr
[2]Department of Environment and Water Resources Management, University of Ioannina, 2, G. Seferis str., 301 00, Agrinio, E-mail: ikalavru@cc.uoi.gr
[3] Prefecture of Larissa, Land Reclamation Service, 1, Farsala str., 413 35 Larissa

ABSTRACT

The access to irrigation water can play important role and contribute in the fighting of poverty and the improvement of quality of life of residents of rural regions. The construction of a dam at Livadi with capacity $1.8*10^6$ m^3 of water will solve the problem of irrigation of 500 hectares in a region where non-irrigated agriculture is prevailed. The land of the studying region is flat with medium to heavy soil texture and good hydromorfy. The rational management of available water aims to its saving and the increase of its productivity.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα για την οικονομική ανάπτυξη και βελτίωση του οικονομικού επιπέδου μιας περιοχής η οποία είναι καθαρά γεωργική. Αυτό δεν οφείλεται πάντα στην έλλειψη υδατικών πόρων. Οι πολύ μεγάλες διακυμάνσεις της διαθεσιμότητας και της ζήτησης του νερού είναι ο κύριος λόγος της έλλειψης. Ο Δήμος Λιβαδίου Ελασσόνας δεν διαθέτει σήμερα έργα αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού του με σκοπό να καλύψουν τις σημερινές ανάγκες, ούτε πολύ περισσότερο τις μελλοντικές. Για τον λόγο αυτό προέβη στην κατασκευή φράγματος στην περιοχή όπως δείχνει το Σχήμα 1. Το φράγμα Λιβαδίου έχει ήδη κατασκευαστεί και υπολείπονται η κατασκευή και λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού του Δ.Δ. Λιβαδίου το οποίο βρίσκεται στα ανάντη της λεκάνης κατάκλυσης του φράγματος και στα κατάντη ο κύριος αγωγός μεταφοράς 1900 m με το αρδευτικό δίκτυο που βρίσκονται υπό δημοπράτηση. Το φράγμα έγινε χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα και ύψος αναχώματος 45 m, με μήκος στέψης 245 m, πλάτος στέψης 8 m, επιφάνεια ταμιευτήρα 180.000 m^2 και δίνει εκμεταλλεύσιμη χωρητικότητα 1.800.000 m^3. Από την κατασκευή του φράγματος αυτού, ο ωφέλιμος όγκος νερού θα χρησιμοποιηθεί για την άρδευση περιοχών πλησίον του Δ.Δ. Δολίχης 5.000 στρ. σε μια περιοχή που σήμερα αν και είναι η πιο παραγωγική από πλευράς γονιμότητας, λόγω της μη ύπαρξης υδροφόρων στρωμάτων καλλιεργείται με μη αρδευόμενες καλλιέργειες. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση των συνολικών αναγκών σε νερό των περιοχών αυτών, η καταγραφή του υπάρχοντος υδατικού δυναμικού, το έλλειμμα νερού υπό την παρούσα κατάσταση και η μελλοντική αξιοποίηση του νερού μετά την έναρξη λειτουργίας του φράγματος.

2. ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

2.1 Κατανομή πληθυσμού

Ο Δήμος Λιβαδίου εκτείνεται βορειοδυτικά του Νομού Λάρισας. Η έκταση του Δήμου είναι 158,3 Km^2 και αντιπροσωπεύει το 2,86% της συνολικής έκτασης του Νομού. Το μεγαλύτερο μέρος του Δήμου χαρακτηρίζεται μορφολογικά ως ορεινό ενώ σ' ένα πολύ μικρό ποσοστό υπάρχουν πεδινές εκτάσεις, περιλαμβάνει δύο δημοτικά διαμερίσματα (Δ.Δ.), του Λιβαδίου και της Δολίχης. Το Λιβάδι είναι χτισμένο στις πλαγιές του Όρους Τίταρος σε υψόμετρο 1160 μ. με θέα που νότια και δυτικά εκτείνεται μέχρι την Πίνδο. Λόγω του υψομέτρου και του ξηρού κλίματος κατά τους θερινούς μήνες έχει αναγνωριστεί από το 1967 ως τουριστικός τόπος και δέχεται πάνω από 2.000 παραθεριστές. Λίγα χιλιόμετρα νοτιότερα και σε υψόμετρο 595 μ. βρίσκεται το Δ.Δ. Δολίχης. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε. ο πληθυσμός του Δήμου Λιβαδίου φαίνεται στον Πίνακα 1. Ο μόνιμος πληθυσμός του Δ. Λιβαδίου μειώθηκε την τελευταία δεκαετία κατά 5,83% και κατά 14,19% την τελευταία εικοσαετία.

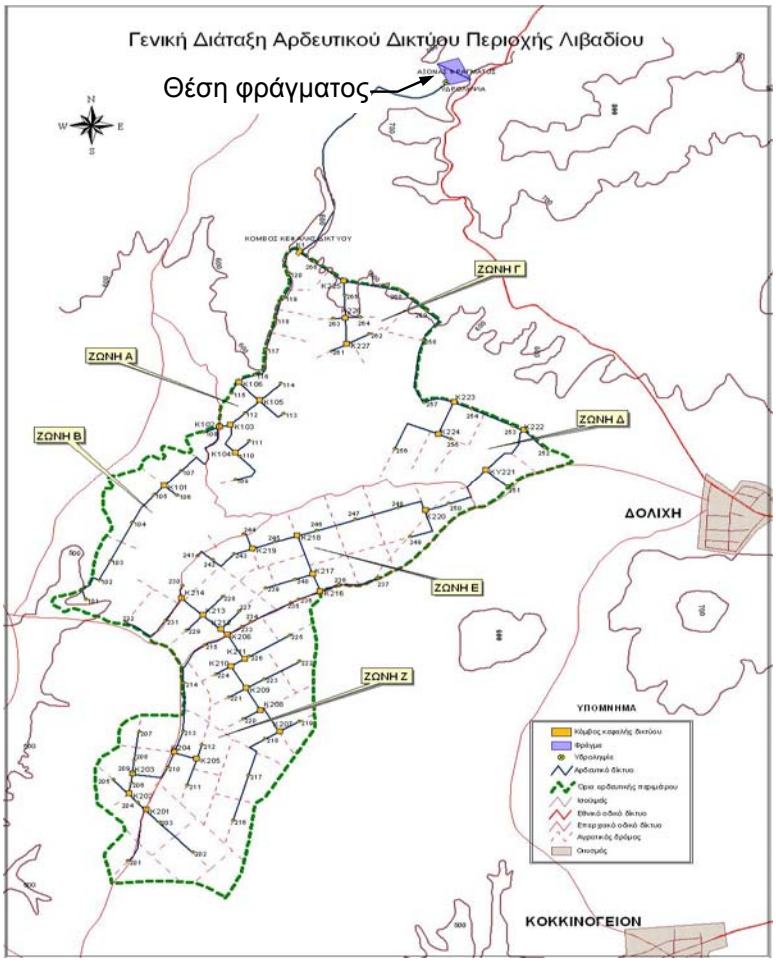
Πίνακας 1. Μεταβολή πληθυσμού Δ.Δ. Δήμου Λιβαδίου

Δημοτικά Διαμ/τα	Μόνιμος πληθυσμός			Μείωση (%) πληθυσμού 10ετίας	Μείωση (%) πληθυσμού 20ετίας
	1981	1991	2001		
Λιβάδι	3.160	2.882	2.714	-5,83	-14,11
Δολίχη	546	496	466	-6,05	-14,65
Σύνολο	3.706	3.378	3.180	-5,86	-14,19

Η μείωση αυτή οφείλεται καθαρά στην αδυναμία του ενεργού πληθυσμού να απασχοληθεί στις υπάρχουσες προβληματικές γεωργικές και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, αφού η περιοχή είναι καθαρά αγροτική.

2.2. Εδαφολογικά στοιχεία.

Από την λεπτομερή προοδευτική χαρτογράφηση με τις παρατηρήσεις υπαίθρου χωρίς την μελέτη των εδαφοτομών στην φυσική τους κατάσταση (in vivo), προέκυψε μια πρώτη ταξινόμηση των εδαφών και η κατάταξή τους στις χαρτογραφικές μονάδες του εδαφολογικού χάρτη (Σχήμα 2), σύμφωνα με την SOIL TAXONOMY (Soil Survey Staff, 2003) [1]. Η τελειοποίηση του εδαφολογικού χάρτη θα πραγματοποιηθεί με την οριστικοποίηση και επιβεβαίωση των παρατηρήσεων υπαίθρου, με βάση τα δεδομένα που θα προκύψουν από τις εργαστηριακές αναλύσεις και προσδιορισμούς των δειγμάτων των εδαφοτομών.



Σχήμα 1. Αρδευτικό δίκτυο φράγματος Λιβαδίου

Τα εδάφη της περιοχής του Λιβαδίου, αναπτύχθηκαν σε αλλουβιακές και κολλουβιακές αποθέσεις και όπως φαίνεται στον εδαφολογικό χάρτη της περιοχής μελέτης το μεγαλύτερο μέρος αυτών ανήκει στην εδαφική τάξη των Entisols [2]. Η εδαφοτομή τους συνίσταται από μετρίως λεπτόκοκκο έως χονδρόκοκκο υλικό στον εδαφικό τύπο και χαλικώδη έως κροκαλώδη στο υπέδαφος και στο υπόστρωμα. Έχουν κλίσεις από ελαφρώς κεκλιμένη (2-6%) και σε πολλές περιπτώσεις στις λοφώδεις περιοχές με μεγαλύτερη κλίση από μετρίως έως ισχυρώς κεκλιμένη (6-18%). Από πλευράς γονιμότητας τα εδάφη χαρακτηρίζονται από μετρίας έως καλής γονιμότητας χωρίς να παρουσιάζεται ιδιαίτερο πρόβλημα στις καλλιέργειες.

Άλλο ένα μέρος ανήκει στην τάξη των Inceptisols, εδάφη μέτρια εξελιγμένα με μητρικό υλικό αλλουβιακής και κολλουβιακής προέλευσης. Η εδαφοτομή είναι διαφόρου κοκκομετρικής σύστασης με συχνότερες την πηλώδη και την αργιλοπηλώδη. Είναι γενικά πολύ γόνιμα εδάφη ιδιαίτερα στα επιφανειακά τους στρώματα και οποιαδήποτε καλλιέργεια προσαρμόζεται σε αυτά. Τέλος παρατηρήθηκε και η εδαφική τάξη των Alfisols. Τα εδάφη αυτά είναι τοποθετημένα σε παλαιά αλλουβιακή τράπεζα, λεπτότερης υφής. Είναι παραγωγικά εδάφη κάτω από ορισμένες συνθήκες.

2.3. Κλιματολογικά στοιχεία

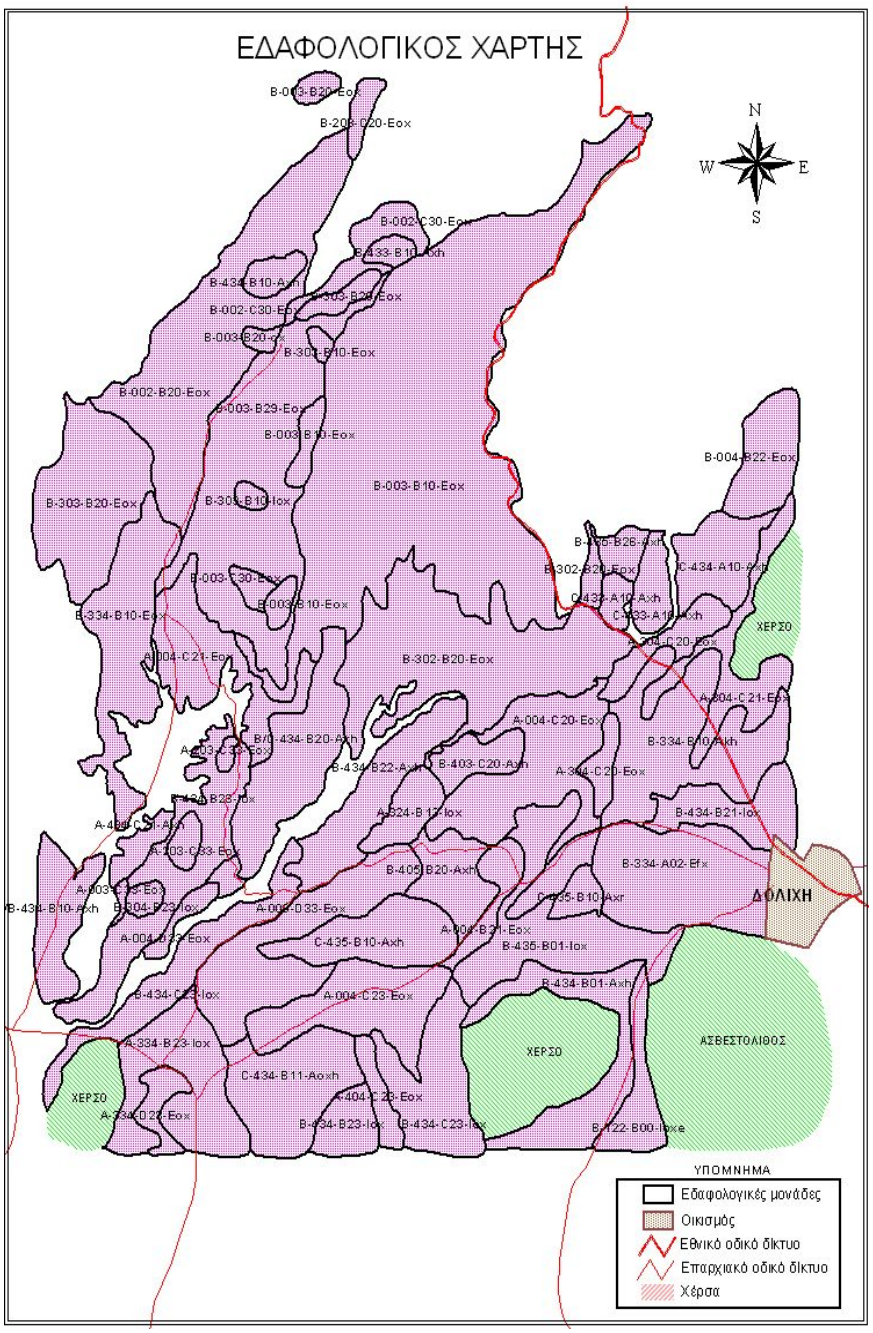
Η μέση θερμοκρασία της τελευταίας 20-ετίας των θερινών μηνών της περιοχής μελέτης από στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Λιβαδίου, είναι 19,37 ^{o}C, ενώ των χειμερινών 2,99 ^{o}C. Ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος (2,42 ^{o}C) και θερμότερος ο Ιούλιος (20,86 ^{o}C). Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 11,8 ^{o}C και το θερμομετρικό εύρος 18,5 ^{o}C. Οι βροχοπτώσεις παρουσιάζονται ομοιόμορφα κατανεμημένες σε σύγκριση με άλλες περιοχές της Ελλάδας. Η ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 468,03 mm και κατανέμεται κατά 25,54% την περίοδο Σεπτεμβρίου-Νοεμβρίου, 21,31% την περίοδο Δεκεμβρίου-Φεβρουαρίου, 47,76% την περίοδο Μαρτίου-Μαΐου και 35,15% την περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου. Η ξηρή περίοδος του έτους αρχίζει ουσιαστικά από τον Απρίλιο και τελειώνει τον Οκτώβριο. Κατά την περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου, που χαρακτηρίζεται ως υπέρξηρη, κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή αρδεύσεων για την ανάπτυξη των εαρινοφθινοπωρινών καλλιεργειών και μόνιμων φυτειών.

2.4. Κατανομή καλλιεργειών

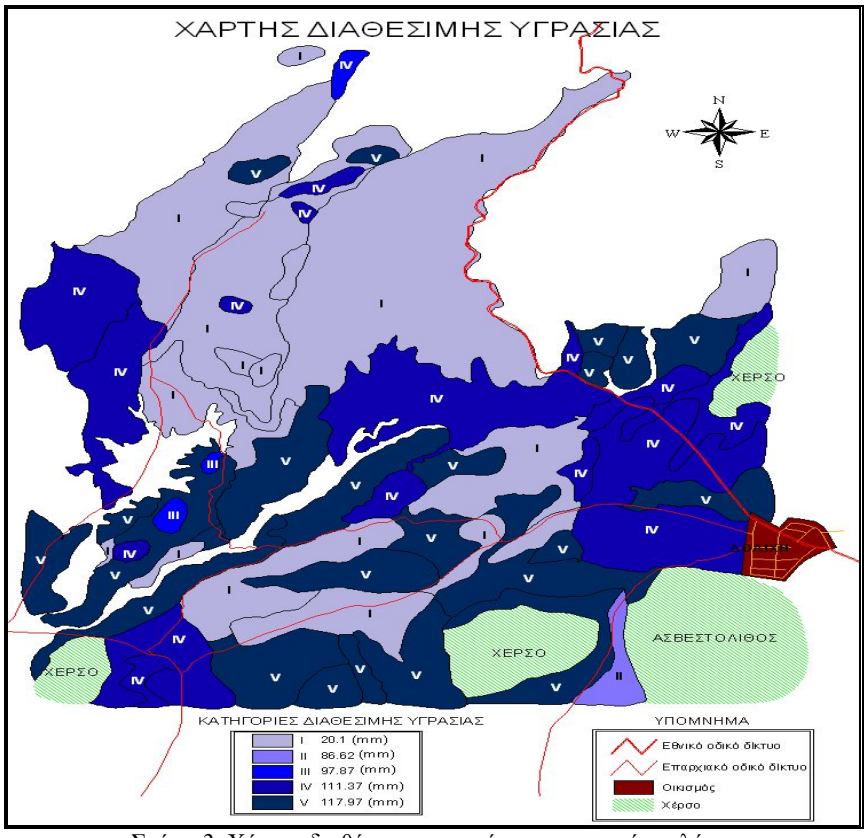
Το μέσο ποσοστό των αρδευόμενων καλλιεργειών του Δ.Δ. Λιβαδίου, ανέρχεται σε 22,23% όπως φαίνεται στον Πίνακα 2. Το αντίστοιχο ποσοστό στο Δ.Δ Δολίχης ανέρχεται σε 33,63% και τούτο οφείλεται στην καλύτερη υδροφορία του ανατολικού τμήματος της περιοχής. Αυτός είναι καθαρά ο λόγος που η έλλειψη εγγειοβελτιωτικών έργων συνετέλεσε στην εγκατάλειψη της περιοχής από νέους ανθρώπους. Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η αναπτυγμένη κτηνοτροφία με σύγχρονες σταβλικές εγκαταστάσεις ηλεκτροδοτούμενες και συνδεδεμένες με το δίκτυο ύδρευσης. Το Δ.Δ. Λιβαδίου έχει 42.000 αιγοπρόβατα και 300 βοοειδή ελεύθερης βοσκής, αντίστοιχα η Δολίχη έχει 4.590 και 106 οικόσιτα βοοειδή.

Πίνακας 2: Ποσοστό αρδευόμενων καλλιεργειών σε στρέμματα κατά το έτος 2003.

Δημοτικά Διαμερίσματα	Σύνολο αρδευόμενων	Σύνολο μη αρδευόμενων	Σύνολο καλλιεργειών	Ποσοστό % αρδευόμενων
Λιβάδι	6.627	23.180	29.807	22,23
Δολίχη	2.075	4.075	6.170	33,63



Σχήμα 2. Εδαφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης



Σχήμα 3. Χάρτης διαθέσιμης υγρασίας της περιοχής μελέτης

3. ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Για τον ακριβή υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, χρησιμοποιούνται συνήθως πολύπλοκες εξισώσεις που απαιτούν τη χρήση πολλών κλιματικών παραμέτρων, όπως η μέθοδος FAO-56 Penman-Monteith [3]. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις, υπάρχει έλλειψη κλιματικών στοιχείων που υπαγορεύει τη χρήση απλούστερων μεθόδων, όπως η μέθοδος Blaney-Criddle με τους αντίστοιχους φυτικούς συντελεστές [4, 5, 6, 7, 8]. Επειδή στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά στοιχεία, πλην της μέσης θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης, οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό υπολογίστηκαν με την μέθοδο Blaney-Criddle:

$$ET_o = p \cdot (0.457 \cdot T_{av} + 8.128) \quad (1)$$

όπου ET_o η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς σε mm ανά μήνα, T_{av} η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m (^oC) και p το μέσο μηνιαίο ποσοστό ωρών ημέρας του έτους ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Η εξατμισοδιαπνοή της κάθε καλλιέργειας (ET_C) υπολογίστηκε ως το γινόμενο της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (ET_o) και του φυτικού συντελεστή (k_c). Ως φυτικοί συντελεστές χρησιμοποιήθηκαν οι φυτικοί συντελεστές της μεθόδου FAO-

56 Penman-Monteith [3], αφού προσαρμόστηκαν στη μέθοδο Blaney-Criddle για τις συνθήκες της περιοχής μελέτης και τα διάφορα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών [8].

Από τη μηνιαία εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών που προέκυπτε με την παραπάνω διαδικασία αφαιρούνταν η ωφέλιμη μηνιαία βροχόπτωση (P_e). Η ωφέλιμη βροχόπτωση του μήνα υπολογίζονταν με τη σχέση της Soil Conservation Service (1970):

$$P_e = f(D)[1{,}25P_t^{0{,}824} - 2{,}93]10^{0{,}000955ET_c} \quad (2)$$

όπου P_e η ωφέλιμη βροχόπτωση του μήνα (mm), P_t η μέση μηνιαία ολική βροχόπτωση (mm), ET_C η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών (mm), f(D) είναι ένας παράγοντας προσαρμογής που εκφράζει το επιτρεπόμενο ποσοστό υποβιβασμού της εδαφικής υγρασίας ισούται και υπολογίζεται με τη σχέση:

$$f(D) = 0{,}53 + 0{,}011D - 8{,}94 \times 10^{-5} D^2 + 2{,}32 \times 10^{-7} D^3 \quad (3)$$

όπου D το βάθος του ριζοστρώματος των καλλιεργειών (mm).

Για τον υπολογισμό των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών που δίνονται στον Πίνακα 3, χρησιμοποιήθηκαν τα μέσα μηνιαία κλιματικά δεδομένα μέσης θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για το έτος 2003 του σταθμού Λιβαδίου.

Πίνακας 3. Ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών της περιοχής μελέτης x10^3 m^3

Δημοτικά Διαμ/ματα	Καπνός	Τεύτλα	Καλαμπόκι	Πατάτα	Μηδική	Δέντρα-Αμπέλια	Σύνολο
Λιβάδι	3,831	36,743	2.034,836	281,820	85,334	888,155	3.330,722
Δολίχη	223,945	166,061	229,997	0,561	256,003	234,173	1.110,743
Σύνολο	227,777	202,805	2.264,834	282,381	341,337	1.122,329	4.441,465

4. ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι συνολικά διαθέσιμοι υδατικοί πόροι στο Δήμο Λιβαδίου υπολογίζονται σε $4{,}5*10^6$ m^3, ενώ η πραγματική κατανάλωση ανέρχεται σε $4{,}7 *10^6$ m^3 ανά έτος όπως δείχνει ο Πίνακας 4. Η συμμετοχή του επιφανειακού νερού στο συνολικά καταναλισκόμενο νερό είναι πολύ μικρή. Αυτό σημαίνει ότι σχεδόν όλο το χρησιμοποιούμενο νερό, προέρχεται από τους υπόγειους υδροφορείς. Στην περιοχή μελέτης η υδροφορία είναι σχεδόν ανύπαρκτη και για τον λόγο αυτό οι υπάρχουσες γεωτρήσεις κατέστησαν ανενεργές. Στην περιοχή μελέτης, σε έκταση 5.000 στρεμμάτων (Σχήμα 1), οι επικρατούσες καλλιέργειες είναι μη αρδευόμενες. Από την καταγραφή των γεωτρήσεων και των δεδομένων (παροχές, βάθος άντλησης, αρδευόμενες καλλιέργειες κ.λπ.) που έγινε στην ευρύτερη περιοχή, έδειξε ότι, στο Δ.Δ. Λιβαδίου καταγράφηκαν 48 γεωτρήσεις, από τις οποίες οι 17 δίδουν παροχή 40 m^3/h και οι υπόλοιπες κάτω των 30 m^3/h. Ενώ στο Δ.Δ. Δολίχης καταγράφηκαν 45 γεωτρήσεις, από τις οποίες οι 27 να δίδουν παροχή 40 m^3/h και οι υπόλοιπες κάτω των 30 m^3/h, γεγονός που δείχνει την υπεροχή της υδροφορίας του Δ.Δ. Δολίχης έναντι του Δ.Δ. Λιβαδίου.

5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Από το Υδατικό ισοζύγιο που έγινε στο Δήμο Λιβαδίου (Πίνακας 4), φαίνεται καθαρά ότι υπάρχει έλλειμμα νερού της τάξης του 12,81% στο Λιβάδι, ενώ η Δολίχη καλύπτει τις ανάγκες σε νερό των αρδευόμενων καλλιεργειών. Με την λειτουργία του φράγματος ανάλογα με το είδος των καλλιεργειών που θα επιλέξουν οι παραγωγοί

(Πίνακας 5) και το αρδευτικό σύστημα [9, 10, 11 12], θα αυξηθούν οι αρδευόμενες εκτάσεις κατά 4.000 στρέμματα συνολικά. Με την αύξηση των εκτάσεων των αρδευόμενων καλλιεργειών, θα καλυφθεί ταυτόχρονα το υπάρχον έλλειμμα σε ζωοτροφές, μια που η περιοχή είναι και κτηνοτροφική.

Πίνακας 4. Υδατικό ισοζύγιο του Δήμου Λιβαδίου για όλες τις χρήσεις x10^3 m^3

Δ.Δ	Άρδευση	Ύδρευση	Κτηνοτροφία	Σύνολο	
Λιβάδι	1.929,6	269,17	312,44	2.511,20	
Δόλιχη	2.102,4	38,27	53,02	2.193,69	
Σύνολο	4.032,0	307,47	365,46	4.704,90	
Διαθέσιμοι υδατικοί πόροι					
Δ.Δ	Γεωτρήσεις	Επιφανειακά. νερά		Σύνολο	Έλλειμμα %
Λιβάδι	1.929,6	260,0		2.189,6	12,81
Δόλιχη	2.313,6	-		2.313,6	0
Σύνολο	4.243,2	260,0		4.503,2	4,3

Από τα δεδομένα του εδαφολογικού χάρτη και από τους θεματικούς χάρτες (υδρομορφίας, κλίσεων, διάβρωσης, ανθρακικών κ.λ.π) που εξήχθησαν και λόγω χώρου δεν παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι η λειτουργία του φράγματος θα συντελέσει στην μείωση του κόστους παραγωγής των παραγόμενων προϊόντων, αφού οι ήδη ανεπαρκώς αρδευόμενες εκτάσεις θα αυξήσουν την απόδοσή τους και οι επιπλέον αρδευόμενες εκτάσεις θα αυξήσουν το εισόδημα των γεωργών της περιοχής.

Πίνακας 5. Σενάρια δυνατότητας αρδευόμενων καλλιεργειών σε στρέμματα

Δημοτικά Διαμ/τα	Καπνός	Τεύτλα	Καλαμπόκι	Πατάτα	Μηδική	Δένδρα Αμπέλια	Κηπευτικά	Αμειψισπορά-Σιτηρά	Σύνολο
Α ΣΕΝΑΡΙΟ									
Λιβάδι	-	200	1700	170	300	200	70	860	
Δόλιχη	100	200	400	20	300	100	50	330	
Σύνολο	100	400	2100	190	600	300	120	1190	5000
x10^3 m^3	42575,2	190675,3	960246	93295,7	300846	196784,8	58923,6	1807058	
Β ΣΕΝΑΡΙΟ									
Λιβάδι		100	2000	50	150	50	100	1050	
Δόλιχη		200	500	20	180	20	50	530	
Σύνολο		300	2500	70	330	70	150	1580	5000
x10^3 m^3	0	143156,5	1143150	241110,5	165465,3	37402,4	73654,5	1803939	
Γ ΣΕΝΑΡΙΟ									
Λιβάδι		0	2500	50	300	0	0	1250	
Δόλιχη		0	800	0	300	0	0	965	
Σύνολο		0	3300	0	600	0	0	2215	5000

x10^3 m^3	0	0	1508958	0	300846	0	0	1809804	

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μέσες ανάγκες σε νερό, εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών για τις ελληνικές συνθήκες και της ωφέλιμης βροχόπτωσης με την μέθοδο Blaney Griddle για το έτος 2003.

Έγινε καταγραφή των πηγών νερού (γεωτρήσεις και επιφανειακά νερά) και στα δύο Δ.Δ. του Δήμου Λιβαδίου. Με βάση τα στοιχεία της υφιστάμενης κατάστασης των υδατικών πόρων έγινε το υδατικό ισοζύγιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το υπάρχων έλλειμμα νερού είναι της τάξης του 12,81% στο Λιβάδι, ενώ η Δολίχη καλύπτει τις ανάγκες σε νερό των αρδευόμενων καλλιεργειών.

Η λειτουργία του φράγματος θα αυξήσει κατά 8,77% τις αρδευόμενες εκτάσεις στο Λιβάδι και κατά 18,64% στη Δολίχη. Από το χάρτη διαθέσιμης υγρασίας θα έχουν την δυνατότητα οι παραγωγοί να υπολογίσουν τη δόση, το εύρος και την διάρκεια άρδευσης ανάλογα με το αρδευτικό σύστημα που θα χρησιμοποιούν.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Keys to Soil Taxonomy by Soil Survey Staff . (1987), Third Printing, Cornell University.
2. ΙΧΤΕΛ, (2000). Εδαφολογική μελέτη Επαρχίας Ελασσόνας Ν. Λάρισας, Λάρισα.
3. 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.
4. Blaney, H. F. and Criddle, W. D., (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**.** USDA, SCS, SCS-TP96, 48pp.
5. Αλεξίου, Ι., Κωτσόπουλος, Σ. Ι., Καλφούντζος, Δ. και Βύρλας, Π., (2000), Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής μέσω συναρτήσεων διαθεσιμότητας της εδαφικής υγρασίας. Πρακτικά 8ου Πανελλήνιου Συνεδρίου ΕΥΕ, Αθήνα, 493 - 500.
6. Αλεξίου, Ι., Κωτσόπουλος, Σ. Ι., Καλφούντζος, Δ. και Βύρλας, Π., (2000), Σύγκριση υπολογισμένων τιμών δυναμικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών με τις εξισώσεις Penman και Pemnan-Monteith. Πρακτικά 2ου Εθν. Συν. Γεωργικής Μηχανικής, Βόλος, 113 - 140.
7. Κωτσόπουλος, Σ. Ι., Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ. και Βύρλας, Π., (1999), Σχέσεις νερού και παραγωγής βαμβακιού σε περιοχές της Θεσσαλίας. *Πρακτικά 4ου Εθνικού Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ:* 'Διαχείριση Υδατικών Πόρων στις Ευαίσθητες Περιοχές του Ελλαδικού Χώρου', Βόλος, 177-182.
8. Πανώρας, Α. Παπαζαφειρίου, Ε. και Πουλτσίδου, Θ., (2001). Υπολογισμός φυτικών συντελεστών για έξι μεθόδους εξατμισοδιαπνοής στο νότιο τμήμα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης, Αγροτική Έρευνα, 24 (1): 37-45.
9. Kalfountzos D., Alexiou I., Magalios S.S. and Vyrlas P. (1998). Integrated water resources management using GIS: A Case study in TOEB Pinios. Proceeding of an International Conference. Protection and Restoration of the Environment IV Halkidiki, Macedonia Creece, Volume I, pp. 83-90.
10. Καλφούντζος Δ**.**, Αλεξίου Ι., Μαγαλιός Σ., Βύρλας Π., και Τσιτσιπά Γ. (1999)"Έμπειρο σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης Αρδευτικού νερού: Εδική εφαρμογή στον ΤΟΕΒ Πηνειού. 4ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ Βόλος, Πρακτικά Τεύχος Α' σελ. 20-27.

11. Ντιούδης Π., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Μασλάρης Ν., Νούσιος Γ., (2000). Διατάξεις άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Βόλος, 113 - 140.

12. Καλφούντζος, Δ., Αλεξίου, Ι., Κωτσόπουλος, Σ., Σούλιος Γ., Γκούμας Κ., Βύρλας, Π., (2005), Διαχείριση υδατικών πόρων υδρολογικής λεκάνης του άνω ρού του ποταμού Ενιππέα Φαρσάλων. Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ:'Ολοκληρωμένη διαχείριση Υδατικών Πόρων με βάση τη λεκάνη απορροής', Ξάνθη, 97-103.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΥΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΗΓΗ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ, ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΠΝΟΗ

Νικόλαος Μαλάμος*, Σταμάτης Ελμαλόγλου*
* Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής
Ιερά Οδός 75 - 11855, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η χρήση ενός μοντέλου επίπεδης συμμετρίας που λαμβάνει υπόψη την εξάτμιση και την μύζηση νερού από τις ρίζες των φυτών, στην ανάλυση της τοπικής διήθησης από επιφανειακή γραμμική πηγή στάγδην άρδευσης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη και εφαρμογή μιας εμπειρικής μεθόδου προσδιορισμού του βάθους του μετώπου διαβροχής. Στην εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν δύο από τις δώδεκα εδαφικές κλάσεις του USDA [15], με τέσσερις παροχές για κάθε μία. Η εμπειρική μέθοδος διαχωρίζει το φαινόμενο σε δύο φάσεις, το μήκος της κάθε μίας εξαρτάται από τη διάρκεια άρδευσης. Η εφαρμογή δύο απλών εξισώσεων, μιας συνάρτησης δύναμης και μιας πολυωνυμικής με εξαρτημένη μεταβλητή το χρόνο, είχε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επίσης, υπολογίστηκαν και οι τιμές των συντελεστών των εξισώσεων, ανά κλάση, με βάση τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης. Η συμφωνία μεταξύ των αριθμητικών και των εμπειρικών αποτελεσμάτων, δείχνει ότι ο συνδυασμός μιας συνάρτησης δύναμης και μιας πολυωνυμικής εξίσωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της κατακόρυφης κίνησης του μετώπου διαβροχής, με στόχο την αποφυγή απωλειών λόγω βαθείας κατείσδυσης.

ESTIMATION OF THE WETTED SOIL VOLUME DEPTH, UNDER A SURFACE TRICKLE LINE SOURCE, CONSIDERING EVAPORATION AND WATER EXTRACTION BY ROOTS

Nikolaos Malamos*, Stamatis Elmaloglou*
* Agricultural University of Athens - Laboratory of Agricultural Hydraulics
Iera Odos 75 - 11855, Athens

ABSTRACT

The use of a plane flow model that takes into account evaporation and water extraction by roots, in order to analyze local infiltration from a surface line source of trickle irrigation is presented. The numerical results were the base for the development and testing of an empirical method to determine the depth of the wetted soil volume. The implementation of the mathematical model took place against two of the twelve USDA soil classes [15] using four water application rates for each one. The empirical methodology separates the irrigation process in two phases; the length of each one depends on the duration of the irrigation. The application of two simple, time dependent empirical relationships, a power law for the stage of the infiltration and a polynomial for the stage after the end of the irrigation, had very satisfying results. Average class values of the empirical coefficients were introduced based on the corresponding confidence intervals. The agreement between the numerical results and the values calculated by the empirical relationships, show that the combined use of a power law and a polynomial empirical relationship could be used to calculate the vertical movement of the wetting front through the soil profile, in order to reduce the deep percolation losses.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών, πολυάριθμα μαθηματικά μοντέλα αναπτύχθηκαν για την ανάλυση της πολυδιάστατης μη μόνιμης διήθησης από πηγή στάγδην άρδευσης, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη την πρόσληψη νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών. Η εξίσωση ροής του νερού που περιγράφει το φυσικό μοντέλο είναι μη γραμμική και η επίλυσή της έχει επιτευχθεί μόνο με αριθμητικές μεθόδους [3], [1], [13], [18], [10], [4]. Για την αντίστοιχη γραμμικοποιημένη μορφή της εξίσωσης ροής έχουν αναπτυχθεί διάφορες αναλυτικές λύσεις [20], [11], [21], [2]. Όμως η εφαρμογή τους είναι περιορισμένη λόγω των διαφόρων υποθέσεων, όπως η ομοιόμορφη αρχική υγρασία, οι απλουστευμένες οριακές συνθήκες, το μηδενικό πάχος της κορεσμένης ζώνης διήθησης, η εκθετική σχέση μεταξύ του φορτίου πίεσης και της υδραυλικής αγωγιμότητας και τέλος η παραδοχή $dK/d\Theta = k$, όπου k είναι μία σταθερά.

Σε αντίθεση με το σχετικά μεγάλο αριθμό των ανωτέρω μοντέλων, λίγες ερευνητικές προσπάθειες εστίασαν στην προσομοίωση της στάγδην άρδευσης, λαμβάνοντας υπόψη την πρόσληψη νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών [22], [12], [6], [5].

Οι Schwartzman and Zur [17], πρότειναν μία μέθοδο προσδιορισμού της ισαποχής των σταλακτήρων και της γεωμετρίας του διαβρεχόμενου εδαφικού όγκου κάτω από ένα σταλακτήρα. Οι Healy and Warrick [8], ανέπτυξαν μία τεχνική υπολογισμού των χρονικά μεταβαλλόμενων ορίων του μετώπου διαβροχής από σημειακή επιφανειακή πηγή στάγδην άρδευσης. Οι Zazueta et al. [23], πρότειναν μία εναλλακτική μέθοδο προσδιορισμού της κινητικής του εδαφικού νερού, η οποία βασιζόταν σε μία απλή εξίσωση.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία εμπειρική μέθοδος υπολογισμού της κατακόρυφης συνιστώσας του μετώπου διαβροχής κάτω από επιφανειακή γραμμική πηγή στάγδην άρδευσης. Η επαλήθευση της εμπειρικής μεθόδου βασίστηκε στην αριθμητική επίλυση ενός μαθηματικού μοντέλου ροής επίπεδης συμμετρίας, που λαμβάνει υπόψη την μύζηση των ριζών και την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους. Η εφαρμογή της μεθόδου έγινε σε δύο από τις δώδεκα εδαφικές κλάσεις του USDA [15], με τέσσερις παροχές για κάθε μία.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Υδροδυναμικά χαρακτηριστικά των εδαφών

Με στόχο την όσο το δυνατόν πιο γενική αντιμετώπιση επιλέξαμε δύο από τις δώδεκα εδαφικές κοκκομετρικές κλάσεις του United States Department of Agriculture (USDA) και χρησιμοποιήσαμε τις αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων υπολογισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας (Εξ. 1) και της μεταβολής της υδραυλικής αγωγιμότητας (Εξ. 2) [19]:

$$\Theta(H) = \Theta_r + \textbf{Error!},\ m = 1 - 1/n \tag{1}$$

$$K(Se) = K_s\, Se^{0.5}\,(1 - [1 - Se^{n/(n-1)}]^{m})^2,\ Se = \textbf{Error!},\ m = 1 - 1/n \tag{2}$$

όπου: K_s είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό, α είναι παράμετρος προσαρμογής (cm^{-1}) και n είναι επίσης μία παράμετρος προσαρμογής (αδιάστατη).

Οι κοκκομετρικές κλάσεις επιλέχθηκαν με κριτήρια την ποικιλία των υδροδυναμικών χαρακτηριστικών τους και την γεωργική τους χρησιμότητα, και από την πιο χονδρόκοκκη προς την πιο λεπτόκοκκη ήταν:

- Πηλοαμμώδες έδαφος (Loamy Sand)
- Ιλυώδες έδαφος (Silt)

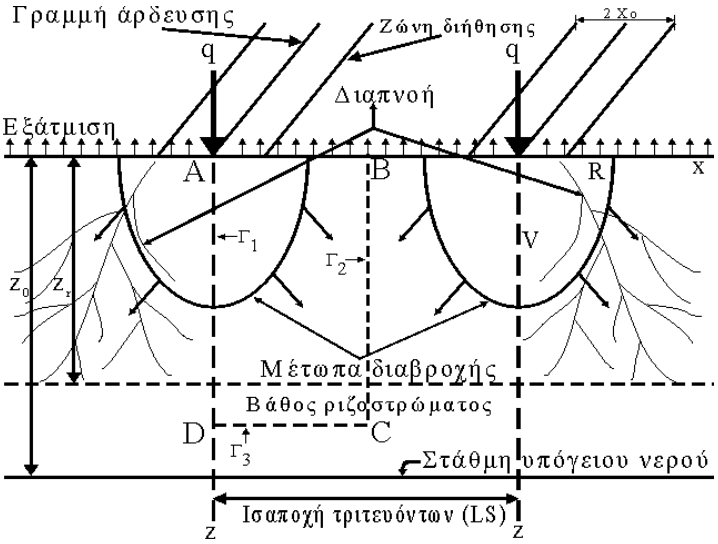
Οι τιμές των παραμέτρων που περιέχονται στις αναλυτικές εκφράσεις των σχέσεων $\Theta(H)$ και $K(Se)$ (Εξ. 1 και 2) και συνοψίζονται στον Πίνακα 4, έχουν παρουσιαστεί σε αρκετές ερευνητικές εργασίες [15], [16], διασφαλίζοντάς μας για την ακρίβειά τους.

Πίνακας 4: Τιμές των παραμέτρων των Εξ. (1) και (2)

Έδαφος	α (cm^{-1})	n	Θ_s ($cm^3\ cm^{-3}$)	Θ_r ($cm^3\ cm^{-3}$)	K_s ($cm\ h^{-1}$)
Πηλοαμμώδες (Loamy Sand)	0.03475	1.74582	0.390	0.049	4.3832
Ιλυώδες (Silt)	0.00658	1.67880	0.489	0.050	1.8230

Το φυσικό μοντέλο

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται σε τρεις διαστάσεις το φυσικό πρόβλημα, στην περίπτωση φυτοκαλυμμένου εδάφους.



Σχήμα 9: Σχηματική παράσταση της περιοχής στην οποία εξετάζουμε την τρισδιάστατη διήθηση με επίπεδη συμμετρία, στην περίπτωση φυτοκαλυμμένου εδάφους.

Πρόκειται για ένα ομοιογενές έδαφος, το οποίο υπέρκειται μιας οριζόντιας αδιαπέρατης στρώσης, η οποία βρίσκεται σε μεγάλο βάθος. Στην επιφάνεια του εδάφους εφαρμόζεται διήθηση με σταθερή παροχή από σταλακτήρες στη σειρά σε οριζόντια λωρίδα πλάτους $2{\cdot}x_0$. Η επίπεδη συμμετρία της ροής μας επιτρέπει να εξετάσουμε το φυσικό πρόβλημα πάνω σε ένα από τα άπειρα κατακόρυφα επίπεδα,

(κάθετα προς το μήκος της λωρίδας εδάφους) και που ορίζονται από τους άξονες x και z αντίστοιχα.

Σκοπός μας είναι ο προσδιορισμός σε κάθε χρονική στιγμή t των κατατομών της εδαφικής υγρασίας $\Theta(x, z, t)$.

Το μαθηματικό μοντέλο

Το φυσικό πρόβλημα περιγράφεται από την εξίσωση ροής:

$$F(U)\ \textbf{Error!} = \textbf{Error!} + \textbf{Error!} - G(U)\ \textbf{Error!} - S(H, z) \tag{3}$$

όπου οι συντελεστές $F(U)$ και $G(U)$ είναι ίσοι με :

$$F(U) = \textbf{Error!}, \quad G(U) = \textbf{Error!} \tag{4}$$

με:

$$U(H) = \textbf{Error!} \tag{5}$$

όπου: x, z είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες (L), H είναι το φορτίο πίεσης (L), K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (LT^{-1}), Θ είναι η κατ' όγκο εδαφική υγρασία (L^3L^{-3}), t είναι ο χρόνος από την αρχή της διήθησης (T), S είναι ένας κατανεμημένος όρος «πηγάδι», ο οποίος αντιπροσωπεύει την μύζηση νερού από τις ρίζες των φυτών ($L^3L^{-3}T^{-1}$), με τον άξονα των z να θεωρείται θετικός προς τα κάτω.

Αρχικές και οριακές συνθήκες

Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε μεγάλο βάθος z_0, τέτοιο που στην περιοχή ABCD να έχουμε μια ομοιόμορφη υγρασία που εξασφαλίζεται με μια σταθερή ταχύτητα βροχόπτωσης:

$$q_i = K(H_i) \tag{6}$$

Η αρχική συνθήκη είναι:

$$U(x, z, t = 0) = U_i \tag{7}$$

η οποία αντιστοιχεί σε ομοιόμορφη αρχική τιμή εδαφικής υγρασίας, Θ_i, δηλαδή:

$$\Theta(x, z, t = 0) = \Theta_i,\ H(x, z, t = 0) = H_i \tag{8}$$

Η συνθήκη στο κάτω και στο δεξιό όριο της περιοχής ροής ορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε η περιοχή διακριτοποίησης να περιορίζεται σε εκείνη μόνο την περιοχή του εδάφους που η μεταβλητή U μεταβάλλεται σε σχέση με τον χρόνο. Η περιοχή διακριτοποίησης αυξάνεται βαθμηδόν με τον χρόνο όσο το μέτωπο διαβροχής προχωράει έτσι ώστε αυτή να περικλείεται πάντα μέσα στο ABCD (Σχήμα 9).

Η οριακή συνθήκη στο κινητό όριο της περιοχής ροής Γ_3 (Σχήμα 9), είναι:

$$\text{Για } t > 0, \qquad z_r \le z = z(t) < z_0,\ 0 < x < \textbf{Error!},\ U = U_i \tag{9}$$

όπου: $x(t)$, $z(t)$ είναι οι συντεταγμένες των κινητών ορίων και LS είναι η ισαποχή των τριτευόντων.

Οι οριακές συνθήκες στα σταθερά γεωμετρικά όρια της περιοχής ροής, θα είναι:

a. Στο επίπεδο συμμετρίας Γ_2 ($x = LS/2$), έχουμε συνθήκη μηδενικής ροής, δηλαδή:

$$\text{Για } t > 0, \qquad q_x = -\ \textbf{Error!} = 0,\ 0 \le z \le z(t) \tag{10}$$

b. Στο επίπεδο συμμετρίας Γ_1 ($x = 0$), επίσης έχουμε συνθήκη μηδενικής ροής, δηλαδή:

Για $t > 0$, $$q_x = -\ \textbf{Error!} = 0,\ 0 \le z \le z(t) \tag{11}$$

c. Στην επιφάνεια του εδάφους ($z = 0$) η τοπική διήθηση, όπως την έχουμε ορίσει, χαρακτηρίζεται κυρίως από το μικρό μέγεθος της αρχικής ζώνης διήθησης. Για την πλειονότητα των πρακτικών εφαρμογών, είναι ρεαλιστικό να υποθέσουμε ότι η κατανομή της ειδικής παροχής (ταχύτητας του Darcy) διαμέσου αυτής της ζώνης διήθησης είναι ομοιόμορφη. Θέτουμε λοιπόν εκ των προτέρων:

$$q_0 = \textbf{Error!} - E_a \text{ για } t > 0,\ z = 0 \text{ και } 0 < x < x_0 \tag{12}$$

όπου: q είναι η παροχή του σταλακτήρα, E_a είναι ο ρυθμός πραγματικής εξάτμισης (LT^{-1}) και $S_0 = 2 \cdot x_0$.

Ο ρυθμός πραγματικής εξάτμισης, E_a, ορίζεται από μία εκθετική σχέση της μορφής:

$$E_a = E_p \, e^{\,\delta \cdot H} \tag{13}$$

όπου: E_p είναι ο ρυθμός δυνητικής εξάτμισης (LT^{-1}), H είναι το φορτίο πίεσης (L) και δ είναι ένας συντελεστής αναλογικότητας (L^{-1}). Η Εξ. (13) υποδηλώνει ότι η μείωση του φορτίου πίεσης στην επιφάνεια του εδάφους, ακολουθείται από εκθετική μείωση του ρυθμού πραγματικής εξάτμισης.

Γενικά, η αρχική ειδική παροχή q_0 είναι πολύ μεγαλύτερη από την K_s, όπου K_s είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό (LT^{-1}). Κατά συνέπεια, έχουμε γρήγορο κορεσμό της ζώνης διήθησης. Έτσι, δημιουργείται μια λεπτή στρώση νερού που επεκτείνεται συμμετρικά, γύρω από τον άξονα της ζώνης διήθησης, εφόσον η επιφάνεια του εδάφους είναι οριζόντια.

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε, θεωρούμε δυο φάσεις. Κατά την πρώτη, στην οποία ισχύει $t < t_1$, όπου t_1 είναι ο χρόνος κατά τον οποίο η αρχική ζώνη διήθησης γίνεται κορεσμένη, απουσία βροχόπτωσης ή εξάτμισης, η συνθήκη είναι:

$$q_z = -\ \textbf{Error!} - E_a \text{ για } 0 \le x \le x_0 \tag{14}$$

$$q_z = -\ \textbf{Error!} - E_a \text{ για } x_0 < x \le LS/2 \tag{15}$$

Κατά τη δεύτερη, στην οποία ισχύει $t \ge t_1$, η ζώνη διήθησης είναι κορεσμένη. Υποθέτοντας ότι το πάχος της στρώσης του νερού είναι αμελητέο, η οριακή συνθήκη γράφεται:

$$H = 0 \text{ για } 0 \le x \le x_s(t) \tag{16}$$

$$q_z = -E_a \text{ για } x > x_s(t) \tag{17}$$

όπου: $x_s(t)$ ορίζεται ως το ήμισυ της ζώνης διήθησης.

Στην πρώτη φάση ($t < t_1$), η διατήρηση του ισοζυγίου της μάζας διαμέσου της επιφάνειας του εδάφους εξασφαλίζεται με τις συνθήκες του Neuman (Εξ. 14, 15).

Μετά τον κορεσμό της ζώνης διήθησης ($t \ge t_1$), η συνθήκη του Dirichlet (Εξ. 16) δεν επιτρέπει να εξασφαλίσουμε την διατήρηση του ισοζυγίου της μάζας, και είναι αναγκαίο να επιβάλλουμε μια νέα συνθήκη η οποία δίνει έμμεσα το μέγεθος της ζώνης διήθησης $x_s(t)$ σε όλες τις στιγμές:

$$q = 2\ \textbf{Error!} \tag{18}$$

Εφαρμογή του αριθμητικού μοντέλου

Για την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης ροής, χρησιμοποιήσαμε την πεπλεγμένη μέθοδο εναλλασσομένων διευθύνσεων (Alternating Direction Implicit Method - A.D.I.). Η μέθοδος αυτή απαιτεί τη συμπλήρωση δυο βημάτων χρόνου για ένα πλήρη κύκλο εφαρμογής [4], [14] .

Η μύζηση του εδαφικού νερού από τις ρίζες των φυτών εκφράζεται από έναν κατανεμημένο όρο «πηγάδι», S, ο οποίος εξαρτάται μόνο από το φορτίο πίεσης, H, και τον μέγιστο ρυθμό μύζησης, S_{max}, ως εξής [9]:

$$S = \alpha(H) \cdot S_{max}(z) \tag{19}$$

Το S_{max} μεταβάλλεται με το βάθος και κατά τη διάρκεια της ημέρας, ως εξής:

$$S_{max}(z) = \gamma(a - b|z|) \text{ για } z \le z_r \tag{20}$$

όπου: a = 0.018 $cm^3\ cm^{-3}\ d^{-1}$ και b = 0.0002 $cm^{-3}\ d^{-1}$ και z_r σε cm, είναι το βάθος του ριζοστρώματος, ίσο με 80 cm. Ο συντελεστής γ τέθηκε ίσος με 1.00 κατά την διάρκεια της ημέρας, ενώ κατά την διάρκεια της νύκτας τέθηκε ίσος με 0.20.

Οι τιμές των χαρακτηριστικών φορτίων πίεσης που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του συντελεστή μείωσης, α, ήταν $H_1 = -10$ cm, $H_2 = -25$ cm, $H_3 = -300$ cm και $H_4 = -2000$ cm και για τα δύο εδάφη.

Συνήθως το φορτίο πίεσης, H_4, λαμβάνεται ίσο με το σημείο μάρανσης, αλλά επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες τιμές, επειδή σε μικρότερες τιμές από αυτές, η υδραυλική αγωγιμότητα σχεδόν μηδενίζεται.

Εμπειρικές σχέσεις προσδιορισμού της κίνησης του μετώπου διαβροχής

Μετά από προσεκτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η κατακόρυφη κίνηση του νερού στο εδαφικό προφίλ μπορεί να εκφραστεί από τη συνάρτηση δύναμης:

$$V = d_v\, t^{c_v} \tag{21}$$

στην οποία c_v και d_v είναι εμπειρικές παράμετροι εξαρτώμενοι από τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του εδάφους και τον ρυθμό εφαρμογής του νερού, ενώ t είναι ο χρόνος από την έναρξη της άρδευσης, σε ώρες.

Η διάρκεια της άρδευσης, t_i, σε ώρες, είναι ο χρόνος που απαιτείται για να εφαρμοστεί η επιθυμητή ποσότητα νερού. Η κατακόρυφη κίνηση του νερού στον χρόνο t_i, είναι V_i, οπότε:

$$V_i = d_v\, t_i^{\,c_v} \tag{22}$$

Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η φυσική του φαινομένου δεν επιτρέπει την συνεχή επέκταση του μετώπου διαβροχής με τον ίδιο ρυθμό και μετά το τέλος της άρδευσης, εισάγουμε μια πολυωνυμική σχέση που περιγράφει την κατακόρυφη προώθηση του μετώπου διαβροχής κάτω από τους σταλακτήρες, για χρόνους μεγαλύτερους από t_i:

$$V - V_i = A\,(t - t_i)^{1/2} + B\,(t - t_i) + C\,(t - t_i)^{3/2} \tag{23}$$

όπου: A, B και C είναι εμπειρικοί συντελεστές, επίσης εξαρτώμενοι από τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του εδάφους και από τον ρυθμό εφαρμογής του νερού.

Οι τιμές των παραμέτρων των Εξ. (22) και (23) προσδιορίζονται αριθμητικά, με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης, με βάση τα αποτελέσματα του αριθμητικού μοντέλου.

Κριτήρια αξιολόγησης των εμπειρικών σχέσεων προσδιορισμού της κίνησης του μετώπου διαβροχής

Η αξιολόγηση των τιμών που προέκυψαν από την εφαρμογή των Εξ. (22) και (23) έγινε με τη χρήση του συντελεστή προσδιορισμού R^2.

Επιπλέον, η αβεβαιότητα των τιμών των συντελεστών είναι ένα πολύ χρήσιμο μέτρο εκτίμησης της ποιότητας των αποτελεσμάτων της εμπειρικής μεθόδου. Ένας τρόπος να επιτευχθεί αυτό, είναι να υπολογιστούν τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τον καθένα, με στατιστική μεθοδολογία, η οποία βασίζεται σε τεχνικές παλινδρόμησης [7]. Αυτή η μεθοδολογία αποτελείται από ένα t - τεστ για διάστημα εμπιστοσύνης 96% με n–2 βαθμούς ελευθερίας για την Εξ. (22) και n–3 βαθμούς ελευθερίας για την Εξ. (23).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η προσομοίωση έγινε για κάθε ένα από τα δύο εδάφη, για περίοδο 24 ωρών και συνολική ποσότητα νερού 30 L m^{-1}. Η κλίμακα των παροχών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν q = 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 L m^{-1} h^{-1} και προφανώς η διάρκεια της άρδευσης για κάθε έδαφος ήταν t_i = 20.0, 15.0, 10.0 και 7.5 ώρες, αντίστοιχα.

Σε κάθε περίπτωση, η σταθερότητα και η σύγκλιση της αριθμητικής λύσης ήταν πολύ ικανοποιητική, εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την ποιότητα των αριθμητικών αποτελεσμάτων [4].

Στον Πίνακα 5, παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων της Εξ. (22), αριθμητικά προσδιορισμένες, με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης, μαζί με τα διαστήματα εμπιστοσύνης. Επίσης, παρουσιάζονται και οι συντελεστές προσδιορισμού R^2, που προέκυψαν από τη χρήση των μέσων τιμών των παραμέτρων c_v.

Πίνακας 5**:** Τιμές των παραμέτρων c_v, d_v, με τα διαστήματα εμπιστοσύνης και τις αντίστοιχες μέσες τιμές για τα c_v, και αντίστοιχοι συντελεστές προσδιορισμού R^2

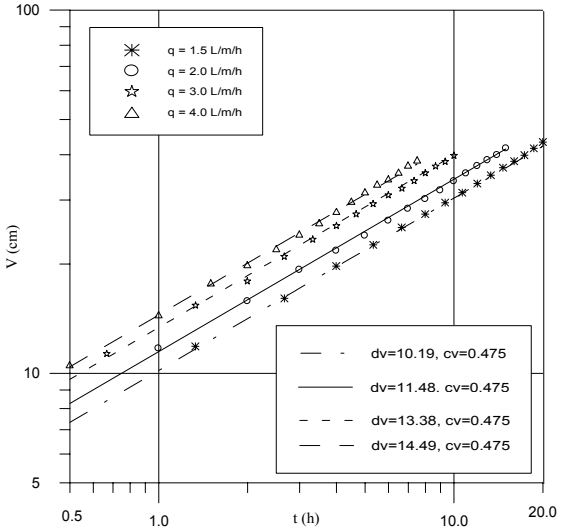
Έδαφος	**Παροχή** ($L\ m^{-1}h^{-1}$)	$V = d_v\, t^{c_v}$					
		c_v, –	c_v	t_{cv}	d_v	t_{dv}	R^2
Πηλοαμμώδες (Loamy Sand)	1.5	0.475	0.479	0.006	10.19	1.01	0.998
	2		0.470	0.009	11.48	1.02	0.998
	3		0.468	0.010	13.38	1.02	0.998
	4		0.481	0.010	14.49	1.01	0.996
Ιλυώδες (Silt)	1.5	0.465	0.467	0.006	11.52	1.01	0.999
	2		0.465	0.003	12.57	1.01	1.000
	3		0.467	0.005	14.09	1.01	0.999
	4		0.459	0.006	15.56	1.01	0.999

Σκοπός μας είναι, εκτός από τον υπολογισμό των παραμέτρων της Εξ. (22) για κάθε μία από τις τέσσερις παροχές, για τα δύο εδάφη, να υπολογιστούν τιμές των παραμέτρων, οι οποίες να χαρακτηρίζουν τις αντίστοιχες εδαφικές κλάσεις. Για να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιήσαμε τις μέσες τιμές των παραμέτρων c_v (Πίνακας 5). Από τις τιμές των διαστημάτων εμπιστοσύνης t, για την κάθε παροχή, είναι προφανές ότι η χρήση των μέσων τιμών για την παράμετρο c_v, είναι στατιστικώς αποδεκτή. Οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού R^2, κυμαίνονται από 0.996 έως 1.000, υποδηλώνοντας ότι η Εξ. (22) προσεγγίζει την κατακόρυφη συνιστώσα του μετώπου διαβροχής με μεγάλη ακρίβεια.

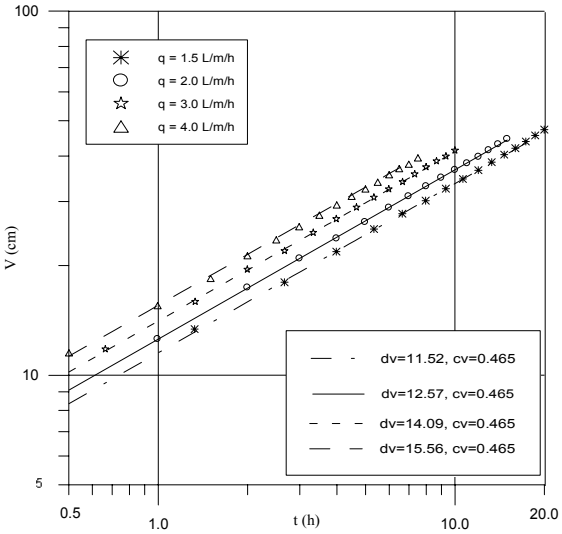
Στα Σχήματα 10, 11 παρουσιάζεται η κατακόρυφη προώθηση του μετώπου διαβροχής, V, στον άξονα x = 0, με τον χρόνο και για τα δύο εδάφη, κάτω από διάφορους ρυθμούς εφαρμογής του νερού, πριν το τέλος της άρδευσης και η προσέγγισή της (Εξ. 22) με χρήση των μέσων τιμών της παραμέτρου c_v.

Συγκρίνοντας τις τιμές της παραμέτρου c_v με τις τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό, K_s, για το καθένα από τα υπό μελέτη εδάφη, διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μία σαφής συσχέτιση μεταξύ τους, διότι η μείωση της K_s από το πηλοαμμώδες έδαφος (Loamy Sand) προς το ιλυώδες (Silt), ακολουθείται από αντίστοιχη μείωση της παραμέτρου c_v.

Επιπροσθέτως, η παράμετρος d_v, μεταβάλλεται ανάλογα με την παροχή, q, μιας και αύξηση της παροχής από 1.5 $L\ m^{-1}\ h^{-1}$ σε 4.0 $L\ m^{-1}\ h^{-1}$ και στα δύο εδάφη, ακολουθείται από ανάλογη αύξηση της τιμής της.



Σχήμα 10: Κατακόρυφη προώθηση του νερού με το χρόνο, πριν το τέλος της άρδευσης, για πηλοαμμώδες έδαφος (Loamy Sand)



Σχήμα 11: Κατακόρυφη προώθηση του νερού με το χρόνο, πριν το τέλος της άρδευσης, για ιλυώδες έδαφος (Silt)

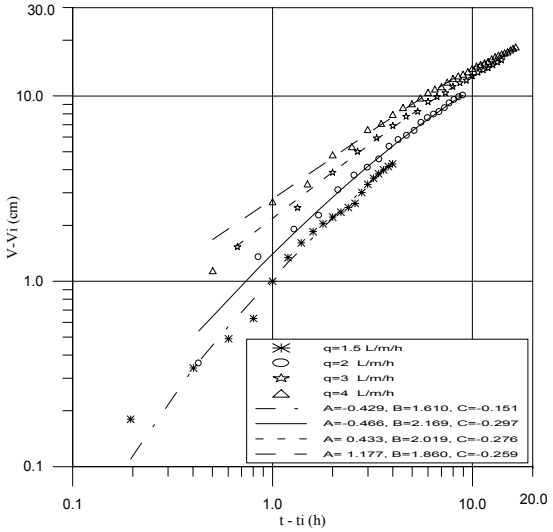
Για την περιγραφή της κατακόρυφης επέκτασης του μετώπου διαβροχής κατά την διάρκεια της δεύτερης φάσης, η οποία αρχίζει με το τέλος της άρδευσης (Σχήματα 12, 13), χρησιμοποιούμε την πολυωνυμική Εξ. (23), όπως αυτή παρουσιάστηκε προηγουμένως. Στον Πίνακα 6, παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων της Εξ. (23), αριθμητικά προσδιορισμένες, με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης, μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές προσδιορισμού R^2. Από τις τιμές του R^2, οι οποίες

κυμαίνονται από 0.995 έως 1.000 προκύπτει ότι η κατακόρυφη συνιστώσα του μετώπου διαβροχής, μετά το τέλος της άρδευσης, μπορεί να προσεγγιστεί σε μεγάλο βαθμό από ένα πολυώνυμο αυτής της μορφής.

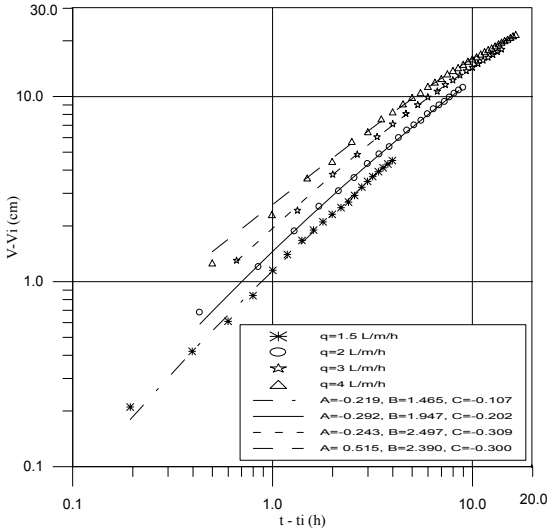
Πίνακας 6: Τιμές των παραμέτρων A, B και C με τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης και τους αντίστοιχους συντελεστές R^2

Έδαφος	**Παροχή** ($L\ m^{-1}h^{-1}$)	$V - V_i = A\,(t-t_i)^{1/2} + B\,(t-t_i) + C\,(t-t_i)^{3/2}$						
		A	t_A	B	t_B	C	t_C	R^2
Πηλοαμμώδες (Loamy Sand)	1.5	–0.429	0.529	1.610	0.747	–0.151	0.255	0.995
	2	–0.466	0.389	2.169	0.366	–0.297	0.084	0.999
	3	0.443	0.358	2.019	0.270	–0.276	0.049	0.999
	4	1.177	0.378	1.860	0.264	–0.259	0.045	0.998
Ιλυώδες (Silt)	1.5	–0.219	0.224	1.465	0.317	–0.107	0.109	0.999
	2	–0.292	0.179	1.947	0.169	–0.202	0.038	1.000
	3	–0.243	0.180	2.497	0.136	–0.309	0.025	1.000
	4	0.515	0.237	2.390	0.166	–0.300	0.028	0.999

Στα Σχήματα 12, 13 παρουσιάζεται η κατακόρυφη προώθηση του μετώπου διαβροχής, V, στον άξονα $x = 0$, με τον χρόνο και για τα δύο εδάφη, για τους ίδιους ρυθμούς εφαρμογής του νερού, μετά το τέλος της άρδευσης και η προσέγγισή της (Εξ. 23).



Σχήμα 12: Κατακόρυφη προώθηση του νερού με το χρόνο, μετά το τέλος της άρδευσης, για πηλοαμμώδες έδαφος (Loamy Sand)



Σχήμα 13: Κατακόρυφη προώθηση του νερού με το χρόνο, μετά το τέλος της άρδευσης, για ιλυώδες έδαφος (Silt)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός των συστημάτων άρδευσης με σταγόνες έχει ως σκοπό τη συντηρητική χρήση του υδατικών αποθεμάτων ελαχιστοποιώντας τις απώλειες λόγω εξάτμισης και κατείσδυσης. Για να μειωθεί η απώλεια νερού κάτω από το ριζόστρωμα, πρέπει να επιλέξουμε το βέλτιστο ρυθμό εφαρμογής του νερού, συναρτήσει της κατάλληλης διάρκειας άρδευσης, του βάθους ριζοστρώματος και του υδατικού ισοζυγίου.

Ο στόχος της παρούσης εργασίας ήταν η όσον το δυνατόν πληρέστερη δισδιάστατη προσομοίωση του συστήματος έδαφος - φυτό - ατμόσφαιρα και η χρήση των αριθμητικών αποτελεσμάτων για την ανάπτυξη μιας εμπειρικής μεθοδολογίας ακριβούς προσδιορισμού της κατακόρυφης συνιστώσας του μετώπου διαβροχής. Η ανάπτυξη μιας τέτοιας μεθοδολογίας έχει πρακτικό ενδιαφέρον, διότι η εκτίμηση της κατακόρυφης κίνησης του μετώπου διαβροχής κάτω από γραμμική πηγή, λαμβάνοντας υπόψη την εξάτμιση από την εδαφική επιφάνεια και την μύζηση του νερού από τις ρίζες των φυτών, απαιτεί σύνθετα προσδιοριστικά - ντετερμινιστικά μοντέλα προσομοίωσης, που απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων και υψηλή επιστημονική στάθμη των χρηστών για την εφαρμογή τους.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα σχεδόν συνέπεσαν με αυτά της προτεινόμενης μεθόδου, αποδεικνύοντας ότι η εμπειρική μέθοδος μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στην πρόβλεψη του βάθους του μετώπου διαβροχής, συμβάλλοντας στη μείωση των απωλειών νερού κάτω από το ριζόστρωμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ababou R. 1981. Modélisation des transferts hydriques dans un sol en infiltration localisée. *Thèse de Docteur Ingénieur*, Université de Grenoble.

2. Ben-Asher J., Lomen D.O. and Warrick A.W., 1978. Linear and nonlinear models of infiltration from a point source. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 3-6.
3. Brandt A., Bresler E., Diner N., Ben-Asher J., Heller J. and Goldberg D. 1971. Infiltration from a trickle source, I. Mathematical models. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 675-682.
4. Elmaloglou S. and Grigorakis G. 1997. Linear and nonlinear models of infiltration from surface line source of trickle irrigation. *ICID Journal* 46 (2): 81-92.
5. Elmaloglou S. and Malamos N. 2003. A method to estimate soil-water movement under a trickle surface line source, with water extraction by roots. *Irrig. and Drain.* 52: 273-284.
6. Ghali G.S. and Svehlik Z.J. 1988. Soil-water dynamics and optimum operating regime in trickle-irrigation fields. *Agric. Water Manage.* 13: 127-143.
7. Chapra C.S. and Canale P.R. 2002. Numerical methods for engineers: with software and programming applications, 4th ed. New York: McGraw-Hill.
8. Healy R.W. and Warrick A.W. 1988. A generalized solution to infiltration from a surface point source. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1245-1251.
9. Hoogland J.C., Feddes R.A., Belmans C. 1981. Root water uptake model depending on a soil water pressure head and maximum extraction rate. *Acta Horti.* 119: 123-136.
10. Lafolie F., Guennelon R. and van Genuchten M.Th. 1989. Analysis of water flow under trickle irrigation: I. Theory and numerical solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1310-1318.
11. Lomen D.O. and Warrick A.W. 1974. Time-Dependent linearized infiltration (II: line Source). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 568-572.
12. 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.
13. Ragab R., Feyen J. and Hillel D. 1984. Simulating infiltration in sand from a trickle line source using the matrix flux potential concept. *Soil Sci.* 137: 120-127.
14. Remson I., Hornberger G.M. and Molz F.D. 1971. Numerical Methods in Subsurface Hydrology. New York: John Wiley.
15. Schaap M.G. and Leij L.J. 1998. Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Sci.* 163: 765-779.
16. Schaap M.G., Leij L.J. and Van Genuchten M.Th. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 847-855.
17. Schwartzman M. and Zur B. 1986. Emitter spacing and geometry of the wetted soil volume. *J.Irrig.and Drain. Engrg. ASCE* 112(3): 242-253.
18. Taghavi S.A., Marino M.A. and Rolston D.E. 1984. Infiltration from a trickle irrigation source. *J.Irrig. and Drain. Engrg. ASCE* 110 (2): 331-341.
19. Van Genuchten M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Am. J.* 44: 892-898.

20. Warrick A.W. 1974. Time-Dependent linearized infiltration (I: Point Sources). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 383-387.
21. Warrick A.W. and Lomen D.O. 1976. Time-Dependent linearized infiltration, (III: Strip and disc sources). *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 639-643.
22. Warrick A.W., Amoozegard-Fard A. and Lomen D.O. 1979. Linearized moisture flow from line source with water extraction. *Trans. ASAE* 22 (3): 549-553.
23. Zazueta F.S., Clark G.A. , Smajstrla A.G. and Carrilo M.1995. A simple equation to estimate soil-water movement from a drip irrigation source. Proceedings of the fifth International Microirrigation Congress April 2-6, Florida p.p.851-856.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΛΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ – ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ ΗΛΕΙΑΣ

Αικ.Γκαγκάκη, Ν.Δέρκας, Γ.Καραντούνιας
Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία ανάλυσης της υδραυλικής επάρκειας των αρδευτικών δικτύων υπό πίεση, η οποία επιτρέπει τη συνολική εκτίμηση της ανταπόκρισης των δικτύων στη ζήτηση, καθώς και τον εντοπισμό των υποδιαστασιολογημένων αγωγών και των υδροστομίων που παρουσιάζουν ανεπαρκή πίεση. Κατόπιν, γίνεται πιλοτική εφαρμογή της προαναφερθείσης μεθοδολογίας στο συλλογικό αρδευτικό δίκτυο Α2 του Πηνειού Ηλείας και προτείνονται μέτρα, προκειμένου να ανταποκριθεί το δίκτυο σε ικανοποιητικό βαθμό στη ζήτηση.

HYDRAULIC PERFORMANCE ANALYSIS OF COLLECTIVE PRESSURE IRRIGATION NETWORKS – PILOT CASE STUDY IN PINIOS-ILIA NETWORK

Aik.Gagaki, N.Dercas, G.Karantounias
Laboratory of Agricultural Hydraulics
Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos, 11855 Athens

ABSTRACT

In this article the methodology of collective irrigation networks performance analysis is briefly presented. This methodology allows to evaluate the behavior of the networks as well as to locate the hydrants with restricted pressure head and the pipeline with increased friction losses during the peak period. In addition a case study is presented concerning the hydraulic analysis and performance evaluation of A2 Savalia pressure collective network of Pinios Ilia. Finally proposals are made concerning the measures that will allow to obtain a better satisfaction of the water demand.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ελληνικά εγγειοβελτιωτικά δίκτυα παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα που οφείλονται τόσο σε λάθη στην μελέτη και στη κατασκευή όσο και σε κακή διαχείριση. Τα αίτια αυτά οδηγούν σε σημαντική υποβάθμισή τους και σε μια συνεχή φθίνουσα πορεία τους, με αποτέλεσμα προϊόντος του χρόνου να αδυνατούν να εξυπηρετήσουν τους χρήστες. Εάν δεν ληφθούν μέτρα, αναμένεται με βεβαιότητα η καταστροφή τους με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την ελληνική οικονομία και κοινωνία. Τα περισσότερα δίκτυα είναι πεπαλαιωμένα και χρήζουν ανάταξης και εκσυγχρονισμού. Η δυσοίωνη αυτή κατάσταση έδωσε το ερέθισμα για την προσπάθεια διερεύνησης-ανάλυσης του εγγειοβελτιωτικού έργου του Πηνειού του Ν.Ηλείας και ιδιαίτερα του συλλογικού αρδευτικού δικτύου Α2 Σαββαλίων, στο οποίο έχει ήδη γίνει προσπάθεια ανάταξης-εκσυγχρονισμού (*SCP-Υδροσύστημα, 1997*).

Προκειμένου να εντοπιστούν τα προβλήματα και να υπάρχει σφαιρική εκτίμηση της κατάστασης, απαιτείται κατ'αρχάς να γίνει απογραφή των καλλιεργειών που απαντώνται στην περίμετρο του δικτύου, καθώς και της συνολικής έκτασης που καταλαμβάνουν, με στόχο την εκτίμηση των αναγκών άρδευσης (Doorenbos and Pruitt 1977, Smith 1989). Η χαρτογράφηση των διαφόρων χρήσεων γης που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με χρήση είτε αεροφωτογραφιών είτε δορυφορικών εικόνων. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων αποτελεί μία από τις ευρύτατα διαδεδομένες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης με αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι διάφορες καλλιέργειες αναγνωρίζονται βάσει του ιδιαίτερου τρόπου με τον οποίο απορροφούν και ανακλούν την ακτινοβολία. Επιπρόσθετα, για την ανάλυση των δικτύων είναι αναγκαίο να καταγραφούν τα υδροστόμια που λειτουργούν και τα αγροτεμάχια που αρδεύονται, με σκοπό να ελεγχθεί η υδραυλική επάρκειά τους μέσω της χρήσης ομοιωμάτων.

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται η μεθοδολογία προσομοίωσης της υδραυλικής συμπεριφοράς αρδευτικού δικτύου υπό πίεση με ελεύθερη ζήτηση (*Lamaddalena 1997, Lamaddalena and Sagardoy 2000, Δέρκας 2001, Δέρκας και Καραντούνιας 2003*) που εφαρμόζεται για πρώτη φορά στην Ελλάδα. Έγινε πιλοτική εφαρμογή μαθηματικής προσομοίωσης και ανάλυσης σε ένα από τα αρδευτικά δίκτυα του Πηνειού Ηλείας (Α2 Σαββαλίων). Με επιτόπιες επισκέψεις συνελέγησαν συμπληρωματικά στοιχεία για τις καλλιέργειες, πέραν αυτών που καταγράφηκαν με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων, τα αρδευτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται, την κατάσταση των υδροστομίων και του αντλιοστασίου.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Με τον όρο ανάλυση ενός αρδευτικού δικτύου που βρίσκεται σε λειτουργία, εννοούμε τη διαδικασία εύρεσης των δυνατοτήτων του μέσω ενός μοντέλου προσομοίωσης, προκειμένου να μελετηθούν τα προβλήματα που παρουσιάζει (π.χ ποιά υδροστόμια παρουσιάζουν ανεπάρκειες πίεσης/παροχής, ποιοί αγωγοί είναι υποδιαστασιολογημένοι) και να προβλεφθούν οι κατάλληλες ενισχύσεις (CTGREF 1979, Béthery et al 1981, CEMAGREF 1990, 1991, Δέρκας, 2001, Δέρκας και Καραντούνιας 2003).

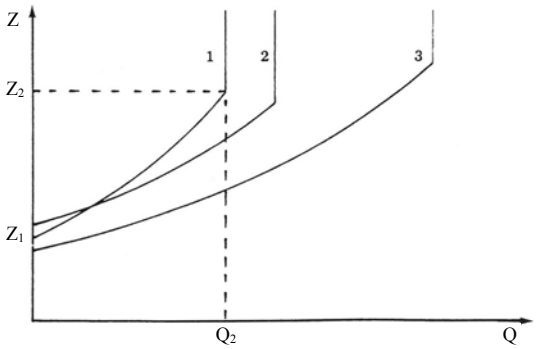
Ο προσδιορισμός των κρίσιμων τμημάτων ενός δικτύου είναι πολύ σημαντικός, καθώς επιτρέπει να εντοπιστούν τα προβλήματα και να εκτιμηθεί το μέγεθός τους.

2.1 Προσδιορισμός των Πραγματικών Χαρακτηριστικών Καμπύλων

Για να αναλυθεί ένα δίκτυο θα πρέπει να προσδιοριστούν οι Χαρακτηριστικές Καμπύλες του, Z=f(Q), προκειμένου να είναι δυνατόν άμεσα να προσδιορίζεται το φορτίο που πρέπει να είναι διαθέσιμο στην κεφαλή, ώστε να ικανοποιηθεί μια ζήτηση Q_0 που θα παρουσιαστεί στην κεφαλή *(Δέρκας, 2001, Δέρκας και Καραντούνιας 2003)*.

Η Χαρακτηριστική Καμπύλη (Χ.Κ) ενός αγωγού μεταφοράς (αναγκαίο φορτίο στην κεφαλή συναρτήσει της παροχής, Z=f(Q)) είναι εύκολο να προσδιοριστεί. Αντίθετα ο προσδιορισμός των πραγματικών χαρακτηριστικών καμπύλων ενός δικτύου είναι πολύπλοκη διαδικασία, καθώς εξαρτάται από τα υδροστόμια που έχουν ανοίξει (τον αριθμό τους, την ονομαστική παροχή τους και τη θέση τους).

Ας υποθέσουμε ότι σε ένα δίκτυο ανοίγει ένας αριθμός υδροστομίων. Για να αρχίσει να υπάρχει παροχέτευση νερού, θα πρέπει το φορτίο στην κεφαλή του δικτύου να είναι μεγαλύτερο από το γεωμετρικό ύψος του χαμηλότερου υδροστομίου Z_1 προσαυξημένο κατά τις απώλειες φορτίου μέχρι το συγκεκριμένο υδροστόμιο. Το μέγεθος Z_1 λοιπόν είναι καθορισμένο και είναι το αρχικό σημείο της χαρακτηριστικής καμπύλης Z=f(Q) του δικτύου για το συγκεκριμένο συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων (Καμπύλη 1, Σχήμα 1).



Σχήμα 14. Χαρακτηριστικές καμπύλες δικτύου για διάφορους συνδυασμούς ανοικτών υδροστομίων

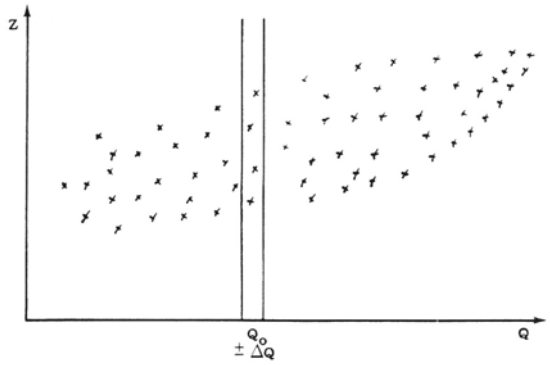
Αυξάνοντας το φορτίο στην κεφαλή, η παροχή του προαναφερθέντος υδροστομίου θα αρχίσει να αυξάνει και θα αρχίσουν να παροχετεύουν νερό και άλλα υδροστόμια. Με την αύξηση του φορτίου στην κεφαλή, η παροχή των υδροστομίων θα αρχίσει να αυξάνει μέχρι του σημείου όπου θα επιτευχθεί στο ένα μετά το άλλο υδροστόμιο η ονομαστική παροχή και θα επέμβουν οι περιοριστές παροχής. Η μεγαλύτερη λοιπόν παροχή (για συγκεκριμένο συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων) είναι Q_2 (Σχήμα 1) όπου όλα τα ανοικτά υδροστόμια λειτουργούν με την ονομαστική παροχή τους. Το αντίστοιχο πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή του δικτύου είναι Z_2, ίσο με το γεωμετρικό ύψος του πιο δυσμενώς υδραυλικά υδροστομίου, προσαυξημένου κατά την απαραίτητη πίεση λειτουργίας και τις απώλειες φορτίου.

Εάν το φορτίο στην κεφαλή του δικτύου αυξηθεί πέραν του Z_2, η παροχή θα παραμείνει Q_2 (μέσα στα πλαίσια ακρίβειας λειτουργίας των περιοριστών παροχής), διότι θα έχουν επέμβει σε όλα τα υδροστόμια οι περιοριστές παροχής και δεν θα επιτρέπουν να αυξηθεί η παροχή πέραν της ονομαστικής τιμής της.

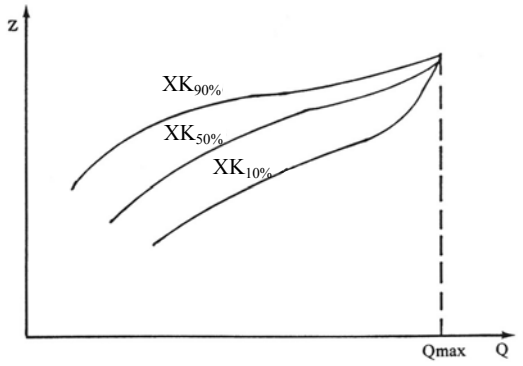
Η επιτευχθείσα καμπύλη (1) (Σχήμα 1) είναι η χαρακτηριστική καμπύλη του δικτύου για τον προαναφερθέντα συνδυασμό ανοικτών υδροστομίων. Εάν ο συνδυασμός των ανοικτών υδροστομίων είναι διαφορετικός, θα επιτευχθεί μια άλλη χαρακτηριστική καμπύλη (Καμπύλη 2 ή Καμπύλη 3, Σχήμα 1). Γίνεται φανερό ότι οι χαρακτηριστικές καμπύλες για το συγκεκριμένο δίκτυο θα είναι τόσες, όσες οι συνδυασμοί των ανοικτών υδροστομίων. Στο σύνολο αυτό των χαρακτηριστικών καμπύλων του δικτύου θα πρέπει να γίνει στατιστική επεξεργασία προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το δίκτυο.

2.2 Χαρακτηριστικές Καμπύλες με δείκτες

Από τις προαναφερθείσες πραγματικές Χ.Κ χρησιμοποιούνται μόνο τα τελικά σημεία (Z_2,Q_2) που παρουσιάζονται στο διάγραμμα Z=f(Q) (Σχήμα 2) υπό μορφή ενός σμήνους σημείων, τα οποία μπορούν να αναλυθούν με τις μεθόδους της στατιστικής.



Σχήμα 2. Ακραία σημεία (Z_2,Q_2) των πραγματικών χαρακτηριστικών του δικτύου



Σχήμα 3. Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες ($XK_{i\%}$)

Είναι λοιπόν δυνατόν για μια δεδομένη παροχή Q_0 στην κεφαλή του δικτύου να υπολογιστούν τα φορτία που επιτρέπουν την ικανοποίηση του 75%, 90% κ.λ.π των συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων που την προκαλούν.

Έτσι προκύπτουν οι χαρακτηριστικές με δείκτες σε ποσοστό (%) ικανοποίησης συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων που θα ονομάζονταν απλώς "χαρακτηριστικές με δείκτες $XK_{i\%}$" (Σχήμα 3). Οι δείκτες εκφράζουν το ποσοστό (%) συνδυασμών ανοικτών υδροστομίων χωρίς προβλήματα λειτουργίας για κάθε παροχή στην κεφαλή του δικτύου. Το διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες επιτρέπει να εκτιμάται σε ποιό βαθμό το έργο κεφαλής παρέχει ικανοποίηση της ζήτησης για διάφορες παροχές (από 0 → Qmax) στην κεφαλή. Πρόκειται για ένα πολύτιμο εργαλείο παρά το γεγονός ότι για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα ακραία σημεία (Z_2,Q_2) των πραγματικών χαρακτηριστικών του δικτύου. Επισημαίνεται ότι η προσέγγιση αυτή είναι πολύ συντηρητική-προσεκτική, διότι κάθε συνδυασμός ανοικτών υδροστομίων, όπου έστω και ένα υδροστόμιο παρουσιάζει μικρό πρόβλημα, θεωρείται ανεπιτυχής καθώς το φορτίο στην κεφαλή δεν είναι ικανό να εξασφαλίσει τη σωστή λειτουργία όλων των συγκεκριμένων υδροστομίων.

2.3Εντοπισμός προβληματικών υδροστομίων και υποδιαστασιολογημένων αγωγών

Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιούνται προσομοιώσεις της λειτουργίας του δικτύου, στο οποίο προσδιορίζονται διάφορες καταστάσεις ανοικτών-κλειστών υδροστομίων και εκτιμάται η λειτουργική κατάσταση των υδροστομίων (επάρκεια φορτίου πίεσης), όπως επίσης και η λειτουργική επάρκεια των αγωγών (Béthery 1990, CEMAGREF 1991, Lamaddalena and Sagardoy 2000, Δέρκας 2001, Δέρκας και Καραντούνιας 2003). Μετά από ένα σημαντικό αριθμό προσομοιώσεων γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε επίπεδο πλέον κάθε υδροστομίου και κάθε αγωγού. Όσον αφορά τα υδροστόμια, εκτιμάται το φορτίο πίεσης και συγκρίνεται με το ελάχιστο αναγκαίο φορτίο. Όσον αφορά τους αγωγούς, γίνεται εκτίμηση των γραμμικών απωλειών στις διάφορες προσομοιώσεις. Καθώς οι τιμές των απωλειών αυξάνονται, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι ο αγωγός βρίσκεται σε φάση κορεσμού και απαιτείται να γίνει μελλοντική ενίσχυση.*(CTGREF 1979, CEMAGREF 1990, Δέρκας 2001, Δέρκας και Καραντούνιας 2003).*

Σε κάθε προσομοίωση που πραγματοποιείται (r), το υδροστόμιο (j) θεωρείται ικανοποιημένο, όταν ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$H_{j,r} \geq H_{\min}$$

όπου $H_{j,r}$ [m] το φορτίο του υδροστομίου j στην r προσομοίωση και H_{min} το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο.

Η σχετική απόκλιση από το κανονικό φορτίο πίεσης κάθε υδροστομίου ισούται με:

$$\Delta H_{j,r} = \frac{H_{j,r} - H_{\min}}{H_{\min}}$$

3. ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

3.1 Παρουσίαση του δικτύου

Το δίκτυο που αναλύθηκε είναι το Α2 που διαχειρίζεται ο Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ Σαββαλίων, Ν.Ηλείας). Πρόκειται για ένα δίκτυο υπό πίεση που διαθέτει 291 υδροληψίες. Η εξοπλισμένη έκτασή του είναι περίπου 8.500 στρ. Η καταγραφή των καλλιεργειών αγροτεμάχιο προς αγροτεμάχιο, που έγινε από τους συγγραφείς του άρθρου, έδειξε ότι το ~90% είναι αρδευόμενη έκταση (52,7% επί της συνολικής έκτασης αραβόσιτος, 10,7% καρπούζια, 4,6% πατάτες, 4,9% κηπευτικά, κυρίως τομάτες και πιπεριές, 7,5% ελιές, 4,4% εσπεριδοειδή, 4,2% βοσκότοποι και

χορτολιβαδικά, 1,3% μηδική) και το υπόλοιπο 10% είναι μη αρδευόμενη έκταση (κυρίως σιτηρά) και μη καλλιεργούμενοι αγροί. Η ειδική συνεχής παροχή εκτιμήθηκε σε q=0,075L/sec/στρ., λαμβάνοντας υπόψη 20% απώλειες εφαρμογής στον αγρό και 10% απώλειες μεταφοράς στο δίκτυο.

Το δίκτυο είχε κατασκευαστεί να λειτουργεί με ελεύθερη ζήτηση, με πίεση 4 bars και παροχή 6L/sec. Το αντλιοστάσιο έχει δύο βοηθητικές αντλίες με ονομαστική παροχή $100m^3/h$ και πέντε κύριες με $\sim 665m^3/h$ η κάθε μία.

Δεν υπάρχει ρύθμιση κατάντη της διώρυγας που τροφοδοτεί το αντλιοστάσιο, με αποτέλεσμα την περίοδο εκτός αιχμής, όταν στο δίκτυο η κατανάλωση είναι μικρή, για να μειωθούν οι απώλειες νερού προς την θάλασσα, να σταματά η τροφοδοσία της διώρυγας σε νερό κατά τις νυχτερινές ώρες και το αντλιοστάσιο να βγαίνει εκτός λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια της νύκτας, το δίκτυο αδειάζει μερικώς (υπάρχουν συνήθως υδροστόμια που μένουν ανοικτά) και το επόμενο πρωί γίνεται εσπευσμένη πλήρωση του δικτύου, με αποτέλεσμα να συμβαίνουν υδραυλικά πλήγματα που καταπονούν το δίκτυο.

Επειδή το δίκτυο παρουσίαζε προβλήματα έγινε το 2003 ανάταξη και εκσυγχρονισμός του βάσει προηγηθείσης μελέτης (SCP-Υδροσύστημα, 1997): αλλαγή στροφείων και κινητήρων στις αντλίες προκειμένου να αυξηθεί η πίεση, αντικατάσταση των υδροληψιών, προσθήκη οργάνων λειτουργίας και ρύθμισης (βάννες, αντιπληγματικές βαλβίδες κ.τ.λ), διαφοροποίηση της εγκατεστημένης παροχής στα υδροστόμια ανάλογα με την αρδευομένη έκταση. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά την εφαρμογή της μελέτης ανάταξης-εκσυγχρονισμού, καταργήθηκαν 28 υδροληψίες και τοποθετήθηκαν επιπρόσθετα 82 νέες υδροληψίες, πέραν αυτών που υπήρχαν στην μελέτη (SCP-Υδροσύστημα, 1997).

Το υπόγειο δίκτυο αποτελείται από αγωγούς των οποίων οι διάμετροι κυμαίνονται από Φ100 έως Φ800 mm. Ειδικότερα υπάρχουν πλαστικοί σωλήνες διαμέτρων Φ90, Φ140 και Φ160, σωλήνες αμιάντου διαμέτρων Φ200 και Φ300, και τέλος χαλυβδοσωλήνες έως Φ800. Κατά την ανάταξη-εκσυγχρονισμό δεν έγινε αντικατάσταση των αγωγών του δικτύου (τουλάχιστον στο βαθμό που ήταν αναγκαίο) με αποτέλεσμα πολλές υδροληψίες να τοποθετηθούν πάνω σε υπόγειους αγωγούς που είναι σε πολύ άσχημη κατάσταση και να παρατηρούνται συχνές θραύσεις και απώλειες νερού. Επίσης πολλές υδροληψίες ετέθησαν εκτός λειτουργίας μέσα στους πρώτους μήνες επαναλειτουργίας του δικτύου. Το γεγονός αυτό, σύμφωνα με τους υπεύθυνους διαχείρισης του δικτύου, οφείλεται σε προβλήματα ποιότητος υλικού όπως και σε ξένα υλικά (χαλίκια) που μπήκαν στο δίκτυο κατά τη φάση εγκατάστασης των νέων υδροληψιών και προκάλεσαν στη συνέχεια εμπλοκές στους μηχανισμούς τους.

Προκειμένου να υπάρξει καλύτερη ενημέρωση για την υφισταμένη κατάσταση του δικτύου, πραγματοποιήθηκαν συναντήσεις με τους αρμόδιους στη Νομαρχία Ηλείας, στον Τ.Ο.Ε.Β (Τοπικό Οργανισμό Εγγείων Βελτιώσεων Σαββαλίων) και στον Γ.Ο.Ε.Β (Γενικό Οργανισμό Εγγείων Βελτιώσεων Αλφειού-Πηνειού, Ν.Ηλείας), καθώς και με αγρότες. Συμπληρωματικά στοιχεία συνελέγησαν με επιτόπιες επισκέψεις, στόχος των οποίων ήταν η ενημέρωση για την κατάσταση του αντλιοστασίου, η συλλογή δεδομένων για τις αντλίες, καθώς και για την παροχή και την πίεση στην έξοδο του αντλιοστασίου.

3.2 Ανάλυση του δικτύου

Το δίκτυο αναλύθηκε όπως αυτό τροποποιήθηκε κατά την ανάταξη-εκσυγχρονισμό που έγινε το 2003. Το όλο έργο βασίστηκε στη μελέτη της Γαλλοελληνικής Κοινοπραξίας SCP-Υδροσύστημα (SCP-Υδροσύστημα 1997), η οποία όμως, όπως προαναφέρθηκε,

τροποποιήθηκε κατά τη φάση υλοποίησης της ανακατασκευής του δικτύου με κατάργηση υπαρχουσών υδροληψιών και προσθήκη νέων. Στην πράξη επίσης οι παραγωγοί έχουν αφαιρέσει τους περιοριστές παροχής και ρυθμιστές πίεσης, προκειμένου να χρησιμοποιούν τη μέθοδο άρδευσης με βαρύτητα που συνηθίζεται στην περιοχή.

Το δίκτυο σχεδιάστηκε ως δίκτυο καταιονισμού μέσης πίεσης, γεγονός το οποίο απαγορεύει τη χρήση κανονιών και καρουλιών, συστήματα τα οποία είναι προσφιλή στους παραγωγούς, ιδιαίτερα σε εκείνους που έχουν μεγάλες καλλιέργειες (π.χ αραβόσιτο, ο οποίος είναι και η επικρατούσα καλλιέργεια της περιοχής). Οι παραγωγοί, μην μπορώντας να χρησιμοποιήσουν αυτά τα συστήματα, αφαιρούν τους περιοριστές παροχής και τους ρυθμιστές πίεσης, γεγονός το οποίο όμως οδηγεί σε κατάρρευση του συστήματος και σε αισθητή πτώση της πίεσης στην κεφαλή του δικτύου. Χαρακτηριστικό είναι ότι το αντλιοστάσιο λειτουργεί στραγγαλισμένο (πίεση ανάντη της δικλείδας στραγγαλισμού: 5,5 bars και πίεση μετά τη δικλείδα 1,5 bars) όταν η παροχή στην κεφαλή είναι 1000L/sec.

Γίνεται φανερό ότι το δίκτυο είναι τελείως εκτός των προδιαγραφών με τις οποίες έχει μελετηθεί και η κατάσταση είναι εκτός ελέγχου. Στόχος της ανάλυσης δεν ήταν να προσδιορισθεί πού υπάρχει πρόβλημα στο δίκτυο, καθώς αυτό βρίσκεται ήδη σε πλήρη αποδιοργάνωση. Έγινε προσπάθεια να διερευνηθεί η συμπεριφορά του τροποποιημένου ως προς τις υδροληψίες δικτύου στην περίπτωση που τηρηθούν οι προδιαγραφές παροχής – πίεσης της μελέτης ανάταξης-εκσυγχρονισμού. Η παροχή που εγκαταστάθηκε στα υδροστόμια κατά την εφαρμογή της προαναφερθείσης μελέτης είναι συνάρτηση της αρδευομένης έκτασης και καθορίστηκε βάσει των ακολούθων προδιαγραφών (Πίνακας 1) (SCP-Υδροσύστημα, 1997). Ο καθορισμός των παροχών των υδροστομίων σύμφωνα με τον Πίνακα 1 οδήγησε σε μία μέση εγκατεστημένη παροχή στο δίκτυο 0,93m^3/h/στρ.

Πίνακας 1. Πρότυπες τιμές παροχής στα υδροστόμια

Επιφάνεια (στρέμματα)	<8	8-20	20-30	30-40	40-50	>50
Εγκ.παροχή (m^3/h)	10	18	25	30	35	45

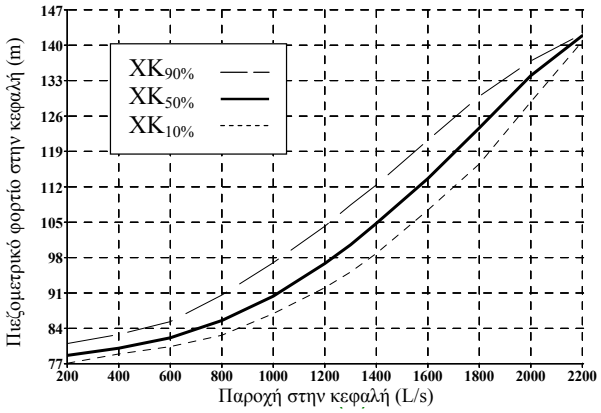
Η ανάλυση του δικτύου έγινε σε δύο επίπεδα: α) μια γενική εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου μέσω της χάραξης των Χαρακτηριστικών Καμπύλων με δείκτες, προκειμένου να προσδιοριστεί ο συνολικός βαθμός ικανοποίησης που δίνει το δίκτυο με το υπάρχον αντλιοστάσιο για διάφορες παροχές στη κεφαλή και β) λεπτομερέστερη ανάλυση με σημαντικό αριθμό προσομοιώσεων για υψηλή παροχή στην κεφαλή, προκειμένου να εντοπιστούν τα προβληματικά υδροστόμια και να εκτιμηθεί ο βαθμός επάρκειας υδραυλικού φορτίου που προσφέρουν.

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό COPAM *(Lamaddalena and Sagardoy 2000)*. Στο λογισμικό αυτό κάθε αγωγός μπορεί να έχει κατάντη το πολύ ένα υδροστόμιο. Έτσι λοιπόν εάν ένας αγωγός του δικτύου διαθέτει κατάντη υδροληψία με τρία, παραδείγματος χάριν, υδροστόμια, θα πρέπει κατά την αναπαράστασή του στο μαθηματικό ομοίωμα να παρουσιαστεί με ένα αγωγό ελάχιστα μικρότερου μήκους του πραγματικού που έχει κατάντη ένα υδροστόμιο, ο οποίος ακολουθείται από δύο αγωγούς (στοιχειώδους μήκους) που φέρουν από ένα υδροστόμιο έκαστος. Το συνολικό μήκος των τριών αυτών αγωγών ισούται με αυτό του δικτύου. Αυτό δεν δημιουργεί

πρακτικά κανένα πρόβλημα στην ανάλυση αλλά έχει σαν συνέπεια η όλη αρίθμηση του δικτύου να γίνεται με βάση τους κόμβους και τα υδροστόμια (σε αντίθεση με την συνηθισμένη πρακτική που είναι η αρίθμηση σύμφωνα με τους κόμβους και τις υδροληψίες) και να δημιουργείται μία αυξημένη δυσκολία στην εισαγωγή των στοιχείων.

3.2.1 Εκτίμηση της συνολικής επάρκειας του δικτύου

Στο Σχήμα 4. παρουσιάζονται οι Χαρακτηριστικές Καμπύλες με δείκτες ($X.K_{i\%}$), οι οποίες προέκυψαν με 1000 προσομοιώσεις για διάφορες παροχές στην κεφαλή του δικτύου, από 200L/sec μέχρι 2200L/sec (αθροιστική παροχή του δικτύου). Με τη συνεχόμενη γραμμή απεικονίζεται η Χ.Κ με δείκτη 50%, $XK_{50\%}$, (δηλαδή ο συνδυασμός παροχής και αναγκαίου φορτίου στη κεφαλή που επιτρέπει στο 50% των προσομοιωμένων καταστάσεων του δικτύου να έχουν πλήρως ικανοποιημένα όλα τα ανοικτά υδροστόμια). Από τις χαρακτηριστικές καμπύλες του αντλιοστασίου προκύπτει ότι για παροχή 950L/sec (σύγχρονη λειτουργία των 5 κύριων αντλιών) το μανομετρικό είναι 60m. Επίσης όταν η παροχή στην κεφαλή φτάσει τα 1123L/sec (παροχή Clément), τότε το μανομετρικό μειώνεται στα 50m. Με αυτά τα δεδομένα και το διάγραμμα 4 συνάγεται ότι στην πρώτη περίπτωση (Q=950L/s και πιεζομετρικό φορτίο στην κεφαλή Z=96m=60m+36m, όπου 36m το υψόμετρο του αντλιοστασίου) το ποσοστό ικανοποίησης που παρέχει το δίκτυο είναι 90%. Στη δεύτερη περίπτωση (Q=1123L/s και πιεζομετρικό φορτίο στη κεφαλή Z=86m=50m+36m) το ποσοστό ικανοποίησης πέφτει κάτω του 10%.



Σχήμα 4. Χαρακτηριστικές καμπύλες με δείκτες 10%, 50%, 90%

3.2.2 Ανάλυση επάρκειας δικτύου σε επίπεδο υδροστομίου

Στη συνέχεια, έγινε η ανάλυση σε επίπεδο υδροστομίου για πιεζομετρικό φορτίο Z=96m και παροχή Q=950L/sec, πραγματοποιώντας 600 προσομοιώσεις και εκτιμήθηκε το μέγεθος της σχετικής απόκλισης φορτίου από το ελάχιστο αναγκαίο φορτίο πίεσης στα διάφορα υδροστόμια ($\frac{H_{j,r} - H_{\min}}{H_{\min}}$). Στον Πίνακα 2 παρατίθενται τα προβληματικά υδροστόμια με το αντίστοιχο έλλειμμα φορτίου που παρουσιάζουν

για διάφορες εγκατεστημένες παροχές στα υδροστόμια. Από τον Πίνακα 2 γίνεται φανερό ότι για μέση εγκατεστημένη παροχή στο δίκτυο d=0,93m^3/h/στρ, ένας αριθμός (10) υδροστομίων παρουσιάζουν έλλειμμα φορτίου που κυμαίνεται από 10% μέχρι 30% του ελάχιστου αναγκαίου φορτίου πίεσης (H_{min}=40m). Τα υδροστόμια αυτά συγκεντρώνονται σε τρεις ζώνες του δικτύου.
Αν η ανάλυση αυτή γινόταν για την παροχή Clément στην κεφαλή του δικτύου (Q=1123L/s) τα προβληματικά υδροστόμια θα ήταν πολύ πιο πολλά και το έλλειμμα πίεσης πολύ πιο μεγάλο.

Πίνακας 2. Εκτίμηση του ελλείμματος φορτίου πίεσης (%) σε επίπεδο υδροστομίου σε σχέση με το ελάχιστο αναγκαίο φορτίο (H_{min}=40m) για διάφορες εγκατεστημένες παροχές στα υδροστόμια.

Αρ. υδροστομίου	Έλλειμμα φορτίου πίεσης/Διαθέσιμο φορτίο στο υδροστόμιο		
	d=0,93m^3/h/στρ	d'=0,8d	d''=0,7d
138	-22% (31,2m)	0%	0%
140	-24% (30,4m)	0%	0%
141	-30% (28,0m)	0%	0%
142	-29% (28,4m)	0%	0%
318	-12% (35,2m)	0%	0%
319	-15% (34,0m)	0%	0%
321	-14% (34,4m)	0%	0%
322	-15% (34,0m)	0%	0%
440	-10% (36,0m)	0%	0%
441	-12% (35,2m)	-11% (35,6m)	0%

όπου d: μέση εγκατεστημένη παροχή στο δίκτυο σύμφωνα με τη μελέτη
d',d'': μέση εγκατεστημένη παροχή στο δίκτυο μειωμένη κατά 20% και 30% αντίστοιχα.

3. 3 Προτάσεις βελτίωσης του δικτύου

Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος χωρίς ενισχύσεις, οι οποίες θα επιβάρυναν το κόστος διαχείρισης του δικτύου, θα ήταν να γίνει περιορισμός των παροχών στα υδροστόμια. Εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις, μειώνοντας τις παροχές στα υδροστόμια κατά 20% και 30% αντίστοιχα σε σχέση με το δίκτυο αναφοράς (d'=0,8d και d''=0,7d, βλέπε Πίνακα 2). Στην πρώτη περίπτωση (d'=0,8d) κατά τις προσομοιώσεις με παροχή Q=950L/s στη κεφαλή μόνο ένα υδροστόμιο παρουσίασε έλλειμα φορτίου έως 11% σε σχέση με το αναγκαίο ελάχιστο φορτίο. Στη δεύτερη περίπτωση (d''=0,7d), δεν παρουσιάστηκε έλλειμμα φορτίου σε κανένα υδροστόμιο.

Η μείωση της παροχής στα υδροστόμια θα οδηγήσει στον περιορισμό των αρδευτικών συστημάτων που είναι δυνατό να χρησιμοποιούνται από τους παραγωγούς, όσο και στο βαθμό ελευθερίας χρήσης των υδροστομίων. Ως βαθμός ελευθερίας χρήσης ενός υδροστομίου ορίζεται ο λόγος της εγκατεστημένης σε αυτό παροχής προς την αντίστοιχη ειδική συνεχή παροχή. Αρχικά, ο μέσος βαθμός ελευθερίας χρήσης των υδροστομίων υπολογίστηκε σε 3,7. Μειώνοντας την εγκατεστημένη παροχή κατά 20% και 30%, ο μέσος βαθμός ελευθερίας γίνεται 3,0 και 2,6 αντίστοιχα. Γίνεται φανερό ότι ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει ελευθερία για τους χρήστες, δεδομένου ότι μπορούν να πραγματοποιήσουν τις αρδεύσεις τους στο 33%-38% αντίστοιχα του χρόνου της περιόδου αιχμής.

3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το δίκτυο, έχοντας περιοριστές παροχής και πίεσης, δηλαδή λειτουργώντας ως ένα συγκροτημένο υδραυλικό σύστημα, μπορεί να ανταποκριθεί μέχρι παροχής στη κεφαλή 950 L/sec χωρίς σοβαρά προβλήματα.

Στη λεπτομερέστερη ανάλυση, σε επίπεδο υδροστομίου, φαίνεται ότι υπάρχουν υδροστόμια με ιδιαίτερα προβληματική συμπεριφορά. Αντιμετώπιση του προβλήματος θα μπορούσε να γίνει με ενίσχυση του δικτύου (ενίσχυση του αντλιοστασίου ή και ενίσχυση αγωγών). Επειδή όμως οι αντλίες, ήδη κατά την προγενέστερη ανάταξη-εκσυγχρονισμό υπέστησαν ενίσχυση αλλάζοντας τα στροφεία, και τους κινητήρες, περαιτέρω ενίσχυση του αντλιοστασίου σημαίνει αλλαγή των αντλιών, επέμβαση η οποία συνεπάγεται σημαντικό κόστος. Μία λύση η οποία θα επέτρεπε βελτίωση της κατάστασης με πολύ μικρό κόστος για τον διαχειριστή του δικτύου, θα ήταν η μείωση της παροχής των υδροστομίων. Η επέμβαση αυτή θα μείωνε την ελευθερία των χρηστών, σε βαθμό όμως που, όπως έδειξε η ανάλυση, δεν είναι απαγορευτικός.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Béthery J., 1990. *Réseaux collectives d' irrigation ramifiés sous pression. Calcul et fonctionnement. Etudes Hydrauliques agricole no 6. CEMAGREF éditeur, Antony,France, 139p.*
2. Béthery J., Meunier M.,and Puech C. 1981. *Analyse des défaillances et étude de renforcement des réseaux d' irrigation par aspersion. Onzième Congrès de la CIID, question 36, pp.297-324.*

3. CEMAGREF, 1990. *Logiciel XERXES-RENFORS. Notice d'utilisation, Antony, France, 180p.*
4. CEMAGREF, 1991. *Logiciel ICARE. Notice d'utilisation, Antony, France, 51p*
5. CTGREF, 1979. *Renforcement des réseaux ramifiés d'eau sous pression, Cahier33.*
6. Δέρκας Ν., 2001. *Μαθηματικά Ομοιώματα για την ανάταξη και τον εκσυγχρονισμό των συλλογικών αρδευτικών δικτύων πίεσης. Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.*
7. Δέρκας Ν. και Καραντούνιας Γ., 2003. *"Μεθοδολογία ανάταξης και εκσυγχρονισμού των συλλογικών δικτύων υπό πίεση", 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ενωσης, Θεσσαλονίκη, σσ.207-215.*
8. Doorenbos J. and Pruitt W.O., 1977. *Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, F.A.O, Rome.*
9. *Lamadalena N. 1997. Integrated simulation modeling for design and performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems. Ph.D. Dissertation, Technical University of Lisbon, Lisbon.*
10. Lamaddalena N. and Sagardoy J.A., 2000. *Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems, FAO and CIHEAM-IAMB, Paper 59, Rome, pp149.*
11. SCP-Υδροσύστημα, 1997. Αρδευτικά δίκτυα με καταιονισμό Πηνειού (Ηλείας), Μελέτη Αναδιάρθρωσης, Υπουργείο Γεωργίας, Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων.
12. Smith M., 1989. *Manual for Cropwat – A Computer Program for IBM-PC, Version 5.5, F.A.O, Rome.*

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Χ. Καλλιτσάρη[*], Χ. Γεωργούσης[*], Χ. Μπαμπατζιμόπουλος[*], Α.Πανώρας[**] και Δ.Καλαμπίδης[*]

[*] Α.Π.Θ. – Τμήμα Γεωπονίας, 541 24, Θεσ/νίκη

[**] ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Διαχ. Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, 574 00, Σίνδος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η χωρική μεταβλητότητα των παραμέτρων της εξίσωσης Van Genuchten και της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό K_s. Επίσης διερευνήθηκε η ακρίβεια περιγραφής της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας (ΧΚΥ) με χρήση δύο (α και n), τριών (θ_r , α και n) ή τεσσάρων (θ_s, θ_r, α και n) παραμέτρων προσαρμογής. Συνολικά επελέγησαν 21 θέσεις δειγματοληψίας εντός μιας έκτασης 600 στρ. που παρουσίασαν διαφορετικές συμπεριφορές τόσο στις ΧΚΥ όσο και στις τιμές της K_s, ακόμη και σε δείγματα ίδιας μηχανικής σύστασης. Φαίνεται πως η ακρίβεια της εξίσωσης Van Genuchten βελτιώνεται όταν οι παράμετροι θ_s & θ_r, (ή τουλάχιστον η θ_r) αποτελούν παραμέτρους προσαρμογής και όχι μετρημένες εργαστηριακά ποσότητες.

STUDY OF THE SPATIAL VARIABILITY OF SOIL HYDRAULIC PARAMETERS

C. Kallitsari[*], H. Georgoussis[*], C. Babajimopoulos[*], A. Panoras[**] and D. Kalampidis[*]

[*] Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, 541 24, Greece

[**] N.AG.RE.F., Institute of Water Resources & Envir. Management, 547 00, Greece

ABSTRACT

The purpose of this paper is a) to study the spatial variability of both the Van Genuchten's equation parameters and the saturated hydraulic conductivity and b) the description of the Van Genuchten's soil retention curve using two (a and n), three(a, n and θ_r) or four (a, n, θ_r and θ_s) regression parameters. Field data were collected in 21 locations in a 0.6 km^2 area near the city of Thessaloniki. Differences in both soil retention curve and saturated hydraulic conductivity were observed even in samples belonging to the same soil texture class. It was also found that the soil retention curve is described more accurately if θ_s and θ_r are rather fitting than measured parameters.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεταβλητότητα του τύπου του εδάφους είναι το αποτέλεσμα φυσικών (γεωλογικών – εδαφολογικών) διεργασιών [12] και γεωργικών πρακτικών [10, 11], που διαφοροποιούνται στο χώρο και στο χρόνο. Στην πληθώρα των συνδυασμών των παραγόντων εδαφογένεσης οφείλεται και η μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των εδαφών τόσο σε μάκρο [16] όσο και μίκρο κλίμακα [17].

Είναι φανερό ότι το μέγεθος της μεταβλητότητας, αυξάνει με την αύξηση της επιφάνειας της υπό εξέταση περιοχής και γίνεται περισσότερο κατανοητή αυξανομένου του όγκου των δειγμάτων που παίρνουμε από αυτήν. Χωρική μεταβλητότητα των υδραυλικών παραμέτρων του εδάφους παρατηρείται όμως ακόμη και σε εκτάσεις επιπέδου αγρού και συνεπώς πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη στο βέλτιστο προγραμματισμό των αρδεύσεων. Για το λόγο αυτό έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες με σκοπό τον καθορισμό της χωρικής ή χρονικής μεταβλητότητας των υδραυλικών παραμέτρων [3, 8, 7] αλλά και το συνυπολογισμό της στην προσομοίωση της κίνησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους [4, 2]

Δεδομένων των τεραστίων αναγκών της γεωργίας σε νερό και της έλλειψης που αυτό παρουσιάζει σε πολλές περιοχές της χώρας μας, ο ορθολογικός προγραμματισμός των αρδεύσεων των καλλιεργειών καθίσταται αναγκαίος. Απαραίτητη για τον προγραμματισμό είναι η γνώση της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας (ΧΚΥ) του εδάφους και της υδραυλικής του αγωγιμότητας στον κορεσμό (K_s). Η τυπική διαδικασία περιλαμβάνει τη λήψη ενός περιορισμένου αριθμού δειγμάτων για τον προσδιορισμό της ΧΚΥ όσο και της K_s.

Η περιγραφή της ΧΚΥ γίνεται συνήθως με τη βοήθεια της εξίσωσης Van Genuchten [13], η οποία περιλαμβάνει τέσσερις παραμέτρους: θ_s, θ_r, α και n. Συνεπώς, οποιαδήποτε διαφοροποίηση της ΧΚΥ μέσα σε μια περιοχή αντιστοιχεί σε διαφοροποίηση αυτών των τεσσάρων παραμέτρων στην περιοχή αυτή. Οι παράμετροι θ_s (υγρασία κορεσμού) και θ_r (υπολειμματική υγρασία) μπορούν να μετρηθούν εργαστηριακά, ενώ οι α και n αποτελούν παραμέτρους προσαρμογής. Όμως λόγω αδυναμιών των μεθόδων μέτρησης των θ_s και θ_r αυτές μπορούν να θεωρούνται (είτε μια από αυτές ή και οι δυο ταυτόχρονα) ως παράμετροι προσαρμογής μαζί με τις α και n [14, 6].

Σκοποί της παρούσας εργασίας είναι (α) η μελέτη της χωρικής μεταβλητότητας των παραμέτρων της εξίσωσης Van Genuchten και της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό K_s σε περιοχές της πεδιάδας Θεσσαλονίκης και (β) η παράλληλη διερεύνηση της ακρίβειας περιγραφής της ΧΚΥ με χρήση δυο (α και n), τριών (θ_r , α και n) ή τεσσάρων (θ_s, θ_r, α και n) παραμέτρων προσαρμογής.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας επιλέχθηκαν περιοχές συνολικής έκτασης 600 περίπου στρεμμάτων που ανήκουν στον Τ.Ο.Ε.Β. Χαλάστρας – Καλοχωρίου του νομού Θεσσαλονίκης, ο οποίος διοικεί το ομώνυμο συλλογικό αρδευτικό – στραγγιστικό δίκτυο συνολικής έκτασης 63.000 στρεμμάτων. Το εν λόγω αρδευτικό δίκτυο λειτουργεί με βαρύτητα. Χωρίζει δε τις εκτάσεις σε περιοχές περίπου 200 στρεμμάτων που συνηθίζεται να καλούνται «πλάκες» και παίρνουν το όνομα της

τριτεύουσας διώρυγας από την οποία αρδεύονται. Η δειγματοληψία διεξήχθη σε τρεις συνολικά πλάκες (Δε, Δζ και Δη αντίστοιχα), κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής μέσα σε κάθε πλάκα, ενώ η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών θέσεων ήταν περίπου 100 μέτρα. Αναλυτικότερα από την πλάκα Δε πάρθηκαν δείγματα από 10 θέσεις, από τη Δζ από 9 θέσεις και από τη Δη ελήφθησαν δείγματα από 2 θέσεις. Στις θέσεις αυτές πάρθηκαν διαταραγμένα εδαφικά δείγματα για μηχανική ανάλυση ενώ αδιατάρακτα δείγματα πάρθηκαν για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών καμπυλών υγρασίας. Όλα τα δείγματα πάρθηκαν από τα πρώτα 30cm του εδάφους. Για τον προσδιορισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό στην αρχή έγινε χρήση του υδροπερατόμετρου Guelph. Λόγω όμως της έντονης στρωμάτωσης των εδαφών της περιοχής, το υδροπερατόμετρο Guelph παρείχε πολύ συχνά αρνητικές τιμές (χωρίς δηλαδή φυσική σημασία). Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε ως λύση η λήψη αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων και η εισαγωγή τους στο υδροπερατόμετρο σταθερού φορτίου του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων του Α.Π.Θ.

2.1 Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους

Για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης των δειγμάτων ακολουθήθηκε η μέθοδος Βουγιούκου [1].

2.2 Προσδιορισμός της χαρακτηριστικής καμπύλης

Διεξήχθη με τη βοήθεια συσκευών πιεζόμενης κεραμικής πλάκας χαμηλών (0.1 – 3 bar) και υψηλών (5 – 15 bar) πιέσεων [5] του Ινστιτούτου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. στη Σίνδο Θεσσαλονίκης.

2.3 Προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό

Όπως προαναφέρθηκε, η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό προσδιορίσθηκε στο εργαστήριο με το υδροπερατόμετρο σταθερού φορτίου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μηχανική ανάλυση

Τα αποτελέσματα της μηχανικής ανάλυσης των 21 δειγμάτων φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 7: Μηχανική ανάλυση των συλλεχθέντων δειγμάτων.

Πλάκα	Θέση	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Άργιλος (%)	Χαρακτηρισμός κατά USDA
Δε	Θ1	46.4	35.2	18.4	L
	Θ2	38.8	40.8	20.4	L
	Θ3	26.0	49.2	24.8	L
	Θ4	31.2	46.0	22.8	L
	Θ5	32.4	49.2	18.4	L
	Θ6	43.6	34.0	22.4	L
	Θ7	30.0	51.6	18.4	SiL
	Θ8	16.4	59.2	24.4	SiL
	Θ9	36.0	47.6	16.4	L
	Θ10	48.0	37.6	14.4	L
Δζ	Θ1	62.4	24.4	13.2	SL
	Θ2	52.4	42.4	5.2	SL
	Θ3	52.4	30.4	17.2	SL/(L)
	Θ4	50.4	34.4	15.2	L
	Θ5	44.4	42.4	13.2	L
	Θ6	46.4	44.4	9.2	L
	Θ7	54.4	36.4	9.2	SL

	Θ8	64.4	26.4	9.2	SL
	Θ9	58.4	32.4	9.2	SL
Δη	Θ1	31.2	42.0	26.8	L
	Θ2	27.6	49.6	22.8	L

3.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες

Η περιγραφή της χαρακτηριστικής καμπύλης στην εργασία αυτή γίνεται με τον προσδιορισμό της εξίσωσης Van Genuchten (1980) [13]:

$$\theta(h) = \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (ah)^n\right]^m} \quad (1)$$

όπου: θ η περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία κατ' όγκο [L^3 L^{-3}], θ_r η υπολειμματική υγρασία [L^3 L^{-3}], θ_s η υγρασία κορεσμού [L^3 L^{-3}], α μια παράμετρος προσαρμογής [L^{-1}], n μια παράμετρος προσαρμογής [-] που συνδέεται με την παράμετρο m με τη σχέση $m = 1 - 1/n$.

Η εξίσωση (1) περιγράφει τη σχέση μεταξύ εδαφικής υγρασίας θ και εδαφικής πίεσης h αρκεί να είναι γνωστές οι τέσσερις παράμετροι θ_s, θ_r, α, n, που μπορούν να εκτιμηθούν από δεδομένα συγκράτησης νερού – εδάφους. Η υπολειμματική υγρασία θ_r αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ποσότητα εδαφικού νερού, η οποία δεν κινείται διαμέσου των εδαφικών πόρων λόγω ισχυρής προσρόφησης στη στερεή φάση του εδάφους. Από μαθηματικής σκοπιάς η υπολειμματική υγρασία είναι η περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία για την οποία σε μεγάλες τιμές πίεσης ισχύει ότι τόσο $d\theta/dh \to 0$ όσο και $K \to 0$. Η μέτρηση της υπολειμματικής υγρασίας θ_r με κάποια μέθοδο σε κάποια πολύ υψηλή πίεση (συνήθως αυτή των 15 bar) δεν αντικατοπτρίζει την ακριβή τιμή της ιδιαίτερα όταν μελετούνται εδάφη ξηρών και ταυτόχρονα θερμών περιοχών. Στις περιοχές αυτές το ισχυρά προσροφημένο στη στερεή φάση εδαφικό νερό απομακρύνεται με την αέρια μορφή του, ξηραίνοντας το έδαφος σε επίπεδα πολύ κάτω της μετρημένης στο εργαστήριο τιμής θ_r.

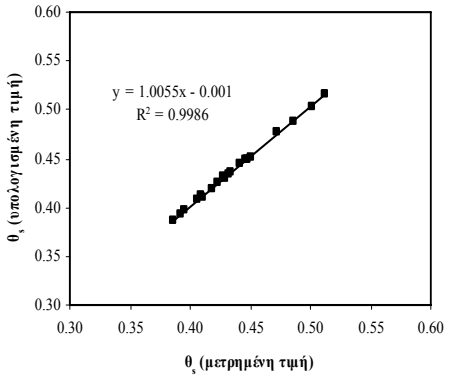
Όσον αφορά την υγρασία κορεσμού θ_s, αυτή αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να περιέχει ένας όγκος εδάφους, όταν το εδαφικό νερό καλύψει κάθε κενό πόρο αυτού. Μια τέτοια περίπτωση, όπου η κατ' όγκο περιεχόμενη εδαφική υγρασία ισούται με τον όγκο των κενών πόρων του εδάφους, δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί στη φύση είτε λόγω του εγκλωβισμού αέρα στους μικροπόρους του εδάφους είτε λόγω του διαλυμένου αέρα μέσα στο εδαφικό νερό. Στο εργαστήριο με προσεκτική διύγρανση των δειγμάτων, ο εγκλωβισμένος όγκος αέρα μπορεί να είναι πρακτικά μηδενικός, χωρίς ωστόσο να παύει να υφίσταται. Συνεπώς η θ_r και ίσως η θ_s, θα μπορούσαν να μην προσδιορίζονται εργαστηριακά, αποτελώντας έτσι σταθερές της Εξίσωσης (1) αλλά θα πρέπει να εξετάζεται ο υπολογισμός τους μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης όπως και οι παράμετροι α και n της εξίσωσης αυτής.

Για τους παραπάνω λόγους, στην εργασία αυτή διερευνάται η ακρίβεια περιγραφής της ΧΚΥ με τη βοήθεια της Εξίσωσης (1) με τρία σενάρια: (α) προσδιορίζοντας και τις τέσσερις παραμέτρους α, n, θ_r και θ_s από ανάλυση παλινδρόμησης (β) προσδιορίζοντας τις παραμέτρους α, n και θ_r δεχόμενοι ως ακριβή την εργαστηριακά προσδιορισμένη τιμή της θ_s (γ) προσδιορίζοντας μόνο τις παραμέτρους α, n, αποδεχόμενοι ως ακριβείς τις τιμές θ_s και θ_r, που προσδιορίστηκαν κατά την πειραματική διαδικασία. Οι υπολογισμοί έγιναν με μη γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης (non-linear regression analysis[14, 6] με τη βοήθεια του προγράμματος

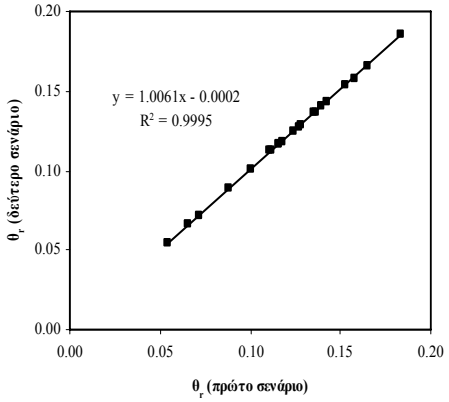
ηλεκτρονικού υπολογιστή RETC [15] που χρησιμοποιεί τη μέθοδο μέγιστης γειτνίασης του Marquardt – Marquardt's maximum neighborhood method [9].

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης παλινδρόμησης (τιμές των παραμέτρων θ_s, θ_r, a, n και του συντελεστή προσδιορισμού R^2) και για τα τρία σενάρια. Στο Σχήμα 1 παρατηρούμε ότι οι τιμές θ_s οι οποίες προσδιορίστηκαν με το πρώτο σενάριο, διαφέρουν πολύ λίγο από αυτές που υπολογίσθηκαν πειραματικά. Αυτό γίνεται φανερό τόσο από την κλίση της ευθείας προσαρμογής που είναι πολύ κοντά στη μονάδα, όσο και από τον υψηλό βαθμό προσδιορισμού. Επίσης οι τιμές θ_s που υπολογίστηκαν είναι ακριβείς σε τουλάχιστον δύο δεκαδικά ψηφία σε σύγκριση με αυτές που είχαν υπολογισθεί πειραματικά.

Αναφορικά με τις τιμές θ_r που προσδιορίσθηκαν με τον πρώτο σενάριο, αυτές δε διαφέρουν σημαντικά (Σχήμα 2) από τις τιμές που προσδιορίσθηκαν με το δεύτερο σενάριο, καθώς και σε αυτή την περίπτωση η κλίση της ευθείας προσαρμογής είναι περίπου ίση με τη μονάδα και διακρίνεται από επίσης υψηλό βαθμό προσδιορισμού.



Σχήμα 15 Σύγκριση μετρημένων και υπολογισμένων τιμών υγρασίας κορεσμού θ_s

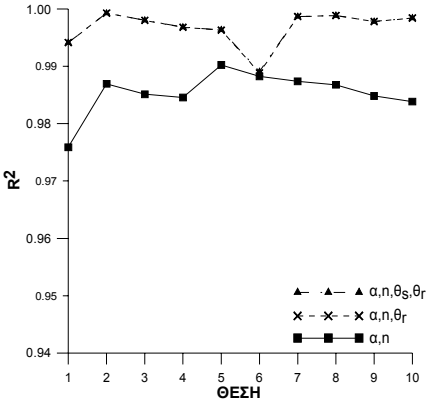


Σχήμα 16: Σύγκριση τιμών υπολειμματικής υγρασίας θ_r υπολογισμένων σύμφωνα με το πρώτο και το δεύτερο σενάριο.

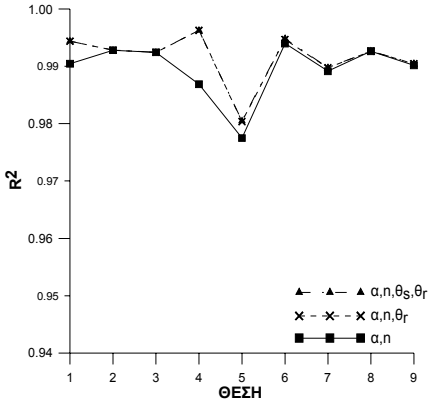
Αντίθετα, από τη σύγκριση των τιμών της θ_r που προσδιορίσθηκαν με το πρώτο σενάριο και των μετρημένων τιμών (Πίνακας 2) φαίνεται πως οι διαφορές κυμαίνονται

από 0 ως 0.132 cm^3/cm^3 (ή ποσοστιαία από 0 – 51.3%) με μια μέση τιμή της τάξης των 0.049 cm^3/cm^3 (≈ 18.1%). Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα της σύγκρισης των τιμών της θ_r που προσδιορίσθηκαν με το δεύτερο και το τρίτο σενάριο. Οι μεγάλες αποκλίσεις στις περισσότερες τιμές της θ_r οφείλεται βέβαια στο γεγονός ότι ο εργαστηριακός προσδιορισμός της γίνεται με άσκηση πίεσης μόνο 15 bar. Είναι γνωστό όμως ότι η υπολειμματική υγρασία πρέπει να λαμβάνεται για πολύ μεγαλύτερες πιέσεις, κάτι όμως που δεν είναι εφικτό στο εργαστήριο.

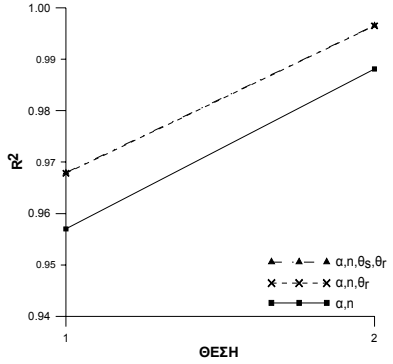
Η συγκριτική μελέτη των τριών σεναρίων με κριτήριο το συντελεστή προσδιορισμού (Πίνακας 2) έδειξε (α) την ελαφρά υπεροχή του πρώτου έναντι του δευτέρου (μέγιστη βελτίωση του συντελεστή προσδιορισμού 0.023%, με μέση τιμή 0.005%) και (β) ξεκάθαρη υπεροχή του δευτέρου σεναρίου έναντι του τρίτου (μέγιστη βελτίωση του συντελεστή προσδιορισμού 1.871%, με μέση τιμή 0.728%). Παρόμοια είναι και η υπεροχή του πρώτου έναντι του τρίτου σεναρίου. Τα παραπάνω συμπεράσματα φαίνονται στον Πίνακα 2 και αποτυπώνονται γραφικά στα Σχήματα 4, 5 και 6, όπου οι διαφορές μεταξύ των δύο πρώτων σεναρίων είναι δυσδιάκριτες:



Σχήμα 17: Τιμές του συντελεστή προσδιορισμού για τις 10 θέσεις της πλάκας Δε.



Σχήμα 18: Τιμές του συντελεστή προσδιορισμού για τις 9 θέσεις της πλάκας Δζ.

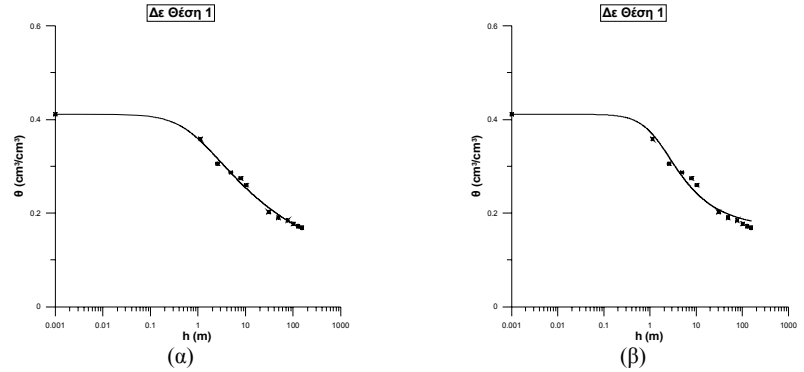


Σχήμα 19: Τιμές του συντελεστή προσδιορισμού για τις 2 θέσεις της πλάκας Δε.

Πίνακας 8: Παρουσίαση τιμών των παραμέτρων θ_s, θ_r, a, n και του συντελεστή προσδιορισμού r^2 για κάθε σενάριο

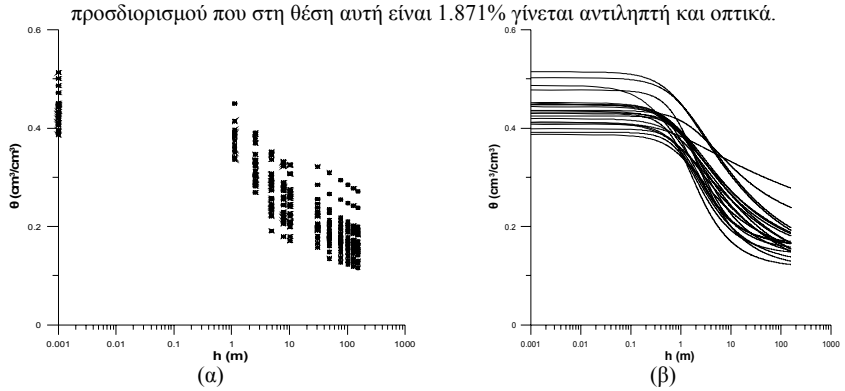
ΘΕΣΗ	**Μετρημένες τιμές**		**θ_s , θ_r , a , n – προσαρμοσμένες τιμές**						**θ_r , a , n – προσαρμοσμένες τιμές**						**a , n – προσαρμοσμένες τιμές**					
	θ_s (cm^3/cm^3)	θ_r (cm^3/cm^3)	θ_s (cm^3/cm^3)	θ_r (cm^3/cm^3)	α (cm^{-1})	n	m	r^2	θ_s (cm^3/cm^3)	θ_r (cm^3/cm^3)	α (cm^{-1})	n	m	r^2	θ_s (cm^3/cm^3)	θ_r (cm^3/cm^3)	α (cm^{-1})	n	m	r^2
Δε 1	0.411	0.169	0.411	0.066	1.305	1.233	0.189	0.994	0.411	0.066	1.302	1.233	0.189	0.994	0.411	0.169	0.698	1.601	0.375	0.976
Δε-2	0.486	0.149	0.487	0.054	3.110	1.245	0.197	0.999	0.486	0.054	3.102	1.245	0.197	0.999	0.486	0.149	1.455	1.541	0.351	0.987
Δε-3	0.513	0.194	0.515	0.100	1.115	1.290	0.225	0.998	0.513	0.101	1.096	1.292	0.226	0.998	0.513	0.194	0.675	1.616	0.381	0.985
Δε-4	0.442	0.189	0.444	0.128	0.966	1.338	0.252	0.997	0.443	0.128	0.944	1.340	0.254	0.997	0.442	0.189	0.630	1.658	0.397	0.985
Δε-5	0.446	0.153	0.448	0.112	1.000	1.405	0.288	0.996	0.446	0.113	0.971	1.409	0.290	0.996	0.446	0.153	0.729	1.636	0.389	0.990
Δε-6	0.472	0.125	0.477	0.116	0.863	1.672	0.402	0.989	0.472	0.117	0.828	1.679	0.405	0.989	0.472	0.125	0.780	1.756	0.430	0.988
Δε-7	0.451	0.184	0.451	0.127	1.123	1.347	0.258	0.999	0.451	0.127	1.115	1.348	0.258	0.999	0.451	0.184	0.738	1.644	0.392	0.987
Δε-8	0.501	0.199	0.502	0.111	0.900	1.305	0.234	0.999	0.501	0.113	0.879	1.308	0.235	0.999	0.501	0.199	0.565	1.640	0.390	0.987
Δε-9	0.433	0.169	0.434	0.088	0.918	1.297	0.229	0.998	0.433	0.089	0.894	1.300	0.231	0.998	0.433	0.169	0.565	1.645	0.392	0.985
Δε-10	0.418	0.158	0.419	0.072	0.835	1.296	0.228	0.998	0.418	0.072	0.827	1.297	0.229	0.998	0.418	0.158	0.519	1.660	0.398	0.984
Δζ-1	0.386	0.161	0.387	0.136	0.915	1.436	0.304	0.994	0.386	0.136	0.907	1.437	0.304	0.994	0.386	0.161	0.708	1.633	0.388	0.990
Δζ-2	0.392	0.142	0.392	0.143	0.725	1.805	0.446	0.993	0.392	0.143	0.732	1.801	0.445	0.993	0.392	0.142	0.738	1.791	0.442	0.993
Δζ-3	0.448	0.158	0.448	0.158	0.999	1.718	0.418	0.992	0.448	0.158	0.996	1.718	0.418	0.992	0.448	0.158	0.998	1.716	0.417	0.992
Δζ-4	0.448	0.185	0.448	0.118	1.352	1.290	0.225	0.996	0.448	0.118	1.343	1.290	0.225	0.996	0.448	0.185	0.819	1.571	0.364	0.987
Δζ-5	0.396	0.152	0.398	0.165	0.706	1.832	0.454	0.980	0.396	0.166	0.685	1.844	0.458	0.980	0.396	0.152	0.817	1.635	0.389	0.978
Δζ-6	0.427	0.145	0.431	0.135	0.628	1.632	0.387	0.995	0.427	0.136	0.599	1.646	0.392	0.995	0.427	0.145	0.559	1.736	0.424	0.994
Δζ-7	0.423	0.147	0.425	0.153	0.571	1.862	0.463	0.990	0.423	0.153	0.559	1.872	0.466	0.990	0.423	0.147	0.593	1.780	0.438	0.989
Δζ-8	0.429	0.116	0.429	0.116	0.960	1.777	0.437	0.993	0.429	0.116	0.958	1.778	0.438	0.993	0.429	0.116	0.963	1.771	0.435	0.993
Δζ-9	0.406	0.129	0.408	0.124	0.862	0.161	-5.23	0.991	0.406	0.124	0.841	1.611	0.379	0.990	0.406	0.129	0.796	1.665	0.399	0.990
Δη-1	0.410	0.271	0.412	0.139	1.723	1.120	0.107	0.968	0.410	0.141	1.609	1.122	0.108	0.968	0.410	0.271	0.710	1.471	0.320	0.957
Δη-2	0.434	0.238	0.436	0.184	0.513	1.346	0.257	0.997	0.434	0.186	0.487	1.357	0.263	0.997	0.434	0.238	0.354	1.696	0.410	0.988

Η υπεροχή της πρώτης μεθόδου έναντι της τρίτης στην περιγραφή της ΧΚΥ γίνεται αντιληπτή ακόμη και οπτικά (Σχήμα 7). Μετά το πέρας της διαδικασίας προσαρμογής των δεδομένων ΧΚΥ (Σχήμα 8α) στην εξίσωση (1) η παρουσίαση των ΧΚΥ και για τις 21 θέσεις δειγματοληψίας στο Σχήμα 8β, δείχνει καθαρά το μέγεθος της χωρικής μεταβλητότητάς τους.



(α) (β)

Σχήμα 7: Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας για τη θέση 1 της πλάκας Δε α) προσδιορίζονται α, n, θ_s, θ_r και β) προσδιορίζονται μόνο α, n. Η βελτίωση του συντελεστή προσδιορισμού που στη θέση αυτή είναι 1.871% γίνεται αντιληπτή και οπτικά.



(α) (β)

Σχήμα 8: (α) Τιμές υγρασίας – πίεσης για όλες τις θέσεις (β) Χαρακτ. καμπύλες υγρασίας για το σύνολο των 21 θέσεων δειγματοληψίας που προσδιορίστηκαν με το πρώτο σενάριο.

3.3 Υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό

Η αρχική προσπάθεια της in situ μέτρησης της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό K_S με το υδροπερατόμετρο Guelph, εγκαταλείφθηκε εξαιτίας των συχνών αρνητικών τιμών που οφείλονται στην ύπαρξη στρώσεων διαφορετικής μηχανικής σύστασης. Ως εναλλακτική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε η εργαστηριακή μέθοδος του υδροπερατόμετρου σταθερού φορτίου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, παράλληλα με τα αποτελέσματα της μηχανικής ανάλυσης. Από τον Πίνακα αυτό γίνεται αντιληπτό το γεγονός της έντονης χωρικής μεταβλητότητας της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό (μέγιστο 17.940 cm/day – ελάχιστο 0.062 cm/day) ακόμη και σε εδάφη της ίδιας μηχανικής σύστασης και της ίδιας πλάκας (π.χ. μεταξύ των θέσεων Θ6 και Θ4 της πλάκας Δζ υπάρχει διαφορά περίπου 2 τάξεων μεγέθους).

Πίνακας 9: Μετρημένες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό σε συνδυασμό με τη μηχ. σύσταση των δειγμάτων.

Πλάκα	Θέση	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Άργιλος (%)	Χαρακτηρισμός κατά USDA	Ks (cm/day)
Δε	Θ1	46.4	35.2	18.4	L	1.834
	Θ2	38.8	40.8	20.4	L	0.244
	Θ3	26.0	49.2	24.8	L	0.724
	Θ4	31.2	46.0	22.8	L	0.740
	Θ5	32.4	49.2	18.4	L	9.446
	Θ6	43.6	34.0	22.4	L	1.742
	Θ7	30.0	51.6	18.4	SiL	1.440
	Θ8	16.4	59.2	24.4	SiL	0.567
	Θ9	36.0	47.6	16.4	L	0.666
	Θ10	48.0	37.6	14.4	L	0.111
Δζ	Θ1	62.4	24.4	13.2	SL	2.216
	Θ2	52.4	42.4	5.2	SL	1.420
	Θ3	52.4	30.4	17.2	SL/(L)	5.968
	Θ4	50.4	34.4	15.2	L	0.062
	Θ5	44.4	42.4	13.2	L	0.286
	Θ6	46.4	44.4	9.2	L	10.080
	Θ7	54.4	36.4	9.2	SL	2.630
	Θ8	64.4	26.4	9.2	SL	17.940
	Θ9	58.4	32.4	9.2	SL	0.467
Δη	Θ1	31.2	42.0	26.8	L	0.663
	Θ2	27.6	49.6	22.8	L	0.070

Παράγοντες που πιθανώς να ερμηνεύουν τη μεταβλητότητα των τιμών της K_s μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας είναι μεταξύ άλλων: η διαφοροποίηση του είδους της αργίλου (μοντμοριλλονιτική – καολινιτική) ο διαφορετικός βαθμός συμπίεσης του εδάφους και το ποσοστό της περιεχόμενης οργανικής ουσίας. Σε κάθε περίπτωση όμως, η έντονη χωρική μεταβλητότητα της υδραυλικής αγωγιμότητας είναι ένας παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θεώρηση της ομοιογένειας του εδάφους ακόμα και σε επίπεδο αγρού αποτελεί απλοποίηση που δεν αντιπροσωπεύει τη φυσική πραγματικότητα. Στην παρούσα εργασία καταδείχθηκε η σε σημαντικό βαθμό χωρική μεταβλητότητα της ΧΚΥ του εδάφους και της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό. Συνεπώς είναι απαραίτητος ο συνυπολογισμός της για τον ορθολογικό προγραμματισμό των αρδεύσεων των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Αυτό μπορεί να γίνει για παράδειγμα είτε με τεχνικές Kriging (για διερεύνηση της χωρικής μεταβολής διαφόρων παραμέτρων) είτε με τη μεθοδολογία της κλιμάκωσης (scaling) για τον προσδιορισμό της «μέσης» συμπεριφοράς του εδάφους μεγάλων σε έκταση περιοχών και των ακραίων ορίων της συμπεριφοράς αυτής.

Επιπλέον από την εργασία αυτή φαίνεται ότι η συνήθης πρακτική της θεώρησης των παραμέτρων θ_s και θ_r ως μετρήσιμων ποσοτήτων κατά τον προσδιορισμό της ΧΚΥ ενός εδάφους με τη γνωστή εξίσωση Van Genuchten δε συνεισφέρει στην ακριβή περιγραφή της ΧΚΥ. Προτείνεται λοιπόν η εισαγωγή και των δυο (ή τουλάχιστο μόνο της θ_r) σε διαδικασία ανάλυσης παλινδρόμησης ως παραμέτρων προσαρμογής, για την εύρεση των ορθών τους τιμών. Μια τέτοια διαδικασία με την υπολογιστική ισχύ των

σημερινών ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι εξαιρετικά γρήγορη και για το λόγο αυτό θα πρέπει να προτιμάται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy J*. 54, 464-465.
2. Γεωργούσης, Χ., και Χ. Μπαμπατζιμόπουλος, 2000. «Στοχαστική μελέτη του υδατικού ισοζυγίου ενός καλλιεργούμενου εδάφους». *Πρακτικά του 2ου Εθνικού Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ).* Βόλος,. 124–132.
3. Cassel and Nelson, 1985. D.K. Cassel and L.A. Nelson, Spatial and temporal variability of soil physical properties of Norfolk loamy sand as affected by tillage. *Soil Tillage Res.* 5, 5 – 17.
4. Hopmans, J. W. and E. Gutièrez–Ravé, 1988. Calibration of root water uptake model in spatially variable soils. *J. of Hydrology.* 103, 53 – 65.
5. Klute, A., 1986. Water rentention : Laboratory methods. In*: Methods of soil analysis. Part 1, 2nd ed., A. Klute(ed)*, Agronomy 9, 635 – 662.
6. Luckner, L., M. Th. Van Genuchten and D.R. Nielsen, 1989. A consistent set of parametric models for the two – phase flow of immiscible fluids in the subsurface. *Water Resour. Res.* 25, 2187 – 2193.
7. Mallants, D, B.P. Mohanty, D. Jacques and J. Feyen, 1996. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Sci.* 161(3), 167 – 181.
8. Mapa et al., 1986. R.B. Mapa, R.E. Green and L. Santo, Temporal variability of soil hydraulic properties with wetting and drying subsequent to tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 1133 – 1138.
9. Marquardt, D.W., 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Math,* 11, 431 – 441.
10. Paz-González, A., Vieira, S.R. and Taboada Castro, M.T., 2000. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma* 97, 273 – 292.
11. Stenger, R., Priesack, E. and Beese, F., 2002. Spatial variation of nitrate-N and related soil properties at the plot-scale. *Geoderma* 105, 259 – 275.
12. Trangmar, B.B., Yost, R.S. and Uehara, G., 1985. In: *Application of Geostatistics to Spatial Studies of Soil Properties.* Advances in Agronomy vol. 38, Academic Press, San Diego, 45 – 94.
13. Van Genuchten, M.Th., 1980. A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 44, 892 – 898.
14. Van Genuchten, M.Th. and Nielsen D.R., 1985. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soil. *Ann. Geophys.* 3, 615 – 628.
15. Van Genuchten M. Th., F.J. Leij, S. R. Yates, 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils, USEPA Rep./600/2-91/065, R.S. Kerr Environ. Res. Lab., U.S. Environmental Protection Agency, Ada, OK, USA.
16. White, J.G., Welch, R.M. and Norvell, W.A., 1997. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 185 – 194.
17. Yang, J.I., Mosby, D.E., Casteel, S.W. and Blanchar, R.W., 2001. Microscale pH variability for assessing of phosphoric acid treatment in lead-contaminated soil. *Soil Sci.* 66(6), 374 – 381.

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΡΟΕΛΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΛΩΡΙΔΕΣ

Ι. Χατζησπύρογλου και Ε. Αναστασιάδου-Παρθενίου
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων,
Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, chatziio@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται η μη μόνιμη (ασταθής) ροή του νερού κατά τη φάση της προέλασής του σε αρδευτική λωρίδα. Στο φυσικό αυτό πρόβλημα επιφανειακής ροής του νερού με ταυτόχρονη πλευρική εκροή λόγω διήθησης, επιλύονται οι εξισώσεις της μη μόνιμης ροής, στην πλήρη υδροδυναμική μορφή τους, με εφαρμογή του ρητού υπολογιστικού σχήματος πεπερασμένων διαφορών του McCormack. Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν συγκρίνονται με μετρήσεις που έγιναν κατά την προέλαση του νερού σε αρδευτική λωρίδα με καλλιέργεια μηδικής στη Χαλάστρα Θεσσαλονίκης το 2003 δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα .

HYDRODYNAMIC MODEL OF BORDER IRRIGATION-ADVANCE PHASE

I. I. Chatzispiroglou and E. Anastasiadou-Partheniou
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece, chatziio@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper the advance phase of border irrigation is studied using a hydrodynamic model based on McCormack's explicit finite-difference computational scheme. The unsteady flow equations with lateral outflow–infiltration in their complete form, are solved. Comparison of the computed results to measurements obtained during a border irrigation experiment at 2003 on an alfalfa field in Chalastra, Thessaloniki, showed satisfactory agreement.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η θεωρητική και πειραματική μελέτη της προώθησης του νερού κατά την επιφανειακή άρδευση με λωρίδες, όπου έχουμε ταυτόχρονη εκροή λόγω διήθησης. Το πρόβλημα αυτό ακολουθεί τους νόμους της μη μόνιμης (ασταθούς) κίνησης του επιφανειακού νερού με πλευρική εκροή (διήθηση) και στηρίζεται στη μαθηματική επίλυση των εξισώσεων της ασταθούς ροής σε ανοικτούς αγωγούς με τραχέα και σταθερά τοιχώματα. Συγκεκριμένα επιλύονται οι εξισώσεις του Saint-Venant στην πλήρη συντηρητικού τύπου μορφή τους.

Η αναλυτική επίλυση των διαφορικών εξισώσεων του Saint-Venant για προβλήματα ασταθούς μονοδιάστατης ροής είναι δυνατή μόνο σε ελάχιστες και εξαιρετικά απλοποιημένες περιπτώσεις. Είναι επιβεβλημένη η αριθμητική επίλυσή τους με χρήση της μεθόδου των χαρακτηριστικών, των πεπερασμένων διαφορών ή των πεπερασμένων στοιχείων.

Οι αριθμητικές μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών είναι οι πρώτες που εφαρμόστηκαν για την επίλυση προβλημάτων μελέτης της ασταθούς ροής σε ανοικτούς αγωγούς με ιδιαίτερη επιτυχία (Terzidis [1], Terzidis and Strelkoff [2]). Σύμφωνα με αυτές, οι παράγωγοι των διαφορικών εξισώσεων αντικαθίστανται με πηλίκα πεπερασμένων διαφορών, οπότε προκύπτουν μη γραμμικές συνήθεις αλγεβρικές εξισώσεις.

Το πρόβλημα της ασυνεχούς ασταθούς ροής του νερού σε ανοικτούς αγωγούς με ξηρό πυθμένα, όπως είναι η ροή που προκαλείται μετά τη θραύση φράγματος ή η ροή κατά τη διάρκεια άρδευσης με αυλάκια ή λωρίδες, έχει επιλυθεί αριθμητικά με ποικίλες μεθόδους πεπερασμένων διαφορών από διάφορους ερευνητές κατά καιρούς (Strelkoff [3], Sakkas and Strelkoff [4], Katopodes and Strelkoff [5-6], Μπέλλος [7], Playan et al [8], Strelkoff and Clemmens [9], Sakkas, Bellos and Klonaraki [10], Τερζίδης [11]). Μεταγενέστερα η ασταθής ροή του νερού κατά τη διάρκεια άρδευσης μελετήθηκε και με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (π.χ. Katopodes [12]).

Για τη μελέτη της επιφανειακής άρδευσης μετά την εφαρμογή της μεθόδου των χαρακτηριστικών (Sakkas and Strelkoff [4], Katopodes and Strelkoff [5]) στην πλήρη μορφή των εξισώσεων του Saint-Venant, αναπτύχθηκαν και μαθηματικά μοντέλα που βασίζονται σε απλοποιημένες μορφές τους. Τέτοια είναι, το μοντέλο μηδενικής αδράνειας ή διάχυσης, που αναπτύχθηκε από τους Strelkoff and Katopodes [13] και χρησιμοποιήθηκε μεταγενέστερα από τους Strelkoff and Clemmens [9], καθώς και από άλλους ερευνητές για τη μελέτη της επιφανειακής άρδευσης με λωρίδες, το μοντέλο κινηματικού κύματος, που έχει εφαρμοστεί για τη μελέτη άρδευσης με λωρίδες και τέλος το μοντέλο ισοζυγίου όγκου ή μέσου βάθους ροής, που εφαρμόστηκε σε άρδευση με λωρίδες από τους Strelkoff [14], Valiantzas [15] κ.α..

2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΑΣΤΑΘΟΥΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΓΩΓΟ ΜΕ ΞΗΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ

Η γενική μορφή των διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τη μονοδιάστατη ασταθή ροή του νερού σε μη πρισματικό αγωγό με πλευρική εισροή (ή εκροή) είναι (Strelkoff [3]):

$$B\frac{\partial y}{\partial t} + VB\frac{\partial y}{\partial x} + A\frac{\partial V}{\partial x} + VA_x^y - I = 0 \qquad (1)$$

και

$$\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{\partial H}{\partial x}+S_f+D_l=0 \qquad (2)$$

όπου y = το βάθος ροής, V = η μέση ταχύτητα της ροής, B = το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας, A = το εμβαδόν υγρής διατομής, $A_x^y=\left(\partial A/\partial x\right)_y$ συμβολίζει την απόκλιση της διατομής A από την πρισματική μορφή, I = η πλευρική παροχή ανά μονάδα μήκους (αρνητική για εκροή), g = η επιτάχυνση της βαρύτητας, H = z + y + V^2/2g, είναι το ολικό φορτίο της διατομής, z = το υψόμετρο του πυθμένα, D_l = ο παράγοντας που αντιπροσωπεύει πλευρικές εισροές ή εκροές και παίρνει την τιμή: D_l = -VI/2gA για διήθηση (Strelkoff [3]), S_f = η κλίση της γραμμής ενεργείας λόγω τριβών ή κλίση αντιστάσεων, x = η απόσταση κατά μήκος του αγωγού και t = ο χρόνος.
Η εξίσωση (1) είναι η εξίσωση συνέχειας και εκφράζει την αρχή διατήρησης της μάζας και η εξίσωση (2) είναι η εξίσωση κίνησης και εκφράζει την αρχή διατήρησης της ποσότητας κίνησης (ή της αδράνειας).
Αν και δεν είναι γνωστή η ακριβής σχέση ανάμεσα στη κλίση τριβών S_f και στις χαρακτηριστικές μεταβλητές της ροής, είναι κοινή πρακτική στην υδραυλική των ανοικτών αγωγών να χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του S_f οι ημιεμπειρικές εξισώσεις του Manning ή του Chezy, για σταθερή ομοιόμορφη ροή. Η εξίσωση του Manning είναι:

$$S_f=\frac{n^2Q^2}{A^2R_U^{4/3}} \qquad (3)$$

όπου n = ο συντελεστής τριβών κατά Manning, R_U = η υδραυλική ακτίνα (R_U=A / P) , P = η περιβρεχόμενη περίμετρος και Q = V·A = η παροχή.
Ειδικότερα η ασταθής ροή, όταν είναι ασυνεχής, όπως συμβαίνει στην περιοχή του μετώπου προέλασης , διέπεται από τις συντηρητικού τύπου εξισώσεις του Saint-Venant για ορθογωνικό αγωγό με διήθηση (Τερζίδης [16]):

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=-I \qquad (4)$$

και

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}+g\frac{y}{2}A\right)=gA\left(S_o-S_f\right)-\frac{V}{2}I \qquad (5)$$

όπου επιπλέον S_o = η κλίση πυθμένα.
Πλεονέκτημα των εξισώσεων (4) και (5) σε σχέση με τις (1) και (2) είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν όχι μόνο σε συνεχή, αλλά και σε ροή με ασθενείς ασυνέχειες. Έτσι σε περίπτωση που προκύψει στο πεδίο της ροής κάποια ασυνέχεια, όπως το υγρό μέτωπο προώθησης του νερού στην άρδευση με λωρίδες, παρατηρείται μαζική απώλεια ενέργειας, οπότε εισάγεται σφάλμα στη λύση με εφαρμογή των εξισώσεων (1)και (2),

ενώ με τις εξισώσεις (4) και (5) εξασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό η διατήρηση της ποσότητας κίνησης.

3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ McCORMACK

Από μαθηματική άποψη, οι διαφορικές εξισώσεις (4) και (5) αποτελούν ένα σύστημα δύο σχεδόν γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων, πρώτης τάξης και υπερβολικού τύπου. Στην εργασία αυτή εφαρμόζεται η αριθμητική του επίλυση με μέθοδο πεπερασμένων διαφορών που βασίζεται στο ρητό υπολογιστικό σχήμα του McCormack.

Το ρητό υπολογιστικό σχήμα McCormack είναι σχήμα δύο βημάτων (πρόβλεψης-διόρθωσης) με ακρίβεια δεύτερης τάξης. Εφαρμόζεται στη συντηρητική μορφή των εξισώσεων του Saint-Venant, έτσι ώστε να μπορεί να μελετά ροές με απότομες μεταβολές του βάθους και της παροχής, όπως συμβαίνει στην περιοχή του μετώπου και στα κινούμενα υδραυλικά άλματα. Οι απώλειες ενέργειας λόγω τριβών στον πυθμένα, που είναι σημαντικές λόγω της καλλιέργειας, υπολογίζονται από τον τύπο του Manning και θεωρείται ότι συμπεριλαμβάνουν όλες τις εσωτερικές αντιστάσεις.

Το σχήμα McCormack, αν στο βήμα πρόβλεψης χρησιμοποιήσει για τη χωρική παράγωγο τις πίσω πεπερασμένες διαφορές, τότε στο βήμα διόρθωσης πρέπει να χρησιμοποιήσει τις πρόσω πεπερασμένες διαφορές και αντίστροφα, οπότε προκύπτουν οι εναλλακτικές μορφές του. Στην υδραυλική ανοικτών αγωγών άρχισε να χρησιμοποιείται από το 1986 για την αριθμητική επίλυση των εξισώσεων του Saint – Venant (Fennema and Chaudhry [17], Dammuler et al. [18], Μπέλλος [7], Τερζίδης [11], Χατζηιωαννίδου [19], Γιακουμής και Μπέλλος, [20], Χατζησπύρογλου [21]). Οι δύο εναλλακτικές μορφές του υπολογιστικού σχήματος McCormack μπορούν να γραφούν με συνοπτική μητρώα μορφή ως εξής:

Βήμα πρόβλεψης:

$$W_k^{*n+1} = W_k^n - \frac{\Delta t}{\Delta x}\left[(1-\varepsilon)F_{k+1}^n - (1-2\varepsilon)F_k^n - \varepsilon F_{k-1}^n\right] + D_k^n \Delta t \qquad (6)$$

Βήμα διόρθωσης:

$$W_k^{n+1} = \frac{1}{2}\left[W_k^n + W_k^{*n+1} - \frac{(\Delta t)}{(\Delta x)}\left[\varepsilon F_{k+1}^{*n+1} + (1-2\varepsilon)F_k^{*n+1} - (\varepsilon-1)F_{k-1}^{*n+1}\right] + D_k^{*n+1}\Delta t\right] \qquad (7)$$

όπου $W = \begin{pmatrix} A \\ Q \end{pmatrix}$, $F = \begin{pmatrix} Q \\ \frac{Q^2}{A} + g\frac{y}{2}A \end{pmatrix}$ και $D = \begin{pmatrix} -I \\ gA(S_o - S_f) - \frac{V}{2}I \end{pmatrix}$

Στις εξισώσεις (6) κσι (7) το ε παίρνει τις τιμές 0 και 1. Συγκεκριμένα όταν ε=0 οι (6) και (7) μετατρέπονται στις εξισώσεις της Α΄ εναλλακτικής μορφής, και όταν ε=1 δίνουν τις εξισώσεις της Β΄ μορφής. Εφόσον χρησιμοποιηθεί η μια μόνον εναλλακτική μορφή του μπορεί να επιφέρει ελαφρά παρέκκλιση στη λύση, λόγω της μονόπλευρης διαφόρισης (Τερζίδης [11]). Αυτή ακριβώς η αιτία έκανε αναγκαία τη χρησιμοποίηση και των δύο εναλλακτικών μορφών της μεθόδου, εναλλάξ, για κάθε νέο χρονικό βήμα Δt. Έρευνα στη διεθνή βιβλιογραφία (Chaudhry [22]) έδειξε ότι παίρνονται καλύτερα

αποτελέσματα αν η διεύθυνση της διαφόρισης στο βήμα της πρόβλεψης είναι ίδια με αυτή του μετώπου του κύματος.
Οι εξισώσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή του σχήματος McCormack (με την Α΄ ή Β΄ μορφή ή και με την εναλλάξ χρησιμοποίηση αυτών) δίνουν τις τιμές των αγνώστων μεταβλητών A και Q στο άγνωστο επίπεδο του χρόνου n+1 για όλους τους εσωτερικούς κόμβους του υπολογιστικού δικτύου. Επιπλέον χρειάζονται και οι τιμές των αγνώστων στον αρχικό χρόνο (t=0) και στα όρια ανάντη και κατάντη, τα οποία κατά τη φάση της προώθησης (όσο και της αποχώρησης) δεν είναι σταθερά αλλά κινούνται.
Στην παρούσα εργασία, ενδιαφέρει η φάση της προώθησης του μετώπου, όπου στην πραγματικότητα ως αρχική συνθήκη υπάρχει ξηρός πυθμένας, δηλαδή A(y,0) =0 αφού y(x,0)=0 και Q(x,0) = 0. Οι μηδενικές αυτές αρχικές τιμές ισχύουν σε όλο το μήκος της λωρίδας και περιορίζονται συνεχώς προς τα κατάντη, καθώς προωθείται το μέτωπο. Οπότε παρουσιάζονται σημαντικές υπολογιστικές δυσκολίες με το μηδενισμό πολλών παρονομαστών των εξισώσεων (4), (5), (6) και (7) στις περιοχές που δεν έχει φθάσει ακόμη το μέτωπο. Η δυσκολία των αρχικών μηδενικών βαθών ξεπεράστηκε με την παραδοχή ύπαρξης απειροελάχιστου αρχικού βάθους ροής. Ανάλογες παραδοχές έχουν γίνει και από τους Playan et al [8], Μπέλλο [7] και Τερζίδη [11], και έδειξαν ότι δεν υπεισέρχεται πολύ μεγάλο σφάλμα στο ισοζύγιο της μάζας.
Στο ανάντη όριο, εφαρμόζεται ομοιόμορφα, σε όλο το πλάτος της λωρίδας, σταθερή παροχή άρδευσης (Qin). Μετά από κάποιο χρόνο Tc η παροχή διακόπτεται και το βάθος του νερού μειώνεται σταδιακά, μέχρι να γίνει το βάθος στο ανάντη όριο ίσο με το μηδέν δηλαδή y(0,t)=0 (και A(0,t)=0), οπότε αρχίζει η φάση της αποχώρησης. Επομένως, για τη φάση της προώθησης, που μελετάται εδώ, οι ανάντη συνθήκες είναι: για $0 < t \leq Tc$, Q(0,t) = Qin και για t > Tc, Q(0,t) = 0. Στην περίπτωση του προβλήματος της άρδευσης με λωρίδες η ροή του νερού είναι βασικά υποκρίσιμη (όχι όμως κοντά στο μέτωπο). Επομένως, το βάθος ροής στο ανάντη όριο υπολογίζεται με διακριτοποίηση της πίσω χαρακτηριστικής εξίσωσης (C^-) (Τερζίδης[16]:

$$\left[\frac{\partial Q}{\partial t}+\left(V-c\right)\frac{\partial Q}{\partial x}\right]-B\left(V+c\right)\left[\frac{\partial y}{\partial t}+\left(V-c\right)\frac{\partial y}{\partial x}\right]=gA\cdot\left(S_o-S_f\right)+I\left(\frac{V}{2}+c\right) \qquad (8)$$

Για την περιοχή του μετώπου, που αποτελεί και το κατάντη όριο, το βάθος υπολογίζεται προσεγγιστικά από την εξίσωση του Manning, σύμφωνα με την άποψη του Witham (Sakkas and Strelkoff [4]), επιβεβαιωμένη και από παρατηρήσεις του, σύμφωνα με την οποία, στην περιοχή του μετώπου του κύματος η ταχύτητα ροής είναι αισθητά ομοιόμορφη και ο όρος της συνολικής επιτάχυνσης $\left[\left(\partial V/\partial t\right)+V\left(\partial V/\partial x\right)\right]$ είναι πεπερασμένος, ενώ η κλίση της επιφάνειας του νερού αυξάνει πολύ κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αντισταθμίζει πρακτικά την μεγάλη αντίσταση τριβών. Σύμφωνα με την εξίσωση του Manning το S_f αυξάνει απεριόριστα όταν το βάθος ροής τείνει στο μηδέν, όπως συμβαίνει στο μέτωπο.
Στο κατάντη άκρο, όπου x=L (μήκος λωρίδας), οι οριακές συνθήκες διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν υπάρχει ανάχωμα στο τέλος της λωρίδας ή όχι. Εφόσον υπάρχει, όπως στη περίπτωση των εφαρμογών της παρούσας εργασίας, τότε η παροχή είναι ίση με μηδέν στο κατάντη άκρο, δηλαδή Q(L,t)=0 και το βάθος ροής y(L,t), θα υπολογίζεται με διακριτοποίηση της πρόσω χαρακτηριστικής εξίσωσης (C^+) για υποκρίσιμη ροή:

$$\left[\frac{\partial Q}{\partial t}+\left(V+c\right)\frac{\partial Q}{\partial x}\right]-B\left(V-c\right)\left[\frac{\partial y}{\partial t}+\left(V+c\right)\frac{\partial y}{\partial x}\right]=gA\cdot\left(S_o-S_f\right)+I\left(\frac{V}{2}-c\right) \quad (9)$$

Για να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του ρητού υπολογιστικού σχήματος McCormack, πρέπει η επιλογή του βήματος χρόνου Δt, να ικανοποιεί τα κριτήρια ευστάθειας:

$$C_n \equiv \frac{\Delta t}{\Delta x}(|V|+c) \le 1 \quad (10)$$

όπου C_n είναι ο αριθμός Courant και

$$\Delta t \le \frac{AR_U^{4/3}}{gn^2Q} \quad (11)$$

Σύμφωνα με το Μπέλλο [7,10], ικανοποιητική ευστάθεια πετυχαίνεται με τιμές του αριθμού Courant $C_n \approx 0.8$. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η τιμή $C_n = 0.8$.
Σύμφωνα με την εξίσωση (11), που είναι το κριτήριο αδράνειας, το βήμα του χρόνου εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής, την παροχή ροής και το συντελεστή τραχύτητας κατά Manning. Έτσι για μεγάλο συντελεστή τραχύτητας n (όπως σε επιφάνεια καλλιεργούμενου εδάφους) περιορίζεται σημαντικά το βήμα χρόνου και παίζει καθοριστικό ρόλο για την επιλογή του Δt το κριτήριο αδράνειας.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΛΩΡΙΔΑ

Για εφαρμογές σε αρδευτική λωρίδα ο παράγοντας I που αντιπροσωπεύει την ανά μονάδα μήκους του αγωγού εκροή λόγω διήθησης, είναι: $I = i \cdot \omega$, όπου i η ταχύτητα διήθησης (στιγμιαία διηθητικότητα), δηλαδή η ένταση με την οποία διηθείται το νερό σε ορισμένη στιγμή μετά από την έναρξη της διήθησης και ω είναι η βρεχόμενη περίμετρος. Στην περίπτωση λωρίδας, αυτή είναι ίση με το πλάτος της, από όπου λαμβάνει χώρα η εκροή (Sakkas and Strelkoff [4]).Στην εργασία αυτή υποθέτουμε ότι η μεταβολή της ταχύτητας διήθησης μπορεί να υπολογιστεί με βάση την εμπειρική εξίσωση του Kostiakov, για μονοδιάστατη κατακόρυφη διήθηση.
Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε για τη μελέτη της φάσης προέλασης του νερού σε αρδευτική λωρίδα καλλιέργειας μηδικής. Το πείραμα έγινε σε αγροτεμάχιο της περιοχής Χαλάστρας Θεσσαλονίκης τον Ιούλιο του 2003 με συμμετοχή και του Ινστιτούτου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος (τέως ΙΕΒ) Θεσσαλονίκης.
Λίγο πριν από το πείραμα προσδιορίστηκε η διηθητικότητα του υπό εξέταση εδάφους. Ένα έδαφος μέσης σύστασης ή συνεκτικότητας με φυλλοειδής μορφή ιλύος που λόγω των διατεταγμένων αλλεπάλληλων στρώσεων της περιόριζε σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό την κατακόρυφη κίνηση του νερού. Η μέτρηση της διηθητικότητας έγινε με τη συσκευή του διηθητόμετρου εφαρμογής αρδεύσεων του Ι.Ε.Β. (Πανώρας [23]). Οι παρατηρήσεις της συσκευής χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της σχέσης αθροιστικής διηθητικότητας του Kostiakov χρησιμοποιώντας τη μέθοδο

ελαχίστων τετραγώνων. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκε ότι η μέση αθροιστική διηθητικότητα για όλη τη λωρίδα δίνεται από τη σχέση:

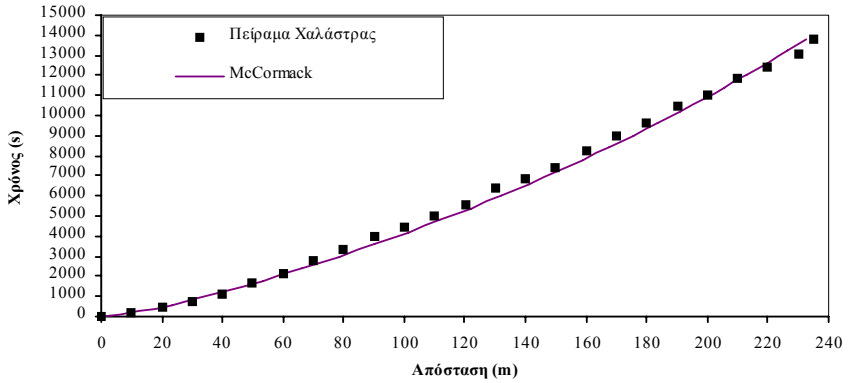
$$Z = 3.593 \cdot t^{0.491} \text{ σε mm} \qquad (12)$$

Η εξίσωση (12) αποτελεί την προσεγγιστική σχέση του ύψους διήθησης (σε mm) σε όλη την επιφάνεια της λωρίδας. Παραγωγίζοντας, τη σχέση (12) ως προς το χρόνο, προέκυψε η σχέση της ταχύτητας διήθησης(σε mm/min ή mm/hr):

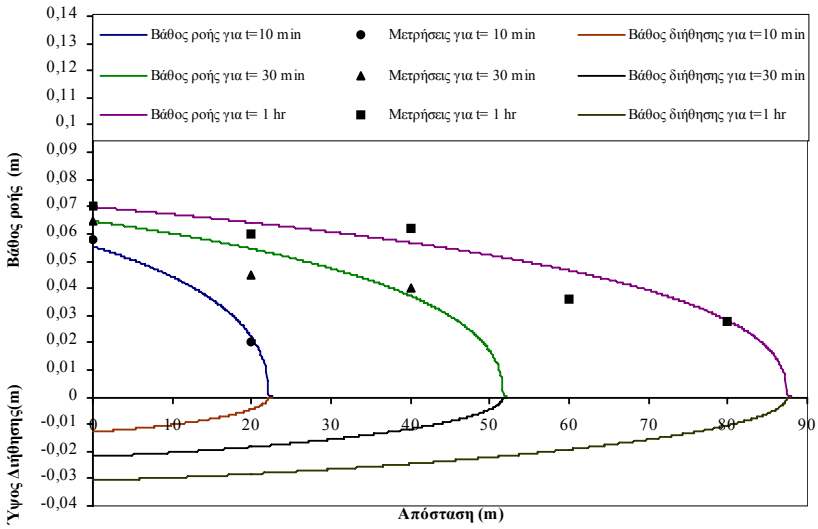
$$i = 2.008 \cdot t^{-0.509} \text{ σε mm/min} \qquad \text{ή} \qquad i = 120.5 \cdot t^{-0.509} \text{ σε mm/hr} \qquad (13)$$

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν ξύλινοι πάσσαλοι ως σταθμοί παρατήρησης της προώθησης του νερού κατά μήκος της λωρίδας, αλλά και του βάθους της επιφανειακής ροής, αφού βαθμολογήθηκαν κατάλληλα με πολύχρωμες μεζούρες, μετά την έμπηξή τους στο έδαφος, για να μπορεί ο παρατηρητής να διαβάζει το ύψος του νερού σε κάθε θέση. Οι πάσσαλοι τοποθετήθηκαν ανά 10 m, ενώ επαρκούσε ένας παρατηρητής ανά 20 m. Έτσι με τη βοήθεια ενός κινούμενου παρατηρητή και δώδεκα σταθερών παρατηρητών καταφέραμε να έχουμε μετρήσεις τόσο του χρόνου προώθησης του μετώπου του κύματος ανά 10 m, όσο και μετρήσεις του βάθους ροής ανά 20 m. Με την άφιξη του μετώπου σε μια θέση, όλοι οι προηγούμενοι της θέσης αυτής παρατηρητές σημείωναν το βάθος ροής στην θέση παρατήρησής τους. Έτσι μπορούσαμε να έχουμε πειραματικές μετρήσεις της καμπύλης προώθησης σε κάθε χρόνο. Αυτή η διαδικασία συνεχίστηκε μέχρι την άφιξη του υγρού μετώπου στο κατάντη άκρο της λωρίδας στα 235 m.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού και οι αρχικές συνθήκες δίνονται στη συνέχεια (Χατζησπύρογλου [21]). Ο αγωγός είναι αρδευτική λωρίδα καλλιέργειας μηδικής, πλάτους πυθμένα B=23 m. Με χρήση χωροβάτη μετρήθηκε και βρέθηκε η μέση κατά μήκος κλίση της επιφάνειας του εδάφους ίση με 0.02724 %, δηλαδή: So = 0.0002724. Στην είσοδο του αγωγό εφαρμόστηκε, σε όλη τη φάση της προώθησης, σταθερή παροχή Qin=0.042 m^3/sec. Η σταθερή παροχή νερού στον χωμάτινο ανοικτό αγωγό (λωρίδα) σταμάτησε τη στιγμή της άφιξης του υγρού μετώπου στο κατάντη άκρο. Ο μέσος όρος της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας, για δύο θέσεις μέτρησης κατά μήκος της λωρίδας με το υδροπερατόμετρο Guelph, βρέθηκε ίσος με $K_S = 6.805 \cdot 10^{-6}$ m/sec. Τέλος, για την εφαρμογή της εξισώσεως του Manning, εκτιμήθηκε, με βάση την πυκνότητα της καλλιέργειας, την κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους και τη βιβλιογραφία, ο συντελεστής τριβής n=0.15.



Σχήμα 1. Σύγκριση υπολογιστικών και πειραματικών δεδομένων για την προέλαση του υγρού μετώπου.



Σχήμα 2. Σύγκριση του υπολογισμένου βάθους ροής με τα πειραματικά δεδομένα σε 3 χρονικές στιγμές και υπολογισμένο βάθος διήθησης.

Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε μικρό χωρικό βήμα Δx=0,1 m και έγινε παραδεκτό ένα πολύ μικρό αρχικό βάθος ροής του νερού Yo=0,00005 m. Στο Σχήμα 1 συγκρίνονται οι υπολογισμένες τιμές της προέλασης του υγρού μετώπου με τις αντίστοιχες μετρήσεις του πειράματος της Χαλάστρας. Στο Σχήμα 2 συγκρίνονται οι υπολογισμένες τιμές του βάθους του νερού με τις αντίστοιχες μετρημένες για τρεις διαφορετικές χρονικές στιγμές από τη στιγμή έναρξης του φαινομένου, και επίσης φαίνονται τα υπολογισμένα βάθη διηθούμενου νερού.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε αλγόριθμος κατάλληλος για επίλυση μονοδιάστατης ασταθούς ροής σε ορθογωνικό αγωγό με πλευρική εκροή-διήθηση. Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε βασίζεται στο ρητό υπολογιστικό σχήμα McCormack, το οποίο είναι δύο βημάτων, με ακρίβεια δεύτερης τάξης, τόσο ως προς το χώρο όσο και ως προς το χρόνο, και είναι κατάλληλο για την πρόβλεψη ροών με ασυνέχειες όπως τα υδραυλικά άλματα και τα κινούμενα μέτωπα νερού. Ο αλγόριθμος είναι σχετικά απλός, χαρακτηριστικό των ρητών σχημάτων και το χρονικό βήμα εκτέλεσης των υπολογισμών δεν επιβάλλεται ως σταθερό, αλλά υπολογίζεται αυτόματα με βάση τα κριτήρια ευστάθειας, και μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.
Για τον έλεγχο και την αξιολόγηση της υπολογιστικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκε πειραματική εφαρμογή στο ύπαιθρο σε αρδευτική λωρίδα με καλλιέργεια μηδικής. Η σύγκριση, που αφορούσε την προέλαση του υγρού μετώπου αλλά και τη μεταβολή του βάθους ροής με το χρόνο και την απόσταση, κρίνεται ικανοποιητική. Επίσης υπολογίστηκε το βάθος του διηθούμενου νερού συναρτήσει του χρόνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Terzidis, G.A., 1968. «Discontinuous unsteady flow in open channel», Ph. D. Thesis, University of California, Davis.
2. Terzidis, G.A., and Strelkoff, T.S., 1970. «Computational of open-channel surges and schocks», », J. Hydraul. Div., Proc. ASCE, 96(12): 2581.
3. Strelkoff, T.S., 1970. «Numerical solution of Saint-Venant equations», J. Hydraul. Div., ASCE, 96: 223-252.
4. Sakkas, J.G., and Strelkoff, T., 1974. «Hydrodynamics of surface irrigation-advance phase», J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 100: 31-48.
5. Katopodes, N.D., and Strelkoff, T., 1977a. «Hydrodynamics of border irrigation-complete model», J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 103: 309-324.
6. Katopodes, N.D., and Strelkoff, T., 1977b. «Dimensionless solution of border irrigation advance», J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 103: 401-417.
7. Μπέλλος, Κ.Β., 1989. «Υπολογισμός Διδιάστατης Κινήσεως του Νερού σε Ανοικτούς Αγωγούς», Διδακτορική Διατριβή, Δ.Π.Θ., Ξάνθη
8. Playan, E., Walker, W.R., and Merkley, G.P., 1994. «Two-dimensional simulation of basin irrigation. I: Theory», J. Irrig. Drain.Eng., ASCE, 120(5): 837-856.
9. Strelkoff, T.S., and Clemmens, A.J., 1994. «Dimensional analysis in surface irrigation», J. Irrig. Science., 15: 57-82.
10. Sakkas, J.G., Bellos C.V. and Klonaraki M.N., 1994. «Numerical computation of surface irrigation», J. Irrig. Science., 15: 83-99.
11. Τερζίδης, Γ.Α., 1999. «Υπολογιστικό Σχήμα McCormack – Θεωρία και Εφαρμογές σε Προβλήματα Υπερβολικού και Παραβολικού Τύπου», Μεταπτυχιακές Διδακτικές Σημειώσεις Π.Μ.Σ. Ειδίκευσης Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων, Θεσσαλονίκη.
12. Katopodes, N.D., 1994. «Hydrodynamics of surface flow: vertical structure of the surge front», J. Irrig. Science., 15: 101-111.
13. Strelkoff, T. and Katopodes, N.D.,, 1977. «Border irrigation hydraulics with zero inertia», J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 103: 325-342.
14. Strelkoff, T., 1977. «Algebraic computational of flow in border irrigation», J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 103: 357-377.

15. Valiantzas, J.D., 1997. «Volume balance irrigation advance equation: Variation of surface shape factor », J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, 123: 307-312.
16. Τερζίδης, Γ.Α., 1982. «Μαθήματα Υδραυλικής – 3. Ανοικτοί Αγωγοί», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
17. Fennema, R.J. and Chaudhry, M.H., 1986. «Explicit numerical schemes for unsteady free-surface flows with shocks», Water Resources Research, 22(13): 1923-1930.
18. Dammuler, D.C., Bhallamudi, S.M. and Chaudhry, M.H., 1989. «Modeling of unsteady flow in curved channel», J. Hydraul. Eng., ASCE, 115(11): 1479-1945.
19. Χατζηιωαννίδου, Α.Χ., 1998. «Διόδευση Πλημμύρας με το Υπολογιστικό Σχήμα του McCormack», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
20. Γιακουμής, Α., Μπέλλος Κ., 2003. «Υπολογισμός πλημμυρικών ροών σε ανοιχτούς αγωγούς», Πρακτικά 9ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης , Σελ. 87-96, Θεσσαλονίκη.
21. Χατζησπύρογλου, Ι.Ι., 2004. «Μελέτη της Κίνησης του Νερού σε Χωμάτινο Ανοικτό Αγωγό και της Διήθησης του στο Έδαφος», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
22. Chaudhry, M.H., 1993. «Open-Channel Flow», Prentice-Hall, Inc.
23. Πανώρας, Α., 1987**.** «Διήθηση-Τρόποι Μέτρησης», Θεσσαλονίκη.

ΡΗΤΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΥΖΥΓΩΝ ΒΑΘΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΛΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

Γεώργιος Α. Τερζίδης και Μαρία Δ. Μπαντή
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων
Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, mbanti@netscape.net

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή παρουσιάζει συνοπτικά μία ρητή μέθοδο υπολογισμού των συζυγών βαθών υδραυλικών αλμάτων σε ανοικτούς αγωγούς ορθογωνικής διατομής, η οποία βασίζεται σε αυστηρή μαθηματική και αριθμητική ανάλυση του συστήματος δύο αρχικών μη γραμμικών εξισώσεων, που συνδέουν τα δύο συζυγή βάθη με την ειδική παροχή, q=Q/B, και το ύψος απωλειών ενέργειας, E_L. Οι τελικές εξισώσεις υπολογισμού, που προκύπτουν και χρησιμοποιούνται εδώ, είναι ρητές εξισώσεις μίας αδιάστατης παραμέτρου, f_L, η οποία υπολογίζεται από τα δεδομένα του προβλήματος. Η μέθοδος αυτή ισχύει για μεγάλο εύρος της παραμέτρου $f_L>0$, έχει μέσο σφάλμα της τάξης 0.0001% και οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν και με αριθμομηχανή χειρός.

EXPLICIT METHOD FOR CALCULATING CONJUGATE DEPTHS OF HYDRAULIC JUMPS IN RECTANGULAR CHANNELS

George A. Terzidis and Maria D. Banti
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering
School of Agriculture
Aristotle University of Thessaloniki

ABSTRACT

This paper presents an explicit method to calculate the conjugate depths of hydraulic jumps in rectangular open channel flow, using rigorous mathematical and numerical analysis of the governing non linear equations, in which the two depths are functions of the specific discharge, q and the energy loss, E_L. The final equations of the calculation are explicit functions of the nondimensional parameter, f_L, which can be computed from the problem's data. This method is valid over a large range of parameter $f_L>0$, has a mean error of the order of 0.0001% and the calculation can be performed even by hand calculator.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα υδραυλικά άλματα είναι εντυπωσιακά τοπικά φαινόμενα της υδραυλικής των ανοικτών αγωγών, τα οποία σχηματίζονται οποτεδήποτε η ροή αναγκάζεται να αλλάξει από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη κατάσταση. Ανάλογα με την ένταση της ειδικής παροχής (q=Q/B) ή καλύτερα με την τιμή του αριθμού Froude (Fr_1) της υπερκρίσιμης ροής, η μετάβαση στην υποκρίσιμη ροή γίνεται με απότομη ανύψωση της επιφάνειας του νερού με έντονο τυρβώδες, δίνες και στροβιλισμούς, που συνοδεύονται από αφρούς και φυσαλίδες αέρα και συνήθως καταστρέφουν σημαντικές ποσότητες κινητικής ενέργειας. Επωφελούμενοι από αυτές τις χαρακτηριστικές ιδιότητές τους, τα υδραυλικά άλματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταστροφή πλεονάζουσας κινητικής ενέργειας, για την ανάμιξη χημικών ουσιών ή για τον αερισμό και οξυγόνωση του νερού.

Τα πιό απλά και περισσότερο μελετημένα υδραυλικά άλματα είναι αυτά των οριζόντιων ορθογωνικών αγωγών. Εχουν γίνει πάρα πολλές θεωρητικές και πειραματικές μελέτες και έρευνες από διάφορους ανά τον κόσμο ερευνητές για να προσδιοριστούν οι χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτών των αλμάτων και να προταθούν απλούστερες και ακριβέστερες μέθοδοι επίλυσης διαφόρων πρακτικών προβλημάτων [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Τα τελευταία δέκα χρόνια έχει αναζωπυρωθεί το ενδιαφέρον των ερευνητών για τη μελέτη και έρευνα τέτοιων τοπικών φαινομένων καταστροφής ενέργειας, όπως είναι η ροή πάνω από υπερχειλιστή και ελεύθερο καταβαθμό, κάτω από θυρίδες και θυροφράγματα, καθώς και η μελέτη των σχετικών λεκανών ηρεμίας και εγκλωβισμού των υδραυλικών αλμάτων .

Οι νεώτερες αυτές μελέτες και έρευνες αποσκοπούν στην εξεύρεση νέων μεθόδων επίλυσης σχετικών προβλημάτων των υδραυλικών αλμάτων, κυρίως στο στάδιο του σχεδιασμού υδραυλικών έργων με δεδομένα την παροχή Q, το πλάτος πυθμένα B, την κατά μήκος κλίση πυθμένα S_o και το φορτίο ή ύψος απώλειας ενέργειας στην περιοχή του υδραυλικού άλματος. Αγνωστα και ζητούμενα είναι τα συζυγή βάθη y_1 και y_2 και το μήκος του υδραυλικού άλματος L. Τα προβλήματα αυτά δεν έχουν ή δεν έχει βρεθεί ακόμη αναλυτική κλειστή λύση.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά μία ρητή μέθοδος υπολογισμού των συζυγών βαθών υδραυλικών αλμάτων σε ανοικτούς αγωγούς ορθογωνικής διατομής, η οποία βασίζεται σε αυστηρή μαθηματική και αριθμητική ανάλυση του συστήματος δύο αρχικών μη γραμμικών εξισώσεων, που συνδέουν τα δύο συζυγή βάθη με την ειδική παροχή, q=Q/B, και το ύψος απωλειών ενέργειας, E_L, ύστερα από το μετασχηματισμό τους σε αδιάστατες μορφές. Οι τελικές εξισώσεις υπολογισμού των αδιάστατων βαθών, που προκύπτουν και χρησιμοποιούνται εδώ, είναι ρητές εξισώσεις μίας αδιάστατης παραμέτρου, $f_L=E_L/(q^2/g)^{1/3}$, η οποία υπολογίζεται από τα δεδομένα του προβλήματος.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις σταθερής ροής συνέχειας και ποσότητας κίνησης, μεταξύ των διατομών (1) ανάντη και (2) κατάντη του υδραυλικού άλματος, σε οριζόντιο ορθογωνικό αγωγό, λαμβάνεται [2, 3, 4]:

$$\frac{Q^2}{gB^2} = \frac{q^2}{g} = \frac{1}{2} y_1 y_2 (y_1 + y_2) \quad (1)$$

όπου q=Q/B= ειδική παροχή ανά μονάδα πλάτους (m^3/sm), B=πλάτος πυθμένα (m), g=επιτάχυνση βαρύτητας (m/s^2), y_1 και y_2 είναι τα συζυγή βάθη ανάντη και κατάντη του υδραυλικού άλματος.

Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις συνέχειας και ειδικής ενέργειας μεταξύ των διατομών (1) και (2) και χρησιμοποιώντας την Εξ.(1), λαμβάνεται:

$$E_L = E_1 - E_2 = (y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2}) - (y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2}) = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \quad (2)$$

Στην εξαγωγή των Εξ.(1) και (2) χρησιμοποιήθηκαν οι παραδοχές:

1) Οι ταχύτητες $V_1=Q/By_1$ και $V_2=Q/By_2$ είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες.
2) Οι δυνάμεις πίεσης $P_1=\gamma y_1^2/2$ και $P_2=\gamma y_2^2/2$ έχουν υδροστατική κατανομή.
3) Οι δυνάμεις αντίστασης λόγω τριβής στα τοιχώματα του αγωγού είναι αμελητέες.
4) Οι απώλειες ενέργειας μεταξύ των διατομών (1) και (2) οφείλονται μόνο στις τριβές των δινών και στροβιλισμών του υδραυλικού άλματος.

Οι Εξ. (1) και (2) αποτελούν ένα αλγεβρικό σύστημα δύο εξισώσεων και τεσσάρων αγνώστων q, y_1, y_2 και E_L, επειδή θεωρείται δεδομένη η τιμή της επιτάχυνσης βαρύτητας g. Για να έχει λύση το σύστημα αυτό πρέπει να είναι γνωστές οι δύο από τις τέσσερεις μεταβλητές, με τέσσερεις πιθανούς συνδυασμούς: α) (y_1, y_2), β) (q, y_1), γ) (q, y_2), δ) (q, E_L). Ο πρώτος συνδυασμός με γνωστά τα συζυγή βάθη y_1 και y_2 έχει το πλεονέκτημα ότι κάνει ρητές και τις δύο εξισώσεις και έτσι υπολογίζονται αμέσως οι άλλες δύο μεταβλητές q και E_L. Οι άλλοι δύο συνδυασμοί (β) και (γ) έχουν το πλεονέκτημα να γίνονται οι μετρήσεις μόνον από τη μία πλευρά του άλματος, ανάντη ή κατάντη, επειδή καθιστούν ρητή την Εξ. (1) ως δευτεροβάθμια αλγεβρική εξίσωση του άλλου βάθους y_2 ή y_1, αντίστοιχα και στη συνέχεια υπολογίζεται η τιμή της E_L από την Εξ.(2).

Ολοι οι παραπάνω συνδυασμοί προϋποθέτουν την ύπαρξη σταθερού υδραυλικού άλματος και ότι είναι προσβάσιμη και εύκολη η μία τουλάχιστον θέση των μετρήσεων ανάντη ή και κατάντη του άλματος.

Ο τέταρτος συνδυασμός με άγνωστα και τα δύο συζυγή βάθη, y_1 και y_2, είναι ο πιο δύσκολος, επειδή το σύστημα των εξισώσεων (1) και (2) είναι μη γραμμικό και πεπλεγμένο και δεν έχει ή δεν έχει βρεθεί ακόμη κλειστή αναλυτική λύση. Εχει όμως το πλεονέκτημα ότι, δεν απαιτείται υποχρεωτικά η ύπαρξη του υδραυλικού άλματος για μετρήσεις, επειδή η παροχή Q μπορεί να προσδιορισθεί είτε από υδρολογικές μεθόδους ή από τις ανάγκες των προς άρδευση ή ύδρευση περιοχών, ενώ η απώλεια ενέργειας E_L και το πλάτος B προσδιορίζονται από τη γεωμορφολογία της περιοχής προς αποφυγή διαβρώσεων ή και απόθεση φερτών υλικών.

Διαιρώντας την Εξ.(1) δια y_c^3 και την Εξ.(2) δια y_c, εισάγοντας τις αδιάστατες μεταβλητές:

$$p_1=y_1/y_c,\ p_2=y_2/y_c \text{ και } f_L=E_L/y_c \text{ και τον αριθμό Froude } Fr_c^2=q^2/gy_c^3=1 \quad (3)$$

και εκτελώντας τις σχετικές αλγεβρικές πράξεις, λαμβάνεται [6] :

$$p_1 p_2 (p_1 + p_2) = 2 \tag{4}$$

$$f_L = \frac{(p_2 - p_1)^3}{4 p_1 p_2} \tag{5}$$

Οι Εξ.(4) και (5) αποτελούν σύστημα δύο μη γραμμικών εξισώσεων με δύο αγνώστους (p_1 και p_2), που είναι πεπλεγμένες συναρτήσεις μίας παραμέτρου, της $f_L=E_L/y_c=E_L/(q^2/g)^{1/3}$, η οποία συνδυάζει και τα δύο δεδομένα του προβλήματος (E_L και q).
Η Εξ.(4) μπορεί να λυθεί με το γνωστό τύπο της δευτεροβάθμιας αλγεβρικής εξίσωσης για οποιαδήποτε άγνωστη μεταβλητή (p_2 ή p_1), όταν θεωρηθεί γνωστή η άλλη, π.χ.

$$p_2 = \frac{1}{2}(-p_1 + \sqrt{p_1^2 + \frac{8}{p_1}}) = \frac{1}{2p_1}(-p_1^2 + \sqrt{p_1^4 + 8p_1}) \tag{6}$$

Από τις Εξ.(5) και (6) λαμβάνεται:

$$f_L = \frac{1}{16 p_1^2}\left[- p_1^6 + 20 p_1^3 + 8 - (p_1^4 + 8 p_1)^{3/2} \right] \tag{7}$$

Η Εξ.(7) δίνει τη σχέση μεταξύ του αδιάστατου βάθους p_1 ανάντη του άλματος και της αδιάστατης παραμέτρου $f_L=E_L/y_c$ της απώλειας φορτίου, λόγω του τυρβώδους και των στροβιλισμών του άλματος. Προφανώς η Εξ.(7) είναι πεπλεγμένη και μη γραμμική ως προς p_1, ενώ είναι ρητή ως προς f_L.
Χρησιμοποιώντας διάφορες τιμές του p_1 με μικροαυξήσεις κατά 0.01 στο εύρος $0.11 \leq p_1 \leq 0.70$,υπολογίζονται οι αντίστοιχες τιμές της f_L και οι τιμές αυτές σχεδιάζονται σε ημιλογαριθμικό χαρτί με την f_L στη λογαριθμική κλίμακα. Η γραμμή, που προκύπτει από τα σημεία των ζευγών (p_1 ,f_L) μπορεί να χωριστεί σε πέντε ευθύγραμμα τμήματα, στα οποία εφαρμόζεται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και λαμβάνονται οι παρακάτω προσεγγιστικές εξισώσεις με τα αντίστοιχα όρια ισχύος τους.
α) Για ασθενή άλματα με χαμηλή απώλεια ενέργειας, με όρια $0.08 < f_L \leq 0.2306$ ή $1.71 < Fr_1 < 2.15$:

$$p_{10}=0.462328-0.094809\ln f_L \tag{8a}$$

β) Για μέτρια μεταβατικά έως καλά μόνιμα άλματα, με όρια $0.2306 < f_L < 2.767$ ή $2.15 < Fr_1 < 5.52$:

$$p_{10}=0.43558-0.113916\ln f_L \tag{8b}$$

γ) Για ισχυρά μόνιμα και αποτελεσματικά άλματα, με όρια $2.767< f_L <6.784$ ή $5.52< Fr_1 <9.07$:

$$p_{10}=0.421145-0.100487\ln f_L \tag{8c}$$

δ) Για πολύ ισχυρά και πιο αποτελεσματικά άλματα, με όρια $6.784< f_L <15.09$ ή $9.07< Fr_1 <14.92$:

$$p_{10}=0.384728-0.081422\ln f_L \tag{8d}$$

ε) Για πάρα πολύ ισχυρά και πολύ 'άγρια και θορυβώδη' άλματα, με όρια $15.1\leq f_L <31.9$ ή $14.9\leq Fr_1 <24.7$:

$$p_{10}=0.332417-0.062097\ln f_L \tag{8e}$$

Να σημειωθεί ότι υδραυλικά άλματα με $Fr_1 >13$ είναι πολύ 'άγρια και θορυβώδη' με στροβιλισμούς, που καθιστούν δύσκολες τις συνθήκες εγκλωβισμού και η κατασκευή των λεκανών ηρεμίας τους είναι πολύ δαπανηρή (Henderson, 1966, p.218).
Οι προσεγγιστικές εξισώσεις (8a), (8b), (8c), (8d) και (8e) προσεγγίζουν τις ακριβείς τιμές p_1 με % σφάλμα μικρότερο της μισής μονάδας. Οι ίδιες εξισώσεις, μπορεί να λεχθεί ότι, περιγράφουν και τους τύπους των υδραυλικών αλμάτων, που προέκυψαν από τα πειραματικά δεδομένα διαφόρων ερευνητών [5]. Για μικρότερη ακρίβεια, δηλαδή για προσέγγιση των τιμών της p_1 με % σφάλμα μικρότερο της μονάδας οι περίπου αντίστοιχες προσεγγιστικές εξισώσεις περιορίζονται σε τρεις [Τερζίδης, 2005].
Γράφοντας την Εξ.(7) με τη συναρτησιακή μορφή:

$$F(p_1)=16f_L p_1^2+ p_1^6-20 p_1^3-8+(p_1^4+8 p_1)^{3/2}=0 \tag{9}$$

και εφαρμόζοντας την αριθμητική μέθοδο των Newton-Raphson [9, 10] λαμβάνεται:

$$p_{1k+1}= p_{1k}-\frac{F(p_{1k})}{F'(p_{1k})}=\frac{16f_L p_{1k}^2+5p_{1k}^6-40p_{1k}^3+8+(5p_{1k}^4+4p_{1k})\sqrt{p_{1k}^4+8p_{1k}}}{32f_L p_{1k}+6p_{1k}^5-60p_{1k}^2+6(p_{1k}^3+2)\sqrt{p_{1k}^4+8p_{1k}}} \tag{10}$$

όπου k=0, 1, 2, 3, …
Για την πρώτη τιμή k=0 η Εξ.(10) δίνει την τιμή της p_{11}:

$$p_{11}=\frac{16f_L p_{10}^2+5p_{10}^6-40p_{10}^3+8+(5p_{10}^4+4p_{10})\sqrt{p_{10}^4+8p_{10}}}{32f_L p_{10}+6p_{10}^5-60p_{10}^2+6(p_{10}^3+2)\sqrt{p_{10}^4+8p_{10}}} \tag{11}$$

όπου p_{10} είναι η αρχική τιμή της p_1, που λαμβάνεται από τις Εξ.(8) και p_{11} είναι η πρώτη προσεγγιστική τιμή της p_1, η οποία έχει ακρίβεια της τάξης του 10^{-4}% και θεωρείται πολύ ικανοποιητική.

Χρησιμοποιώντας την τιμή p_{11} της Εξ.(11) στην Εξ.(6) και θέτοντας $p_2 \equiv p_{21}$, λαμβάνεται:

$$p_{21} = \frac{1}{2}\left(- p_{11} + \sqrt{p_{11}^2 + \frac{8}{p_{11}}} \right) \tag{12}$$

Από τις Εξ.(11), (12) και (5) λαμβάνεται:

$$f_{Lc} = \frac{(p_{21} - p_{11})^3}{4 p_{11} p_{21}} \tag{13}$$

Η Εξ.(13) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει την ακρίβεια των υπολογισμών και να εκτιμήσει το % σχετικό σφάλμα:

$$\%\ \sigma\phi\acute{\alpha}\lambda\mu\alpha = \left(\frac{f_L - f_{Lc}}{f_L} \right) \bullet 100 \tag{14}$$

Ο υπολογισμός του μήκους υδραυλικού άλματος μπορεί να γίνει μόνο με εμπειρικές εξισώσεις, που βασίζονται σε πολλές πειραματικές μετρήσεις. Ομως η μέτρηση του μήκους L του υδραυλικού άλματος είναι η πιό δύσκολη επειδή δεν είναι σταθερές οι θέσεις των διατομών (1) και (2) ανάντη και κατάντη του άλματος. Με διάφορες τεχνικές και την πείρα, που απέκτησαν οι σχετικοί ερευνητές, θεωρούνται ικανοποιητικές οι διαδοχικές μετρήσεις, που διαφέρουν μεταξύ τους λιγότερο από 5% [1, 4]. Οι Bradley and Peterka [5] σχεδίασαν τα πειραματικά τους στοιχεία από έξι διαφορετικούς ορθογωνικούς αγωγούς με δύο τρόπους α) L/y_1 ως συνάρτηση του Fr_1 και β) L/y_2 ως συνάρτηση πάλι του Fr_1. Αλλοι ερευνητές χρησιμοποίησαν και τρίτο τρόπο γ) $L/(y_2 - y_1)$ ως συνάρτηση του Fr_1. Στα διαγράμματά τους αυτά και από τη διασπορά των πειραματικών σημείων, φαίνεται ως καλύτερη η πρώτη σχέση από ότι η δεύτερη και η τρίτη. Επειδή όμως η δεύτερη σχέση είναι πιο απλή για τα πιο συνηθισμένα υδραυλικά άλματα υιοθετήθηκε και χρησιμοποιείται το πειραματικό διάγραμμα της δεύτερης σχέσης καθώς και η εξίσωση [3, 4, 5]:

$$L = 6y_2, \quad \text{για} \quad 4.5 < Fr_1 < 14 \tag{15}$$

Ο Silvester (1964) [7] προτείνει την εξίσωση:

$$L = 9.75 y_1 (Fr_1 - 1)^{1.01}, \quad \text{για} \quad 3 < Fr_1 < 10 \tag{16}$$

Ο Hager (1991) [13, 3] προτείνει την εξίσωση:

$$\frac{L}{y_1} = 220\tanh\left(\frac{Fr_1 - 1}{22}\right) \quad (17)$$

Στην εργασία αυτή προτείνονται οι παρακάτω εξισώσεις ως πιό απλές και πιό ακριβείς στα πειραματικά δεδομένα:

$$\frac{L}{y_1} = 10.0381(Fr_1 - 1)^{0.9885}, \quad \text{για} \quad 2<Fr_1<6.75 \quad (18a)$$

$$\frac{L}{y_1} = 11.4446(Fr_1 - 1)^{0.9131}, \quad \text{για} \quad 6.75\leq Fr_1\leq 12 \quad (18b)$$

$$\frac{L}{y_1} = 15.7416(Fr_1 - 1)^{0.7804}, \quad \text{για} \quad 12<Fr_1\leq 17.5 \quad (18c)$$

$$\frac{L}{y_1} = 24.219(Fr_1 - 1)^{0.6267}, \quad \text{για} \quad 17.5<Fr_1\leq 23 \quad (18d)$$

Ολες οι παραπάνω εξισώσεις είναι εμπειρικές και βασίσθηκαν κυρίως στα πειραματικά στοιχεία των Bradley and Peterka και μερικώς στα πειραματικά των Bakhmeteff και Silvester [7]. Οι Ινδοί ερευνητές Chaurasia (2003) [11] και Swamee and Rathie (2004) [12] χρησιμοποίησαν τις σχέσεις $L=5(y_2-y_1)$ και $L=6(y_2-y_1)$, αντίστοιχα, οι οποίες όμως είχαν προταθεί προηγουμένως από τους Bakhmeteff (1932) και Smetana (1934) [7].

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η παρούσα μέθοδος εφαρμόστηκε αναλυτικά σε τέσσερα παραδείγματα, πρόσφατα δημοσιευμένα σε έγκυρο διεθνές επιστημονικό περιοδικό, με τη χρήση υπολογιστή τσέπης και με επιτραπέζιο υπολογιστή. Τα αποτελέσματα αυτών των παραδειγμάτων καθώς και άλλων παραδειγμάτων παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1, όπου φαίνεται και η ακρίβεια της μεθόδου. Ομοια είναι και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων σε δέκα παραδείγματα των αξιόπιστων πειραματικών δεδομένων των Bradley and Peterka για διάφορους αριθμούς Froude (Fr_1=2.17 έως 19.55), που καλύπτουν όλους τους τύπους των υδραυλικών αλμάτων σε οριζόντιους ορθογωνικούς αγωγούς. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται μόνον τέσσερα παραδείγματα πειραματικών για μεγάλους αριθμούς Fr_1 (=5.81, 12.61, 15.87 και 19.58)

Συγκρίνοντας τις τρεις ρητές αυτές μεθόδους από τα αποτελέσματά τους, εύκολα διαπιστώνεται η υπεροχή της παρούσας μεθόδου τόσο για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της όσο και για την απλότητά της. Η μέθοδος του Chaurasia (2003), όπως δημοσιεύτηκε, φαίνεται ότι γράφτηκε με κάποια προχειρότητα, επειδή περιέχει σημαντικά τυπογραφικά και ουσιαστικά σφάλματα σε ορισμένες εξισώσεις της και τα σφάλματα των υπολογισμών της είναι πολύ μεγάλα και απαράδεκτα. Αντίθετα, η μέθοδος των Swamee and Rathie (2004) δίνει ακριβή αποτελέσματα για μικρούς αριθμούς Froude αλλά δεν είναι και τόσο ακριβής για μεγάλους αριθμούς Froude, όπως δείχνει και η δική τους ακρίβεια στα αποτελέσματα του δεύτερου παραδείγματός τους, που έχει σφάλμα % μεγαλύτερο του 3% (Τερζίδης 2005).

Πίνακας 1. Λύσεις Προβλημάτων άλλων ερευνητών Chaurasia [8], Swamee [12] και συγκρίσεις

	Ερευνητές και δεδομένα προβλήματος			
	Swamee 1	*Swamee 2*	*Chaurasia 1*	*Chaurasia 2*
Παροχή,q (m^2/s)	7.000000	1.710000	10.000000	1.700000
Βαρύτητα,g (m/s^2)	9.800000	9.800000	9.800000	9.800000
Απώλειες ενέργειας, E_L	0.950000	2.100000	1.630000	2.500000
Εξ. (3), y_c=	1.709976	0.668224	2.168992	0.665616
Εξ. (3), f_L=	0.555563	3.142659	0.751501	3.755918
Εξ. (8a, b, c, d, e), p_{10}=	0.502537	0.306080	0.468124	0.288167
Εξ. (11), p_{11}=	0.503738	0.306299	0.468960	0.287580
Εξ. (12), p_{21}=	1.756552	2.406739	1.843917	2.497281
Εξ. (13), f_{Lc}=	0.555564	3.142657	0.751501	3.755902
Εξ. (3), y_{11}=	0.861380	0.204676	1.017171	0.191418
Εξ. (3), y_{21}=	3.003662	1.608241	3.999441	1.662231
Εξ. (2), E_{Lc}=	0.950001	2.099999	1.629999	2.499990
Εξ. (1), q_c=	7.000000	1.710000	10.000000	1.700000
$Fr_1 = q / y_{11}(gy_{11})^{1/2}$	2.80	5.90	3.11	6.48
$(q-q_c)/q*100$=	2.538E-14	2.597E-14	3.553E-14	3.918E-14
$(E_L-E_{Lc})/Elc*100$=	-1.469E-04	4.959E-05	5.575E-05	4.177E-04

Πίνακας 2. Λύσεις Πειραματικών Προβλημάτων Bradley and Peterka [5] διαφόρων τύπων υδραυλικών αλμάτων (Fr_1=5.81 έως 19.55)

	Δεδομένα προβλήματος			
Παροχή,q (m^2/s)	0.075716	0.185800	0.093646	0.061966
Βαρύτητα,g (m/s^2)	9.814560	9.814560	9.814560	9.814560
Απώλειες ενέργειας, E_L	0.254810	1.765400	1.59654	1.663800
Εξ. (3), y_c=	0.083593	0.152080	0.096317	0.073138
Εξ. (3), f_L=	3.048234	11.608326	16.575905	22.748657
Εξ. (8a, b, c, d, e), p_{10}=	0.309146	0.185104	0.158052	0.138395
Εξ. (11), p_{11}=	0.309557	0.184597	0.158375	0.137648
Εξ. (12), p_{21}=	2.391751	3.200559	3.475324	3.743602
Εξ. (13), f_{Lc}=	3.048229	11.608234	16.575833	22.747960
Εξ. (3), y_{11}=	0.025877	0.028074	0.015254	0.010067
Εξ. (3), y_{21}=	0.199933	0.486743	0.334732	0.273801
Εξ. (2), E_{Lc}=	0.254810	1.765386	1.596533	1.663749
Εξ. (1), q_c=	0.075716	0.185800	0.093646	0.061966
$Fr_1 = q / y_{11}(gy_{11})^{1/2}$	5.81	12.61	15.87	19.58
$(q-q_c)/q*100$=	1.833E-14	-2.988E-14	-4.446E-14	-3.359E-14
$(E_L-E_{Lc})/Elc*100$=	1.710E-04	7.899E-04	4.350E-04	3.064E-03

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1) Η εργασία αυτή παρουσιάζει μία νέα ρητή μέθοδο υπολογισμού των συζυγών βαθών y_1 και y_2 του υδραυλικού άλματος σε ορθογωνικούς οριζόντιους αγωγούς, όταν δίνονται μόνον η ειδική παροχή q και το ύψος απωλειών ενέργειας E_L. Χρησιμοποιώντας τις αδιάστατες μεταβλητές της Εξ.(3), οι αρχικές Εξ.(1) και (2) μετασχηματίζονται στις Εξ.(6) και (7), οι οποίες με τη βοήθεια της αριθμητικής ανάλυσης Newton-Raphson λύνονται με τις ρητές Εξ.(8), (11) και (12). Η ακρίβεια της μεθόδου ελέγχεται με τις Εξ.(13) και (14) και βρέθηκε ότι είναι της τάξης 0.0001%.
2) Το μήκος του άλματος L μπορεί να υπολογιστεί με τις εμπειρικές Εξ.(18a, b, c, d) για το εύρος: $2<Fr_1<24$, που περιλαμβάνουν σχεδόν όλα τα δημοσιευμένα πειραματικά δεδομένα και έχει ικανοποιητική ακρίβεια.
3) Η μέθοδος αυτή συγκρίθηκε με διάφορες άλλες παλιές και νέες μεθόδους και με πολλά πειραματικά παραδείγματα και βρέθηκε ότι υπερέχει σημαντικά (Βλέπε π.χ. Πίνακες 1 και 2).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chow, V.T.,1959. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Co. New York.
2. Henderson, F.M., 1966. Open-Channel Flow. Macmillan. New York.
3. Chaudhry, M.H., 1993. Open-Channel Flow. Prentice Hall. New Jersey.
4. Τερζίδης, Γ.Α., 1997. Εφαρμοσμένη Υδραυλική. Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
5. Bradley, J.N. and Peterka, A.J., 1957. The Hydraulic Design of Stilling Basins. J. of the Hydraulics Div., Proc. ASCE, 83 (HY5) No. 1401(1-24).
6. Swamee, P.K., 1970. Sequent Depths for Irrigation Canals. J. Irrig. Power, 27(1), 45-61.
7. Silvester, R., 1964. Hydraulic Jump in All Shapes of Horizontal Channels. J. of the Hydraulics Div., Proc. ASCE, 90 (HY1), 23-55.
8. Rajaratnam, N., 1967. Hydraulic Jumps. Advances in Hydroscience. Edit. by Chow Ven Te. Academic Press. New York.
9. Μπαμπατζιμόπουλος, Χρ., 1999. Αριθμητική Ανάλυση. Γιαχούδης-Γιαπούλης. Θεσσαλονίκη.
10. Atkinson, K.E.,1978. An Introduction to Numerical Analysis. John Wiley. New York.
11. Chaurasia, S.R., 2003. Direct Equations for Hydraulic Jump Elements. J. Irrig. and Drain.Eng. (ASCE). 129(4), 291-294.
12. Swamee, P.K. and Rathie, R.N., 2004. Exact Solutions for Sequent Depth Problem. J. Irrig. and Drain.Eng. (ASCE). 130(6), 520-522.
13. Hager, W.H., 1991. Energy Dissipators and Hydraulic Jump. Kluwer Academic. Dordrecht. The Netherlands.
14. Terzidis, G.A., 2005. Discussion of 'Exact Solutions for Sequent Depths Problem' by Swamee and Rathie [12] (In Press).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΟΛΒΗΣ

Ι. Γιαννοπούλου*, Δ. Παπαμιχαήλ* και Β. Αντωνόπουλος*
* Α.Π.Θ. - Τμήμα Γεωπονίας, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, 54124, Θεσσαλονίκη
e-mail: igiannop@agro.auth.gr, papamich@agro.auth.gr, vasanton@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υδρολογική λεκάνη Μυγδονίας, στην Κεντρική Μακεδονία, αποτελείται από δύο υπολεκάνες, της λίμνης Κορώνειας (Λαγκαδά ή Αγ. Βασιλείου) και της λίμνης Βόλβης. Η λίμνη Κορώνεια παρουσιάζει έντονα και αυξανόμενα προβλήματα ισοζυγίου νερού και ποιοτικής υποβάθμισης. Ανάλογα προβλήματα, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό παρουσιάζει και η λίμνη Βόλβη τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν. Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια εκτίμησης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης και περιγραφής της ποιοτικής της κατάστασης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής επιτρέπουν τον καθορισμό των πιθανών αιτίων της υποβάθμισης της λίμνης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό της αποτελεσματικής διαχείρισης της λίμνης και της υδρολογικής της λεκάνης σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60 και το Ν.3199/2003.

ASSESSMENT OF WATER BALANCE AND WATER QUALITY OF VOLVI LAKE IN CENTRAL MACEDONIA

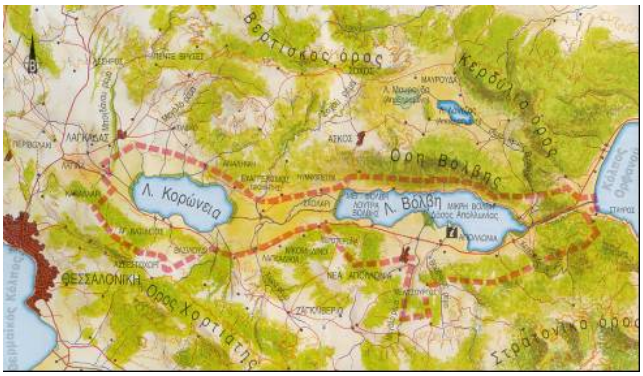
J. Giannopoulou*, D. Papamichail* and V. Antonopoulos*
* School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece
e-mail: igiannop@agro.auth.gr, papamich@agro.auth.gr, vasanton@agro.auth.gr

ABSTRACT

Koronia and Volvi are lakes in the area of Mygdonia basin of Central Macedonia, Greece. Koronia lake suffers from serious problems related to water quantity and quality. Volvi lake shows corresponding problems but less than those in Koronia lake. This paper deals with the Volvi's lake water balance estimation and water quality description. The results of this analysis allow the identification of the possible causes lake's degradation and offer a better understanding in the design of the effective water management in the lake and its hydrological basin according to the Directives (2000/60/EEC and N.3199/2003).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υδρολογική λεκάνη Μυγδονίας, που βρίσκεται στο υδατικό διαμέρισμα 10 (Κεντρική Μακεδονία), αποτελείται από δύο υπολεκάνες, της λίμνης Κορώνειας (Λαγκαδά ή Αγ. Βασιλείου) και της λίμνης Βόλβης, οι οποίες αποτελούν σύμφωνα με: (α) Τη διεθνή σύμβαση Ramsar: «Υγροβιότοπο Διεθνούς Σημασίας». (β) Την Οδηγία 69/409/ΕΟΚ: «Ειδικά Προστατευόμενη Περιοχή (SPA). (γ) Την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ: «Περιοχή Κοινοτικού Ενδιαφέροντος (SCI)» και (δ) Τη Διεθνή Σύμβαση της Βαρκελώνης: «Ειδικά Προστατευόμενη Περιοχή». Οι δύο λίμνες μαζί με το ρέμα Δερβένι, που παλιότερα αποφόρτιζε τη λίμνη Κορώνεια στη λίμνη Βόλβη και το Ρήχιο ποταμό, που αποφορτίζει τη λίμνη Βόλβη στον κόλπο του Ορφανού αποτελούν ένα ενιαίο υδρολογικό σύστημα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Τοπογραφικό διάγραμμα της ευρύτερης περιοχής στην οποία ανήκει η λεκάνη της Μυγδονίας

Ανάλογα με τη λίμνη Κορώνεια προβλήματα υδατικού ισοζυγίου και ποιοτικής υποβάθμισης υπάρχουν και στη λίμνη Βόλβη χωρίς να έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία σε αυτά, ίσως λόγω των σοβαρότερων προβλημάτων, που αντιμετωπίζει η λίμνη Κορώνεια. Όμως, τα προβλήματα της λίμνης Βόλβης πρέπει να τύχουν της κατάλληλης προσοχής και αντιμετώπισης πριν και η λίμνη Βόλβη ακολουθήσει την τύχη της Κορώνειας.

Κατά το παρελθόν, η λεκάνη Μυγδονίας αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών. Για παράδειγμα, η BRGM [1] εξέτασε τη δυνατότητα χρήσης των υδάτινου δυναμικού της λεκάνης Μυγδονίας για την ύδρευση της Θεσσαλονίκης. Ο Ψιλοβίκος [2] μελέτησε τη στρωματογραφική εξέλιξη της λεκάνης Μυγδονίας. Ο Βαφειάδης [3] μελέτησε τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης Μυγδονίας. Οι Mercier et al. [4] πραγματοποίησαν τεκτονικές μελέτες σχετικά με τα ενεργά ρήγματα της λεκάνης της Μυγδονίας. Οι Βεράνης και Κατιρτζόγλου [5] ασχολήθηκαν με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης Μυγδονίας. Οι Karavokiris et al. [6] στα πλαίσια του Master Plan για την περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας εξέτασαν και τις υδρογεωλογικές-υδροχημικές συνθήκες της λεκάνης Μυγδονίας. Η ερευνητική ομάδα που συνέταξε το επιχειρησιακό σχέδιο αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας [7] εξέτασε μεταξύ των άλλων και το υδατικό ισοζύγιο της υπολεκάνης της Βόλβης.

Τα θέματα που εξετάζονται στην παρούσα εργασία είναι η μελέτη του υδατικού ισοζυγίου και της ποιότητας του νερού της λίμνης Βόλβης, η διερεύνηση των αιτίων

που οδηγούν στην υποβάθμιση αυτής και προτάσεις για τη λήψη μέτρων για τη διάσωσή της.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης είναι η λίμνη Βόλβη (φ=40° 41′ και λ=23° 20′), η οποία είναι ο φυσικός αποδέκτης του μεγαλύτερου τμήματος των αποστραγγιζόμενων νερών της ομώνυμης λεκάνης (Σχήμα 1). Ο χείμαρρος Δερβένι ενώνει τις δύο λίμνες και λειτουργεί ως αποστραγγιστική τάφρος εκφορτίζοντας τα πλεονάζοντα νερά της λίμνης Κορώνειας στη λίμνη Βόλβη. Ένα άλλο αξιόλογο υδατόρευμα της λεκάνης της Βόλβης είναι ο Ρήχιος ποταμός, ο οποίος εκφορτίζει τα πλεονάζοντα νερά της ομώνυμης λίμνης στη θάλασσα και συγκεκριμένα, στον κόλπο του Ορφανού (Σχήμα 1).

Η λίμνη Βόλβη έχει σχήμα επίμηκες, το μήκος της μεγαλύτερης πλευράς της είναι 19,5 km και έχει διεύθυνση Α-Δ. Το πλάτος της κυμαίνεται μεταξύ ενός ελαχίστου 2 km και ενός μεγίστου 5,5 km. Σημειώνεται ότι με τις συνεχείς αποθέσεις, η λίμνη στο απώτερο μέλλον προβλέπεται ότι θα χωριστεί σε δύο ξεχωριστές λίμνες δηλαδή στην Ανατολική και στη Δυτική Βόλβη [3, 8]. Η επιφάνεια της στάθμης των νερών της λίμνης ήταν σε ύψος 37 m (έτος 1970) πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Τα βάθη της λίμνης κυμαίνονται συνήθως από 10 έως 23,5 m.

Οι επιπτώσεις από τις συνεχιζόμενες προσχώσεις των χειμάρρων που εκβάλλουν στη Βόλβη είναι ότι η επιφάνεια της λίμνης υφίσταται προοδευτική μείωση της έκτασής της. Στη μείωση αυτή έχει συμβάλει, επίσης, και η μικρή σχετικά εκβάθυνση της κοίτης του Ρήχιου ποταμού, ο οποίος διοχετεύει τα νερά της λίμνης Βόλβης στη θάλασσα.

3. ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

Το υδατικό ισοζύγιο μιας λίμνης σε ετήσια βάση εκφράζεται από μία γενική σχέση, η οποία εξισώνει τις συνολικές εισροές στη λίμνη με τις συνολικές εκροές από αυτή και τη μεταβολή του αποθηκευμένου όγκου νερού της λίμνης [9]. Η εξίσωση αυτή της οποίας όλοι οι όροι εκφράζονται σε μονάδες ύψους νερού και η οποία περιγράφει στην πραγματικότητα την αρχή της διατήρησης της μάζας είναι [9]:

$$P + RO + GW_{\text{in}} = E + RT + RS + GW_{\text{out}} \pm DS \qquad (1)$$

όπου: P= η βροχόπτωση που πέφτει απευθείας στην επιφάνεια της λίμνης, RO= οι επιφανειακές εισροές νερού από τα υδατορεύματα που εκβάλλουν στη λίμνη και η απευθείας επιφανειακή απορροή, G_{win}= οι εισροές του νερού από τους υπόγειους υδροφορείς, E= η εξάτμιση από την επιφάνεια της λίμνης, RT=η επιφανειακή εκροή είτε είναι φυσική είτε τεχνητή διαμέσου τάφρων ή εκχειλιστών, RS= οι αντλήσεις νερού από τη λίμνη, G_{wout}= οι εκροές (απώλειες) νερού από τη λίμνη προς τους υπόγειους υδροφορείς και DS= η μεταβολή του αποθηκευμένου όγκου νερού της λίμνης.

Συνήθως, το υδατικό ισοζύγιο μιας λίμνης υπολογίζεται σε ετήσια βάση, έτσι ώστε να δίνεται μία γενική εικόνα των μεταβολών, που συμβαίνουν στη λίμνη από έτος σε έτος. Μερικές φορές, όμως, είναι χρήσιμη η εποχιακή ή και η μηνιαία μελέτη του υδατικού ισοζυγίου.

Αν είναι γνωστές όλες οι παράμετροι της σχέσης (1), που αφορούν σε μια συγκεκριμένη λίμνη και μάλιστα, για μια σειρά ετών, τότε με τη βοήθεια της εξίσωσης αυτής μπορεί να βρεθεί η κυριότερη αιτία της ποσοτικής υποβάθμισης της λίμνης, οπότε, στη συνέχεια, μπορούν να ληφθούν και τα κατάλληλα μέτρα για την αναβάθμισή της.

Στη βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί αρκετές εργασίες στις οποίες χρησιμοποιείται η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου για τον προσδιορισμό και τη λύση προβλημάτων ποσοτικών ή ακόμη και ποιοτικών, που εμφανίζονται σε λίμνες. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι εργασίες των Αντωνόπουλου κ.α [10], οι οποίοι μελέτησαν τα προβλήματα του ισοζυγίου νερού της λίμνης Βεγορίτιδας, των Αντωνόπουλου και Γιαννιού [11], οι οποίοι μελέτησαν το ισοζύγιο νερού και αλάτων της λίμνης Κορώνειας, των Barbieri and Mosselo [12], οι οποίοι μελέτησαν το ισοζύγιο της μάζας σε λίμνες αλπικού υψομέτρου, των Asmar and Ergenzonger [13], οι οποίοι παρουσίασαν μια δυναμική προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου της Νεκράς Θάλσσας στο Ισραήλ, του Rimer [14], ο οποίος μελέτησε τον μηχανισμό της αλμυροποίησης (salinization) της λίμνης Kinneret του Ισραήλ κ.λπ.

3.1. Βροχόπτωση

Η περιοχή της λεκάνης Μυγδονίας δεν διαθέτει σήμερα κανένα μετεωρολογικό και υδρομετρικό σταθμό. Κατά το παρελθόν λειτούργησαν κάποιοι σταθμοί για ορισμένα χρονικά διαστήματα με την ευθύνη του ΥΠ.ΓΕ. και του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. στα πλαίσια εκπόνησης διαφόρων μελετών [3]. Για παράδειγμα, το έτος 1970 ο Οργανισμός Ύδρευσης Θεσσαλονίκης ανέθεσε στην εταιρεία ΕΜΥΘΕΜ Ε.Π.Ε. μια μελέτη για να εξεταστεί η δυνατότητα ύδρευσης της πόλης της Θεσσαλονίκης από τις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη. Η εταιρεία αυτή εγκατέστησε σταθμούς που λειτούργησαν κατά το χρονικό διάστημα 1970-79 στην Αρέθουσα, στη Νέα Απολλωνία, στο Ζαγκλιβέρι, στη Ρεντίνα και στο Σοχό που ανήκουν στη λεκάνη της Βόλβης και στη Νικόπολη, στο Λαγκαδά και στον Αγ. Βασίλειο. Όμως, στα όρια της λεκάνης Μυγδονίας, με τόσα περιβαλλοντικά προβλήματα δεν λειτουργεί τα τελευταία χρόνια κανένας μετεωρολογικός, αλλά ούτε και υδρομετρικός σταθμός με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν μετεωρολογικά δεδομένα.

Λόγω της έλλειψης άμεσων μετεωρολογικών μετρήσεων έχει γίνει, κατά το παρελθόν, προσπάθεια συμπλήρωσης των μετεωρολογικών στοιχείων των σταθμών της ΕΜΥΘΕΜ της περιόδου 1970-1979 και της επέκτασής τους μέχρι το 1992 με συσχέτιση με τα αντίστοιχα στοιχεία της ίδιας χρονικής περιόδου του σταθμού του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης [15].

Στην παρούσα εργασία δεν επεκτάθηκαν και πέραν του 1992 οι χρονοσειρές των μετρήσεων των σταθμών της ΕΜΥΘΕΜ [15] εξαιτίας του ότι αφενός είναι επισφαλής μια τέτοια για πολλά χρόνια επέκταση και αφετέρου η επέκταση είναι χωρίς νόημα, αφού υπάρχει σοβαρή έλλειψη μετρήσεων για τις υπόλοιπες συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Βόλβης. Για τους λόγους αυτούς, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα συσχετισμένα στοιχεία των μηνιαίων υψών βροχής της ΑΝ.Ε.Ν.Θ. [15] των σταθμών που βρίσκονται μέσα στα όρια της λεκάνης της Βόλβης (και του σταθμού του Αγ. Βασιλείου.

3.2. Εξάτμιση

Στην περιοχή της λεκάνης της Βόλβης έχουν γίνει μετρήσεις εξάτμισης με εξατμισίμετρο στο σταθμό της Νέας Απολλωνίας για το χρονικό διάστημα 1970-75, οι οποίες παρουσιάζουν ελλείψεις για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του έτους 1974-75, ενώ για τη λεκάνη της Κορώνειας υπάρχει πλήρης σειρά μετρήσεων με εξατμισίμετρο για την περίοδο 1970-78 [15].

Προκειμένου να συμπληρωθούν οι μετρήσεις του σταθμού της Νέας Απολλωνίας που λείπουν κατά το υδρολογικό έτος 1974-75 και να επεκταθούν οι χρονοσειρές του σταθμού της Νέας Απολλωνίας μέχρι το υδρολογικό έτος 1977-78 υπολογίστηκαν με τη

μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, οι διπλές αθροιστικές μηνιαίες καμπύλες εξάτμισης ανάμεσα στους δύο σταθμούς. Από τις καμπύλες αυτές και με γνωστά τα στοιχεία για το σταθμό Αγ. Βασιλείου προσδιορίστηκαν τα αντίστοιχα στοιχεία, που λείπουν για το σταθμό της Νέας Απολλωνίας. Οι συντελεστές προσδιορισμού (R^2) ήταν όλοι μεγαλύτεροι από 0.93, τιμή που θεωρείται πολύ ικανοποιητική.

3.3 Επιφανειακές και υπόγειες εισροές από τη λίμνη Κορώνεια

Η λίμνη Βόλβη επικοινωνεί με τη λίμνη Κορώνεια διαμέσου του ρέματος του Δερβενίου. Όμως, το μέσο βάθος της λίμνης Κορώνειας κατά τη χρονική περίοδο 1985-1995 ήταν συνέχεια μικρότερο από το υψόμετρο του εκχειλιστή αποστράγγισης προς τη λίμνη Βόλβη (+75 m), οπότε δεν υπήρχε επιφανειακή εκροή από τη μία λίμνη στην άλλη διαμέσου του ρέματος Δερβενίου [11]. Από έρευνες που έχουν γίνει από την BRGM [1] διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει, ούτε υπόγεια, αλλά ούτε επιφανειακή επικοινωνία νερού μεταξύ των λεκανών Κορώνειας και Βόλβης.

3.4. Εκροές προς τη θάλασσα

Όπως αναφέρθηκε, ο Ρήχιος ποταμός διοχετεύει τα νερά της Βόλβης διαμέσου της κοιλάδας της Ρεντίνας προς το Στρυμονικό κόλπο (κόλπος Ορφανού). Σήμερα δεν γίνονται συστηματικές μετρήσεις της παροχής του Ρήχιου ποταμού. Κατά το παρελθόν, μετρήσεις είχε κάνει η ΕΜΥΘΕΜ [15] για λογαριασμό του Ο.Υ.Θ. για το χρονικό διάστημα 1969-79. Η μέγιστη παροχή του ποταμού έλαβε χώρα τον μήνα Απρίλιο του έτους 1969-70, ενώ η μέση τιμή των παροχών για το χρονικό διάστημα 1969-79 ανήλθε σε 0.96 m^3/s. Σημειώνεται ότι κατά τον υπολογισμό της ανωτέρω μέσης τιμής δεν ελήφθη υπόψη το υδρολογικό έτος 1973-74, γιατί για το έτος αυτό έγιναν μετρήσεις μόνο το μήνα Σεπτέμβριο. Επίσης, διαπιστώνεται ότι υπήρξαν την περίοδο αυτή χρονικά διαστήματα, που ο Ρήχιος ποταμός δεν είχε ροή τουλάχιστον στη θέση των μετρήσεων, ενώ οι μέσες παροχές του ποταμού μειώνονταν με το χρόνο σημαντικά. Συγκεκριμένα, ενώ η μέση τιμή της παροχής ήταν 2.35 m^3/s κατά το έτος 1969-70 κατά τα τρία τελευταία έτη των μετρήσεων ήταν 0.02, 0.01 και 0.09 m^3/s .

Μετρήσεις της παροχής του Ρήχιου ποταμού έχουν γίνει και από την ΥΕΒ κατά το χρονικό διάστημα 1983-1987 στη θέση του φράγματος χελιών [3]. Από τις μετρήσεις αυτές διαπιστώνονται ότι:

- Από τον Αύγουστο μέχρι το Δεκέμβριο του 1985, ο Ρήχιος ποταμός δεν είχε ροή στη θέση των μετρήσεων λόγω της ασυνήθιστα μεγάλης πτώσης της στάθμης της λίμνης Βόλβης, που συνέβη από την παρατεταμένη ανομβρία του έτους αυτού.
- Κατά το διάστημα 1987-1988 το ποτάμι παρουσίαζε συνεχή ροή.
- Η μέγιστη παροχή που μετρήθηκε ήταν 5,05 m^3/s (Απρίλιος 1987).
- Οι παροχές του Ρήχιου ποταμού, που μετρήθηκαν για το διάστημα 1983-87 (μέση ετήσια παροχή 0.816 m^3/s), υπολειπόντουσαν σημαντικά των παροχών της περιόδου 1969-79 της ΕΜΥΘΕΜ [15] (μέση ετήσια παροχή 0.96 m^3/s)

Ο Ιωσηφίδης [16] εκτίμησε ότι οι ποσότητες του νερού που διέρχονται από την στενωπό της Ρεντίνας για να καταλήξουν στη θάλασσα ανέρχονται σε $5x10^5$ και $3x10^6$ m^3/έτος. Σημειώνεται ότι στους περαιτέρω υπολογισμούς του ο Ιωσηφίδης [16] θεωρεί ως «λογικότερη τιμή» την τιμή αυτή των $5x10^5$ m^3/έτος χωρίς να δίνει πληροφορίες με βάση ποια κριτήρια κατέληξε στο συμπέρασμα αυτό. Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε σκόπιμο να ληφθεί η μέση τιμή των ποσοτήτων αυτών δηλαδή 0.50x(500.000+3.000.000)=1.750.000 m^3/έτος, επειδή οι δύο ανωτέρω εκτιμήσεις του Ιωσηφίδη [16] αφορούν στην αρχή και στο μέσο της στενωπού της Ρεντίνας.

3.5. Αντλήσεις νερού από τη λίμνη

Οι αντλήσεις για την ύδρευση οικισμών, όπως και για τη βιομηχανία δε λήφθηκαν υπόψη, γιατί αφενός μεν είναι αμελητέες και αφετέρου, το αντλούμενο νερό επιστρέφει κατά το μεγαλύτερο μέρος του, στη λίμνη, μέσω των συστημάτων αποχέτευσης. Οι σημαντικότερες απώλειες ύδατος της λίμνης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες οφείλονται στην άρδευση, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του αρδευτικού νερού χάνεται με την εξατμισοδιαπνοή. Ο υπολογισμός βάσει της καλλιέργειας, της απαίτησής της σε νερό και της έκτασης που καταλαμβάνει δεν είναι αντικειμενικός, καθώς οι έλληνες γεωργοί, κατά κανόνα, χρησιμοποιούν περισσότερο από το απαιτούμενο νερό για άρδευση.

Η ασφαλέστερη μέθοδος εκτίμησης του ύδατος που χρησιμοποιείται για άρδευση είναι η μέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την άντλησή του [15, 16]. Για το έτος 1994, ο Ιωσηφίδης [16] και η ΥΔΡΟΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ [15] εκτίμησαν σε 7.031.049 kWh και 8.185.923 kWh, αντίστοιχα, την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για άντληση ύδατος για αρδευτικούς σκοπούς και στη συνέχεια, υποθέτοντας ένα μέσο μανομετρικό ύψος άντλησης ίσο με 50 m (5 atm) και ένα μέσο συντελεστή απόδοσης ίσο με 50% (n=0.50) εκτίμησαν τον όγκο του αρδευτικού νερού σε 25.336.639 m^3/έτος και 29.960.478 m^3/έτος, αντίστοιχα. Ο μεγαλύτερος όγκος χρησιμοποιείται στους περαιτέρω υπολογισμούς, ως δυσμενέστερος.

3.6. Επιφανειακές εισροές στη λίμνη

Στη λεκάνη της Βόλβης δεν υπάρχουν ταυτόχρονες μετρήσεις βροχής – απορροής και για το λόγο αυτό, για τον υπολογισμό των μηνιαίων επιφανειακών εισροών στη λίμνη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του απορροϊκού συντελεστή (CN) της Soil Conservation Service (SCS) [17]. Για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες βροχοπτώσεις των πολυγώνων Thiessen. Η επιφανειακή απορροή, Q_i [mm], που προκύπτει από τις μηνιαίες βροχοπτώσεις των πολυγώνων Thiessen της λεκάνης της λίμνης Βόλβης, υπολογίζεται από τη σχέση [17]:

$$Q = \sum_{i=1}^{6} \left[\left[\left(P_i - 0.2S_i \right)^2 / \left(P_i - 0.8S_i \right) \right] \cdot \left(A_i / A \right) \right] \qquad (2)$$

όπου: P_i = η μηνιαία βροχόπτωση στο σταθμό i [mm], S_i = η μέγιστη αποθηκευτικότητα της περιοχής του πολυγώνου του σταθμού i [mm], A_i= το εμβαδό του πολυγώνου που επηρεάζει ο σταθμός i μειουμένου κατά το εμβαδό του τμήματος της επιφανείας της λίμνης, εφόσον περιλαμβάνει το πολύγωνο τέτοιο τμήμα [km^2] και A = το εμβαδό της λεκάνης της Βόλβης μειωμένο κατά το εμβαδό της επιφάνειας της λίμνης.

Η μέγιστη αποθηκευτικότητα S περιλαμβάνει και την αρχική συγκράτηση υγρασίας Ia, που θεωρείται ότι είναι ίση με Ia=0.2S. Αν υποτεθεί ότι P<0.2S, τότε θεωρείται η βροχόπτωση ότι δεν προκαλεί απορροή. Η S μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον απορροϊκό συντελεστή CN (Curve Number) με τη σχέση [17]:

$$S = 25400 / CN - 254 \Leftrightarrow CN = 25400 / (S + 254) \qquad (3)$$

Η περιοχή της λεκάνης της Βόλβης περιλαμβάνει κυρίως πηλώδη και πηλοαμμώδη εδάφη [8], οπότε αυτά κατατάσσονται στην κατηγορία Β, ενώ θεωρούνται ότι ανήκουν στη υγρασιακή κατάσταση (AMC) ΙΙ. Όλη η περιοχή της λεκάνης της Βόλβης καλύπτεται κυρίως από χαμηλά δημητριακά με καλές υδρολογικές συνθήκες και σε ευθείες γραμμές.

Για την εκτίμηση της μέγιστης αποθηκευτικότητας, S και στη συνέχεια του CN ολόκληρη η λεκάνη της Βόλβης συνολικής έκτασης 1129,04 km^2 θεωρήθηκε ότι είναι ομοιόμορφη από την άποψη της σύστασης των εδαφών, της στράγγισης αυτών, της υγρασιακής τους κατάστασης, των καλλιεργητικών συνθηκών κ.λπ. και σύμφωνα με τη μελέτη Ιωσηφίδη [16] ελήφθη μια μέση τιμή του απορροϊκού συντελεστή CN=80. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν ο όγκος απορροής και οι επιφανειακές εισροές νερού στη λίμνη. Η μέση τιμή των επιφανειακών εισροών για το χρονικό διάστημα 1970-1992 εκτιμήθηκε σε $33.39x10^6$ m^3.

3.6. Υπολογισμός υδατικού ισοζυγίου

Με την ανάλυση που προηγήθηκε και με βάση τις παραδοχές που έγιναν εκτιμήθηκαν οι διάφορες μέσες συνιστώσες του υδρολογικού ισοζυγίου της λίμνης Βόλβης για τη χρονική περίοδο 1970-1992 και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Υδατικό ισοζύγιο λίμνης Βόλβης

Αίτιο	**Όγκος νερού ($x10^6$ m^3)**
Όγκος απευθείας εισροών λόγω βροχόπτωσης	+ 33.20
Όγκος νερού που εξατμίζεται από την επιφάνεια της λίμνης	- 73.60
Όγκος επιφανειακών εισροών στη λίμνη	+ 33.39
Όγκος εκροών προς τη θάλασσα διαμέσου του Ρήχιου	- 1.75
Όγκος εισροών από το ρέμα Δερβένι	0.00
Όγκος νερού που αντλείται για αρδεύσεις	- 29.96
Άθροισμα	- 38.72

Από τους σχετικούς υπολογισμούς προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο έλλειμμα της λίμνης Βολβης ανέρχεται σε $-38.72x10^6$ m^3/έτος, γεγονός που έχει επιπτώσεις στην πτώση της στάθμης της, αλλά και στο βιοτικό της περιβάλλον. Για επιφάνεια λίμνης 72.2 km^2 προκύπτει μια μέση ετήσια πτώση της στάθμης της λίμνης ίσης με $(100x\ 38.72x10^6)/72.2x10^6$=53.62 cm/έτος.

Προκειμένου να αξιολογήσουμε το αποτέλεσμα, που προέκυψε από τους ανωτέρω σχετικούς υπολογισμούς, εξετάσαμε τα συμπεράσματα και άλλων μελετών που αφορούσαν το θέμα αυτό. Για παράδειγμα, η ΥΔΡΟΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Ε.Π.Ε [15] εκτίμησε το υδατικό ισοζύγιο της Βόλβης για την περίοδο 1971-92 σε $-28.10x10^6$ m^3/έτος, που αντιστοιχεί σε μια μέση πτώση της στάθμης της λίμνης σε 38.91 cm/έτος.

Ο Ιωσηφίδης [16] εκτίμησε το έλλειμμα της Βόλβης σε $-11.006x10^6$ m^3/έτος, που αντιστοιχεί σε μια μέση της στάθμης 15.24 cm/έτος. Σύμφωνα με μελέτη του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. [8] «το ισοζύγιο της λίμνης Βόλβης είναι έντονα αρνητικό με μια μέση τιμή της τάξης των $-35x10^6$ m^3/έτος» που αντιστοιχεί σε μια μέση πτώση της στάθμης της λίμνης 48.48 cm/έτος. Από τη μελέτη της μεταβολής της στάθμης για το χρονικό διάστημα 1989-96 [8] προέκυψε ότι κατά το διάστημα αυτό η στάθμη της λίμνης Βόλβης μειωνόταν κατά 42.0 cm/έτος. Επομένως, η μέση μείωση της στάθμης της λίμνης Βόλβης κατά 53.62 cm/έτος, που εκτιμήθηκε και με βάση τις παραδοχές που έγιναν, βρίσκεται μέσα σε λογικά πλαίσια.

4. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΟΛΒΗΣ

Συστηματικές μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων της λίμνης Βόλβης γίνονται από το Υπουργείο Γεωργίας κάθε μήνα [18]. Από τις μετρήσεις αυτές προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

α. Το pH του νερού της λίμνης Βόλβης είναι πολύ υψηλό (>8), αν και παρουσιάζει μια σταθερότητα (μέσες ετήσιες τιμές από 8.4 μέχρι 8.9). Όμως, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν περίοδοι, που οι τιμές του pH φθάνουν μέχρι και 10.5 (Μάρτιος 1996). Οι τιμές αυτές του pH είναι ενδεικτικές ενός πολύ υποβαθμισμένου οικοσυστήματος ακατάλληλου να στηρίξει μορφές ζωής, όπως είναι τα ψάρια και τα πουλιά. Αξιοσημείωτο, επίσης, είναι ότι κατά τα τελευταία έτη (1993-1997) παρατηρείται μια σταθερή αυξητική τάση των μέγιστων τιμών του pH.

β. Η αλατότητα της λίμνης παρουσιάζει αυξητικές τάσεις. Συγκεκριμένα, ενώ το έτος 1984 η μέση ετήσια τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ήταν 914.5 μmhos/cm, το 1997 έφθασε σε 1113.8 μmhos/cm δηλαδή αύξηση 1.45% κατ΄ έτος. Ας σημειωθεί ότι η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη κατά την τελευταία επταετία (1991-97), αφού ανέρχεται σε 1.60% κατ΄ έτος. Φυσικά, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού της Βόλβης απέχει πολύ ακόμη από την τιμή 6.000 μmhos/cm που είχε φθάσει το νερό της παρακείμενης λίμνης Κορώνειας το έτος 1995, ενώ βρίσκεται μέσα στο εύρος των τιμών που δίνει η Κ.Υ.Α. αυτή για κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων λόγω της ποιότητας του νερού.

γ. Παρόμοια, όμως πορεία με την ηλεκτρική αγωγιμότητα ακολουθούν και οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων Cl^-, των θειικών SO_4^{2-}και του Νατρίου Na^+.

δ. Στη λίμνη Βόλβη έχουν γίνει συστηματικές μετρήσεις αζωτούχων ενώσεων δηλαδή νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών μέχρι το έτος 1988, ενώ για τα επόμενα έτη οι μετρήσεις είναι σποραδικές. Για όλο το διάστημα 1983-1997, οι τιμές των ενώσεων αυτών βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα.

ε. Παράλληλα με τις μετρήσεις αζωτούχων ενώσεων έχουν γίνει και μετρήσεις ολικού φωσφόρου, του οποίου οι τιμές δεν δείχνουν σημαντικές διαφορές από έτος σε έτος (μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις από 0.029 ppm έως 0.134 ppm).

στ. Μελέτες σχετικά με βαρέα μέταλλα στη λίμνη Βόλβη είναι ελάχιστες σε σύγκριση με αυτές που έχουν γίνει για τη λίμνη Κορώνεια και δείχνουν χαμηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο νερό της λίμνης [19].

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όσα έχουν αναφερθεί διαπιστώνεται ότι η λίμνη Βόλβη αντιμετωπίζει προβλήματα, ποιοτικά και ποσοτικά. Τα προβλήματα αυτά δεν είναι της ίδιας οξύτητας με αυτά της λίμνης Κορώνειας, όμως, πρέπει να τύχουν της κατάλληλης προσοχής και να ληφθούν μέτρα που πολύ σύντομα θα αναδειχθούν κατά την εκπόνηση των διαχειριστικών προγραμμάτων, που προβλέπονται από την Οδηγία 2000/60 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά και το Ν.3199/2003, πριν και η λίμνη Βόλβη ακολουθήσει το δρόμο και την τύχη της λίμνης Κορώνειας. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης είναι συνεχώς αρνητικό, εδώ και πολλά χρόνια, η λίμνη τείνει να γίνει ευτροφική, υπάρχει πρόβλημα πλήρωσής της από τις στερεοπαροχές των χειμάρρων που εκβάλλουν σε αυτή, δεν υπάρχει σταθμήμετρο ή σταθμηγράφος στη λίμνη εξαρτημένος από το κρατικό υψομετρικό δίκτυο, που να παρακολουθεί τις διακυμάνσεις της στάθμης, δεν υπάρχουν μετρήσεις της κατανομής ορισμένων παραμέτρων με το βάθος, όπως είναι για παράδειγμα η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο κ.λπ., δεν έχουν γίνει σχεδόν καθόλου μετρήσεις βαρέων μετάλλων, δεν φαίνεται να έχει γίνει προσδιορισμός των φυσικοχημικών παραμέτρων της ιλύος του πυθμένα της λίμνης

(ίζημα) και δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου μετρήσεις εισροών στη λίμνη από τα υδατορεύματα της περιοχής, ενώ οι μετρήσεις του Ρήχιου ποταμού είναι ελάχιστες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

24. B.R.G.M., 1972. Étude hydrogeologique du bassin de Mydgonia pour l' alimentation en Eau de la ville de Salonique. 72 RMEO 11 FE
25. Ψιλοβίκος Α., 1977. Παλαιογραφική εξέλιξις της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά-Βόλβης). Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ.
26. Βαφειάδης, Π., 1988. Υδρογεωλογική προμελέτη της λεκάνης Βόλβης Ν. Θεσσαλονίκης. ΥΠ.ΓΕ. ΙΙ Περιφ. Δ/νση Εγγείων Βελτιώσεων. Θεσσαλονίκη
27. Mercier J., Mouyaris C., Simeakis T., Roundouyannis T. and Angelidhis C., 1979. Intra-plate deformation: a quantitative study of the faults activated by the 1978 Thessaloniki earthquakes. *Nature*. 278, 45-58
28. Βεράνης Ν. και Κατιρτζόγλου Κ., 2001. Διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του βαθύτερου υδροφορέα της υπολεκάνης Κορώνειας, Ν. Θεσσαλονίκης. Ι.Γ.Μ.Ε. Θεσσαλονίκη.
29. Karavokiris G. and Partrners, Anelixi, Agrisystems and Knight Piesold, 1998. Περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Τελική έκθεση (ελληνική μετάφραση). (2 τόμοι, Ταμείο Συνοχής, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση XVII, Περιφερειακή Πολιτική και Συνοχή).
30. Νομαρχιακή Επιχείρηση Θεσσαλονίκης (Ν.Ε.Θ.) Α.Ε., 2004. Επιχειρησιακό σχέδιο αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης. *Ερευνητικό έργο*. Θεσσαλονίκη (επιστημονικός υπεύθυνος Χρ. Τζιμόπουλος).
31. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 1996. Πρόγραμμα Αντιμετώπισης Ειδικών Περιβαλλοντικών Προβλημάτων και Συστήματος Λειτουργίας και Διαχείρισης της Προστατευμένης Περιοχής των Λιμνών Κορώνειας, Βόλβης, των Μακεδονικών Τεμπών και της ευρύτερης Περιοχής τους. Επιστ. Σύμβουλος Π. Λουκάκης. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης/Χαλκιδικής. Αθήνα.
32. Αντωνόπουλος Β., 2003. Υδραυλική Περιβάλλοντος και Ποιότητα Υδάτινων Συστημάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη
33. Αντωνόπουλος Β, Διαμαντίδης Γ. και Τσιούρης Σ., 1996. Λίμνη Βεγορίτιδα. Διαχρονική εξέλιξη των υδρολογικών και ποιοτικών παραμέτρων της. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*. 7(1): 63-78.
34. Αντωνόπουλος Β. και Γιαννιού Σ., 1999. Ισοζύγιο νερού και αλάτων στην λίμνη Κορώνεια της Βόρειας Ελλάδας. *Πρακτικά 4ου συνεδρίου ΕΕΔΥΠ. Διαχείριση Υδατικών Πόρων στις Ευαίσθητες Περιοχές του Ελλαδικού Χώρου*. Βόλος. 65-75.
35. Barbieri A. and Mosello R., 2000. Recent trends in chemistry and mass budget of a high altitude lake in the southern Alps (Laghetto Inferiore, Canton Ticino, Switzerland). *J. Limnol*. 59(2).103-112
36. Asmar B.N. and Ergenzinger P., 2002. Dynamic simulation of the Dead Sea. *Adv. Water Resour*. 25. 263-277
37. Rimmer, A., 2003. The mechanism of Lake Kinneret salinization as a linear reservoir. *J. Hydrol*. 281. 173–186
38. Αναπτυξιακή Εταιρεία Νομού Θεσσαλονίκης Α.Ε. (ΑΝ.Ε.Ν.Θ. Α.Ε.), 1995. Μελέτη υδάτων λεκάνης Μυγδονίας. 2η Φάση Τελική. Εκπόνηση ΥΔΡΟΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Ε.Ε., Θεσσαλονίκη.

39. Ιωσηφίδης Β., 2002. Διερεύνηση των επιπτώσεων εκτροπής των ρεμάτων Σχολαρίου και Λαγκαδικίων στη Λίμνη Βόλβη. Τελική Έκθεση. Νομαρχιακή Επιχείρηση Θεσσαλονίκης Α.Ε. Θεσσαλονίκη
40. Παπαμιχαήλ Δ., 2001. Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
41. ΥΠ.ΓΕ., 2001. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδάτων των ποταμών και λιμνών της χώρας. Υπουργείο Γεωργίας. Γ.Δ.Ε.Ε.Γ.Δ., Διεύθυνση Σχεδιασμού Ε.Ε., Τόμος Β. Αθήνα.
42. Υ.ΜΑ.Θ., 1999. Αποτελέσματα μετρήσεων δικτύου ελέγχου ρύπανσης επιφανειακών νερών έτους 1998. Αυτοτελές Τμήμα Προστασίας Περιβάλλοντος. Τομέας Ρύπανσης Νερών. Θεσσαλονίκη.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ Β. ΕΛΛΑΔΑΣ

Μαρία Ι. Διαμαντοπούλου[1] και Βασίλειος Ζ. Αντωνόπουλος[2]
[1] Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
[2] Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη
(e-mail: vasanton@agro.auth.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται εφαρμογή διαφόρων μεθόδων πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (ανάλυση κυρίων συνιστωσών, ιεραρχική ταξινόμηση) σε μηνιαία δεδομένα ποιότητας νερού των διασυνοριακών ποταμών της Βόρειας Ελλάδας, Αξιού και Στρυμόνα, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της ποιότητας του νερού και της οικολογικής τους κατάστασης. Τα αποτελέσματα της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης επιτρέπουν τον καθορισμό των πιθανών πηγών ρύπανσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό των δειγματοληψιών και για την αποτελεσματική διαχείριση της ρύπανσης σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60 και το Ν.3199/2003.

APPLICATION OF MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS FOR THE INTERPRETATION OF THE WATER QUALITY DATA FROM RIVERS IN NORTHERN GREECE

Maria J. Diamantopoulou[1] and Vassilis Z. Antonopoulos[2]
[1] School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University
[2] School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece
(e-mail: vasanton@agro.auth.gr)

ABSTRACT

This paper deals with the application of different multivariate statistical approaches (principal components analysis, cluster analysis) on the monthly water quality data from Axios and Strymon transboundary rivers in order to get better information of their water quality and ecological status. The results of the multivariate statistical analysis allow the identification of the possible sources that influence the water quality and offer a better understanding on the design of sampling and the effective pollution management according to the Directive 2000/60/EEC and the Greek law N.3199/2003.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συστηματική μέτρηση και καταγραφή των μεταβλητών που περιγράφουν την ποιότητα του νερού των ποταμών, είναι απαραίτητη για τη διαμόρφωση προτάσεων για τη λήψη μέτρων θεραπείας, προστασίας, διατήρησης, διαχείρισης και κύρια πρόληψης της υποβάθμισης της ποιότητας των νερών τους.
Στη χώρα μας, από το 1971, άρχισε από το Υπουργείο Γεωργίας το «Πρόγραμμα εκτέλεσης ελέγχου ποιότητας αρδευτικών υδάτων» στα μεγάλα ποτάμια της Βόρειας Ελλάδας. Έξι (6) από τους σταθμούς μετρήσεων στα ποτάμια εντάχθηκαν τα επόμενα χρόνια στις Κοινοτικές Οδηγίες 77/795, 81/856 και 86/574 «Περί ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των επιφανειακών νερών στην Κοινότητα» [1], ενώ και άλλοι φορείς, όπως το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, η ΔΕΗ, κ.α., εγκατέστησαν άλλους σταθμούς μέτρησης των ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των επιφανειακών νερών. Τα στοιχεία των μετρήσεων αυτών αποκτούν ιδιαίτερη σημασία σε διασυνοριακά ποτάμια όταν με την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης εξάγονται συμπεράσματα που σχετίζονται με τους παράγοντες που διαμορφώνουν την ποιότητα του νερού και την προέλευση της ρύπανσης.
Η μελέτη της ποιότητας των νερών των ποταμών έχει απασχολήσει εδώ και πολλά χρόνια τους επιστήμονες. Η ρύπανση του νερού των ποταμών είτε προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (γεωργική, αστική, βιομηχανική κλπ) είτε από φυσικές διαδικασίες (κλιματικές αλλαγές, διάβρωση, οξείδωση υλικών κλπ) υποβαθμίζει την ποιότητά του και περιορίζει τη χρήση του. Στη χώρα μας, η μελέτη αυτή αναφέρεται στην ανάλυση χρονικών σειρών μηνιαίων τιμών των ποιοτικών παραμέτρων, είτε με τη διερεύνηση σχέσεων μεταξύ της παροχής και των ποιοτικών παραμέτρων του νερού, είτε με την προσαρμογή κατανομών πιθανότητας και τη διερεύνηση μοντέλων συσχέτισης των ποιοτικών παραμέτρων και της παροχής, είτε με τη διερεύνηση της τάσης [2, 3, 4], είτε τέλος με την προσομοίωση των χρονοσειρών με στοχαστικά μοντέλα [5, 6].
Στην εργασία αυτή γίνεται εφαρμογή διαφόρων μεθόδων πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (ανάλυση κυρίων συνιστωσών, ιεραρχική ταξινόμηση) σε μηνιαία δεδομένα ποιότητας νερού των διασυνοριακών ποταμών της Βόρειας Ελλάδας, Αξιού και Στρυμόνα, με σκοπό τον καθορισμό των παραγόντων διαμόρφωσης των πιθανών πηγών ρύπανσης και τη χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης στο σχεδιασμό των δειγματοληψιών και στην αποτελεσματική διαχείριση της ρύπανσης. Εφαρμογή μεθόδων πολυμεταβλητής ανάλυσης σε υδάτινα ποτάμια συστήματα της Ελλάδας με σκοπό την εξαγωγή ανάλογων συμπερασμάτων έγινε και από άλλους ερευνητές [7, 8, 9].

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Με την εφαρμογή μεθόδων πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης όπως αυτές της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA) και της ιεραρχικής ταξινόμησης (HCA) [10, 11] σε δεδομένα ποιοτικών παραμέτρων είναι δυνατό να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις πιθανές επιδράσεις του περιβάλλοντος στην ποιότητα του νερού και την προέλευση της ρύπανσης. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της PCA με σκοπό να διερευνηθούν οι ομάδες των ποιοτικών παραμέτρων που εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση με τις κύριες συνιστώσες που προκύπτουν από την ανάλυση. Η PCA εφαρμόστηκε χωριστά σε δεδομένα μηνιαίων χρονικών σειρών ποιοτικών παραμέτρων του ποταμού Αξιού και του Στρυμόνα και διερευνήθηκαν οι

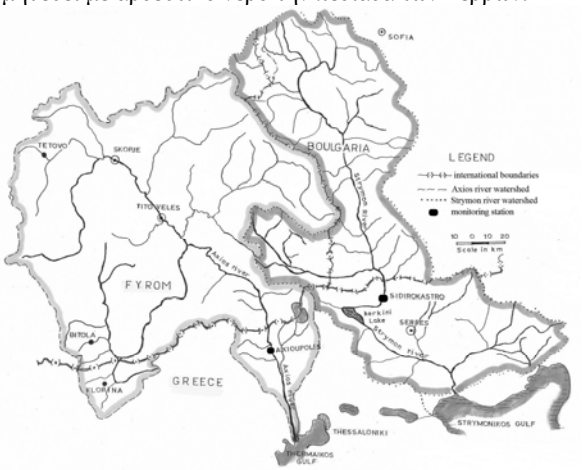
ομοιότητες και οι διαφορές των ποιοτικών παραμέτρων που συσχετίζονται έντονα με τις ασυσχέτιστες μεταξύ τους κύριες συνιστώσες. Έγινε προσπάθεια αναγνώρισης των συστημάτων των κυρίων συνιστωσών που προέκυψαν από την ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων κάθε ποταμού. Χρησιμοποιήθηκαν οι τυποποιημένες τιμές των ποιοτικών παραμέτρων ($Z_{ij} = (x_{ij} - x_{mj})/s_{ij}$, όπου x_{ij} είναι οι τιμές της μεταβλητής j, x_{mj} είναι ο μέσος όρος της μεταβλητής j και s_{ij} είναι η τυπική απόκλιση των τιμών της μεταβλητής j). Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιήθηκε με σκοπό τη μείωση της επίδρασης των μεταβλητών που εμφανίζουν μεγάλη μεταβλητότητα και αντίστοιχα την αύξηση της επίδρασης αυτών που εμφανίζουν μικρή διασπορά. Επιπλέον, οι μετασχηματισμένες τιμές μειώνουν τον επηρεασμό που προκύπτει από τις διαφορετικές μονάδες μέτρησης των ποιοτικών μεταβλητών. Η εξαγωγή των κυρίων συνιστωσών έγινε με τη χρήση της Varimax μεθόδου περιστροφής, κάνοντας χρήση της κανονικοποίησης του Kaiser [12, 13], ενώ ελήφθησαν υπόψη μόνο οι συνιστώσες εκείνες που είχαν ιδιοτιμή μεγαλύτερη από τη μονάδα [14]. Η PCA εφαρμόστηκε κάνοντας χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS [11].

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε ιεραρχική ταξινόμηση [11] σε εκείνες τις ποιοτικές παραμέτρους που έδωσαν την υψηλότερη συσχέτιση με τις κύριες συνιστώσες που προέκυψαν από την PCA, για κάθε ποτάμι χωριστά. Η βασική αρχή της ιεραρχικής ταξινόμησης είναι να διαμελιστεί ένα σύνολο δεδομένων με τις περισσότερο ομοιογενείς ομάδες και στη συνέχεια οι ομάδες αυτές να συνενώνονται διαδοχικά με την επιδίωξη του σχηματισμού μεγαλύτερων ομογενών ομάδων. Η διαδικασία συνένωσης των ομάδων σταματάει όταν όλα τα δεδομένα περιέχονται τελικά σε μια ομάδα. Ο σκοπός εφαρμογής της HCA ήταν να ομαδοποιηθούν εκείνες οι ποιοτικές μεταβλητές οι οποίες δίνουν ταυτόσημες πληροφορίες στο σύστημα έτσι ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή των ίδιων ή παρόμοιων συμπερασμάτων μετρώντας όμως λιγότερες ποιοτικές μεταβλητές. Και σ' αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε ο Z-μετασχηματισμός των τιμών των ποιοτικών παραμέτρων που έλαβαν μέρος στην ανάλυση με σκοπό να αποφευχθούν προβλήματα ταξινόμησης τα οποία οφείλονται στις διαφορετικές μονάδες μέτρησης των παραμέτρων. Χρησιμοποιήθηκε η Ευκλείδεια απόσταση (Euclidean distance), ως ένα από τα πλέον αξιόπιστα μέτρα ομοιότητας μεταξύ των μεταβλητών που ταξινομούνται εξαιτίας του γεγονότος ότι η Ευκλείδεια μετρική βασίζεται στον υπολογισμό των διαφορών μεταξύ όλων των συντεταγμένων των μεταβλητών. Για τη δημιουργία ομάδων μεταβλητών με τις μικρότερες αποστάσεις και για τη διαφοροποίησή τους από τις μεταβλητές με τις μεγαλύτερες αποστάσεις χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος του Ward's [15]. Η επιλογή του βέλτιστου αριθμού ομάδων έγινε με το κριτήριο του λόγου της ερμηνευμένης αδράνειας [15], λαμβάνοντας υπ' όψη το γεγονός της απότομης μεταβολής της τιμής της, κατά τη μετάβαση από το διαμελισμό σε κ+1 ομάδες στο διαμελισμό σε μια ομάδα λιγότερη, σημαίνοντας ότι χάνεται σημαντικό ποσοστό πληροφορίας. Άρα στο σημείο κ+1 ομάδων έχουμε τον πιο ικανοποιητικό διαμελισμό.

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (ανάλυση κυρίων συνιστωσών, ιεραρχική ταξινόμηση) έγινε σε μηνιαία δεδομένα ποιότητας νερού των διασυνοριακών ποταμών της Βόρειας Ελλάδας, Αξιού και Στρυμόνα, που προέρχονται από τους σταθμούς μέτρησης της Αξιούπολης και του Σιδηροκάστρου, αντίστοιχα (Σχήμα 1). Ο σταθμός της Αξιούπολης βρίσκεται λίγα km μετά την είσοδο

του Αξιού στην Ελλάδα και ο σταθμός του Σιδηροκάστρου βρίσκεται 18 km μετά την είσοδο του Στρυμόνα στην Ελλάδα και ανάντη της λίμνης Κερκίνης.
Ο ποταμός Αξιός (Σχήμα 1) είναι ένας διασυνοριακός ποταμός της Ελλάδας και της FYROM. Το μήκος του είναι περίπου 376 km από τα οποία τα 76 km βρίσκονται σε Ελληνικό έδαφος. Η έκταση της υδρολογικής του λεκάνης είναι περίπου 22450 km^2 από τα οποία 2300 km^2 (10%) είναι στην Ελλάδα. Ο ποταμός Αξιός αρδεύει περίπου 300000 στρέμματα στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης και το δέλτα του είναι μία από τις 11 Ελληνικές προστατευόμενες περιοχές της συνθήκης Ramsar.
Ο ποταμός Στρυμόνας (Σχήμα 1) είναι ένας άλλος διασυνοριακός ποταμός της Ελλάδας, της Βουλγαρίας και της FYROM. Το μήκος του είναι περίπου 392 km και εκβάλλει στο Αιγαίο πέλαγος. Η έκταση της υδρολογικής του λεκάνης είναι περίπου 17330 km^2 από τα οποία 6295 km^2 (36.4%) είναι στην Ελλάδα. Στον Ελλαδικό χώρο τροφοδοτεί την τεχνητή λίμνη Κερκίνη, που προστατεύεται από τη συνθήκη Ramsar. Ο ποταμός Στρυμόνας προμηθεύει με αρδευτικό νερό την πεδιάδα των Σερρών.



Σχήμα 1. Υδρολογικές λεκάνες Αξιού και Στρυμόνα και θέσεις σταθμών μέτρησης.

Τα δεδομένα των χρονοσειρών των μηνιαίων τιμών των ποιοτικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση καταγράφονται και συγκεντρώνονται από το Υπουργείο Γεωργίας [16] και αφορούν έντεκα ποιοτικές παραμέτρους των χρονικών περιόδων 1980 – 1994 και 1980 – 1990 των σταθμών της Αξιούπολης και του Σιδηροκάστρου, αντίστοιχα. Οι έντεκα ποιοτικές παράμετροι είναι τα νιτρικά (NO_3^-), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), τα θειικά (SO_4^{2+}), τα ιόντα νατρίου (Na^+), τα ιόντα μαγνησίου (Mg^{2+}), τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}), ο ολικός φώσφορος (TP), το pH, τα χλωριόντα (Cl^-) και τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-). Τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των 11 ποιοτικών παραμέτρων για τους σταθμούς μέτρησης της Αξιούπολης του ποταμού Αξιού και του Σιδηροκάστρου του ποταμού Στρυμόνα δίνονται στον Πίνακα 1.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών εφαρμόστηκε χωριστά στα δεδομένα των μηνιαίων τιμών των χρονικών σειρών των ποιοτικών παραμέτρων των ποταμών Αξιού και

Πίνακας 1. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των χρονοσειρών των μηνιαίων τιμών των ποιοτικών παραμέτρων του νερού των ποταμών του Αξιού στο σταθμό της Αξιούπολης και του Στρυμόνα στο σταθμό του Σιδηροκάστρου.

Αξιός ποταμός (χρονική περίοδος 1980-1994)						
Ποιοτικές παράμετροι	Μέγεθος δείγματος	Μέσος	Τυπικό σφ. μέσ.	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Τυπική απόκλιση
NO_3^-, mg/l	177	7,14	0,27	18,25	0,02	3,57
ECw, μS/cm	177	477,3	9,71	870,0	260,0	129,1
DO, mg/l	177	9,89	0,14	13,50	2,20	1,83
SO_4^{2-}, me/l	177	1,50	0,08	5,70	0,10	1,01
Na^+, me/l	177	0,70	0,02	3,20	0,30	0,32
Mg^{2+}, me/l	177	1,25	0,04	3,80	0,10	0,50
Ca^{2+}, me/l	177	3,30	0,07	6,00	1,80	0,92
TP, mg/l	177	0,63	0,04	4,36	0,00	0,54
pH	177	7,70	0,03	8,62	6,90	0,37
Cl^-, me/l	177	0,41	0,02	1,10	0,10	0,20
HCO_3^-, me/l	177	3,30	0,04	4,60	2,20	0,50
Στρυμόνας ποταμός (χρονική περίοδος 1980-1990)						
Ποιοτικές παράμετροι	Μέγεθος δείγματος	Μέσος	Τυπικό σφ. μέσ.	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Τυπική απόκλιση
NO_3^-, mg/l	132	5,14	0,17	10,34	1,33	1,96
ECw, μS/cm	132	377,6	6,41	600,0	180,0	73,63
DO, mg/l	132	9,64	0,14	13,44	5,50	1,65
SO_4^{2-}, me/l	132	0,95	0,04	4,70	0,10	0,50
Na^+, me/l	132	0,67	0,02	1,30	0,20	0,21
Mg^{2+}, me/l	132	0,99	0,04	3,80	0,20	0,48
Ca^{2+}, me/l	132	2,45	0,04	3,80	1,10	0,52
TP, mg/l	132	0,15	0,01	1,25	0,04	0,14
pH	132	7,75	0,03	8,50	6,90	0,36
Cl^-, me/l	132	0,24	0,01	0,60	0,10	0,11
HCO_3^-, me/l	132	2,90	0,05	4,20	1,30	0,60

Στρυμόνα. Στον Πίνακα 2, δίνονται οι ιδιοτιμές και τα ποσοστά εξηγούμενης διασποράς για τις συνιστώσες που αφορούν τα δεδομένα και των δύο παταμών. Για τα δεδομένα του ποταμού Αξιού εξάγονται τρεις κύριες συνιστώσες (PC_{A1}, PC_{A2}, και PC_{A3}), με ιδιοτιμές που κυμαίνονται από 1,003 έως 5,527 και φαίνεται πως εξηγούν το μέγιστο της μεταβλητότητας των τιμών με ποσοστό περίπου 72%, ενώ για τον ποταμό Στρυμόνα εξάγονται τέσσερις κύριες συνιστώσες ($PC_{\Sigma 1}$, $PC_{\Sigma 2}$, $PC_{\Sigma 3}$ και $PC_{\Sigma 4}$) με ιδιοτιμές που κυμαίνονται από 1,121 έως 2,405 και φαίνεται πως εξηγούν το μέγιστο της μεταβλητότητας των τιμών με ποσοστό περίπου 65%.

Όσον αφορά τα δεδομένα που προέρχονται από τον ποταμό Αξιό, η πρώτη συνιστώσα εξηγεί το 50,3%, η δεύτερη συνιστώσα το 13,0% και η τρίτη το 9,1% της ολικής μεταβλητότητας των δεδομένων. Η ερμηνεία των συνιστωσών έγινε με βάση τη συσχέτιση μεταξύ μεταβλητής και συνιστώσας. Όπως φαίνεται (Πίνακας 3) οι μεταβλητές ECw, $SO4^{2-}$, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^- και HCO_3^-, εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλή θετική συσχέτιση με τη συνιστώσα ένα, οι μεταβλητές NO_3^- και DO,

Πίνακας 2. Ιδιοτιμές και ποσοστά εξηγούμενης διασποράς για τις συνιστώσες που αφορούν τα δεδομένα του Αξιού και του Στρυμόνα ποταμού.

Ποταμός Αξιός			
Συνιστώσα	Ιδιοτιμή	Ποσοστό (%) εξηγούμενης διασποράς	
		Εκατοστιαίο	Αθροιστικό
1	**5,527**	**50,247**	**50,247**
2	**1,432**	**13,015**	**63,262**
3	**1,003**	**9,118**	**72,380**
4	0,893	8,117	80,496
⋮	⋮	⋮	⋮
11	0,007	0,065	100,00
Ποταμός Στρυμόνας			
Συνιστώσα	Ιδιοτιμή	Ποσοστό (%) εξηγούμενης διασποράς	
		Εκατοστιαίο	Αθροιστικό
1	**2,405**	**21,863**	**21,863**
2	**2,285**	**20,775**	**42,638**
3	**1,386**	**12,598**	**55,236**
4	**1,121**	**10,187**	**65,424**
5	0,933	8,483	73,907
⋮	⋮	⋮	⋮
11	0,105	0,953	100,00

εμφανίζουν υψηλή θετική συσχέτιση με τη συνιστώσα δύο, ενώ οι μεταβλητές TP και pH, εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση με την τρίτη συνιστώσα. Η PC_{A1} διαμορφώνεται από παράγοντες που είναι φυσικοχημικής προέλευσης, η PC_{A2} από παράγοντες που είναι γεωργικής προέλευσης και τέλος η PC_{A3} από παράγοντες που είναι αστικής προέλευσης.

Πίνακας 3. Συσχέτιση μεταξύ των ποιοτικών παραμέτρων του νερού και των αντίστοιχων κύριων συνιστωσών για τον Αξιό και τον Στρυμόνα ποταμό, μετά τη χρήση της μεθόδου περιστροφής μέγιστης διακύμανσης.

Ποιοτ. Παράμ.	Ποταμός Αξιός			Ποταμός Στρυμόνας			
	Συνιστώσα						
	1	2	3	1	2	3	4
NO_3^-	0,253	**0,663**	-0,434	0,053	0,219	**0,689**	-0,335
ECw	**0,958**	0,139	0,011	0,072	**0,903**	-0,038	0,093
DO	0,124	**0,868**	0,073	-0,138	0,136	**0,770**	0,095
SO_4^{2-}	**0,854**	0,095	-0,178	0,016	**0,711**	0,331	0,022
Na^+	**0,826**	0,103	0,258	-0,040	**0,858**	0,103	0,036
Mg^{2+}	**0,677**	0,107	0,018	**0,544**	-0,052	0,386	0,199
Ca^{2+}	**0,901**	0,162	-0,065	**0,820**	0,130	-0,318	-0,123
TP	0,506	-0,098	**-0,636**	0,080	0,025	0,048	**0,634**
pH	0,258	-0,105	**0,813**	-0,059	0,114	-0,117	**0,825**
Cl^-	**0,778**	0,199	0,195	**0,618**	-0,060	0,151	0,096
HCO_3^-	**0,723**	0,214	0,239	**0,914**	0,061	-0,217	-0,080

Όσον αφορά τα δεδομένα που προέρχονται από τον ποταμό Στρυμόνα, η πρώτη συνιστώσα εξηγεί το 21,9%, η δεύτερη συνιστώσα το 20,8%, η τρίτη το 12,6% και η τέταρτη το 10,2% της ολικής μεταβλητότητας των δεδομένων. Όπως φαίνεται (Πίνακας 3), οι μεταβλητές Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^- και HCO_3^-, εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλή θετική συσχέτιση με τη συνιστώσα ένα, οι μεταβλητές ECw, SO_4^{2-} και Na^+, εμφανίζουν υψηλή θετική συσχέτιση με τη συνιστώσα δύο, οι μεταβλητές NO_3^- και DO, εμφανίζουν υψηλή θετική συσχέτιση με τη συνιστώσα τρία, ενώ οι μεταβλητές TP και pH, εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση με την τέταρτη συνιστώσα. Οι ποιοτικές παράμετροι που έχουν συμμετοχή στη διαμόρφωση της $PC_{\Sigma 1}$ και της $PC_{\Sigma 2}$ είναι οι ίδιες που συμμετέχουν στη διαμόρφωση της PC_{A1} του ποταμού Αξιού και κατά παρόμοιο τρόπο. Το ίδιο συμβαίνει και για τις συνιστώσες $PC_{\Sigma 3}$ και $PC_{\Sigma 4}$ οι οποίες διαμορφώνονται από τις ίδιες ποιοτικές παραμέτρους οι οποίες διαμορφώνουν τις συνιστώσες PC_{A2} και PC_{A3} του ποταμού Αξιού, αντίστοιχα. Κατά παρόμοιο τρόπο με τον ποταμό Αξιό, για τον Στρυμόνα η $PC_{\Sigma 1}$ και η $PC_{\Sigma 2}$ διαμορφώνονται από παράγοντες που είναι φυσικοχημικής προέλευσης, η $PC_{\Sigma 3}$ από παράγοντες που είναι γεωργικής προέλευσης και τέλος η $PC_{\Sigma 4}$ από παράγοντες που είναι αστικής προέλευσης.

Στον Πίνακα 4, δίνονται τα αποτελέσματα της ιεραρχικής ταξινόμησης των ποιοτικών μεταβλητών που εμφανίζουν την υψηλότερη συσχέτιση με τις αντίστοιχες κύριες συνιστώσες για τον Αξιό και το Στρυμόνα ποταμό, αντίστοιχα. Για τον ποταμό Αξιό, με την ιεραρχική ταξινόμηση των επτά ποιοτικών μεταβλητών που διαμορφώνουν την PC_{A1} (Πίνακας 4), προέκυψαν δύο ομάδες, με το κριτήριο του λόγου της ερμηνευμένης αδράνειας που έδωσε την πιο απότομη μεταβολή για την περίπτωση του διαμελισμού των δεδομένων από δύο ομάδες σε μία.

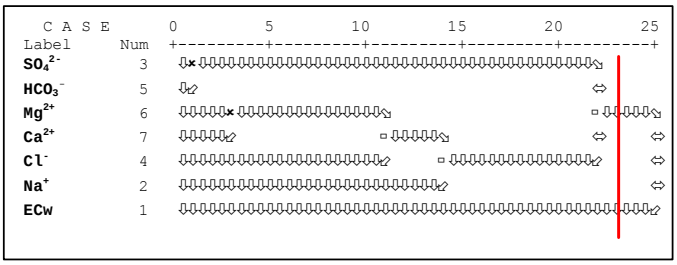
Πίνακας 4. Ιεραρχική ταξινόμηση των ποιοτικών παραμέτρων που εμφανίζουν την υψηλότερη συσχέτιση με τις αντίστοιχες κύριες συνιστώσες για τον Αξιό και τον Στρυμόνα ποταμό.

Ποιοτ. Παράμ.	Αξιός ποταμός		Στρυμόνας ποταμός			
	Ομαδοποίηση		1η Ομαδοποίηση		2η Ομαδοποίηση	
	Ομ. 1	Ομ. 2	Ομ. 1	Ομ. 2	Ομ. 1	Ομ. 2
ECw	√				√	
SO_4^{2-}		√				√
Na^+		√				√
Mg^{2+}		√	√			
Ca^{2+}		√	√			
Cl^-		√	√			
HCO_3^-		√		√		

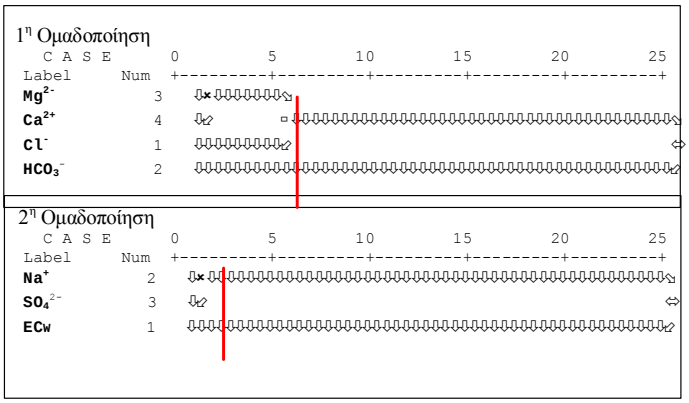
Στην πρώτη ομοιογενή ομάδα ανήκει η μεταβλητή ECw, ενώ στη δεύτερη ομοιογενή ομάδα οι μεταβλητές SO_4^{2-}, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^- και HCO_3^-. Απ' αυτές τις ποιοτικές μεταβλητές το Ca^{2+} είναι το στοιχείο που εμφανίζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την PC_{A1} (Πίνακας 3), οπότε και θεωρείται η πλέον απαραίτητη ποιοτική μεταβλητή μεταξύ των έξι, η οποία πρέπει να μετράται.

Για τον ποταμό Στρυμόνα εφαρμόστηκε ιεραρχική ταξινόμηση για τις τέσσερις (Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^- και HCO_3^-) ποιοτικές μεταβλητές που διαμορφώνουν την $PC_{\Sigma 1}$ και τις τρεις (ECw, SO_4^{2-} και Na^+) ποιοτικές μεταβλητές που διαμορφώνουν την $PC_{\Sigma 2}$, ξεχωριστά (Πίνακας 4). Οι πρώτες τέσσερις μεταβλητές ταξινομήθηκαν σε δύο ομάδες, με το κριτήριο του λόγου της ερμηνευμένης αδράνειας. Στην πρώτη ομοιογενή ομάδα

ανήκουν οι μεταβλητές Mg^{2+}, Ca^{2+} και Cl^{-}, ενώ στη δεύτερη ομοιογενή ομάδα η μεταβλητή HCO_3^{-}. Απ' τις ποιοτικές μεταβλητές της πρώτης ομάδας το Ca^{2+} είναι το στοιχείο που εμφανίζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την $PC_{\Sigma 1}$, οπότε και θεωρείται η πλέον απαραίτητη ποιοτική μεταβλητή μεταξύ των τριών, η οποία πρέπει να μετράται. Οι επόμενες τρεις μεταβλητές ταξινομήθηκαν και πάλι σε δύο ομάδες, με το ίδιο κριτήριο, αυτό του λόγου της ερμηνευμένης αδράνειας. Στην πρώτη ομοιογενή ομάδα ανήκει η μεταβλητή ECw , ενώ στη δεύτερη ομοιογενή ομάδα οι μεταβλητές SO_4^{2-} και Na^{+}. Απ' τις ποιοτικές μεταβλητές της δεύτερης ομάδας το Na^{+} είναι το στοιχείο που εμφανίζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την $PC_{\Sigma 2}$, οπότε και θεωρείται η πλέον απαραίτητη ποιοτική μεταβλητή μεταξύ των δύο, η οποία πρέπει να μετράται.
Μια γραφική απεικόνιση της ιεραρχικής ταξινόμησης που περιγράφηκε παραπάνω για τους ποταμούς Αξιό και Στρυμόνα φαίνεται στα δενδρογράμματα των Σχημάτων 2 και 3, αντίστοιχα. Η γραμμή δείχνει το βέλτιστο αριθμό των ομοιογενών ομάδων.



Σχήμα 2. Δενδρόγραμμα ποιοτικών παραμέτρων του νερού του ποταμού Αξιού.



Σχήμα 3. Δενδρογράμματα ποιοτικών παραμέτρων του νερού του ποταμού Στρυμόνα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (ανάλυση κυρίων συνιστωσών, ιεραρχική ταξινόμηση) σε μηνιαία δεδομένα ποιότητας νερού των διασυνοριακών ποταμών της Βόρειας Ελλάδας, Αξιού και Στρυμόνα δίνει αποτελέσματα που επιτρέπουν τον καθορισμό των πιθανών πηγών ρύπανσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό των δειγματοληψιών και για την αποτελεσματική

διαχείριση της ρύπανσης. Για τα μηνιαία δεδομένα των ποταμών Αξιού και Στρυμόνα βρέθηκαν τρεις και τέσσερις κύριες συνιστώσες, αντίστοιχα και εξηγούν το μέγιστο της μεταβλητότητας των τιμών με ποσοστό 72% και 65%, αντίστοιχα. Οι ποιοτικές παράμεροι που έχουν συμμετοχή στη διαμόρφωση των αντίστοιχων κύριων συνιστωσών των δύο ποταμών είναι οι ίδιες και συμμετέχουν κατά παρόμοιο τρόπο. Από την ιεραρχική ταξινόμηση προκύπτει ότι το Ca^{2+} είναι το στοιχείο που εμφανίζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την πρώτη κύρια συνιστώσα και στα δύο ποτάμια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994. Ποιότητα των Επιφανειακών Γλυκών Νερών. Κοινή Διαδικασία Ανταλλαγής Πληροφοριών, Συγκεντρωτική Έκθεση 1990-1992.
2. Αντωνόπουλος, Β., 1982. Ποιοτική κατάσταση του ποταμού Αξιού. Δελτίο Ελληνικής Επιτροπής Αρδεύσεων και Αποστραγγίσεων, Τεύχος 1-2: 37-44.
3. Μήτσιου Κ.Α., Αντωνόπουλος, Β.Ζ. και Δ.Μ. Παπαμιχαήλ, 1999. Στατιστική Διερεύνηση των Χρονοσειρών Παραμέτρων Ποιότητας του Νερού του Ποταμού Στρυμόνα. Υδροτεχνικά, 9: 59-74.
4. Antonopoulos, V.Z., Papamichail, D.M. and Mitsiou, K.A., 2001. Statistical and trend analysis of water quality and quantity data for the Strymon River in Greece. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 5: 679-691.
5. Antonopoulos, V., and Papamichail, D., 1991. Stochastic analysis of water quality parameters in streams, Tsakiris G. (ed.) Water Resources Management and Technology, Balcema, pp 369-376.
6. Papamichail, D.M., Antonopoulos, V.Z. and Georgiou, P.E., 2000. Stochastic Models for River Strymon Flow and Water Quality Parameters. Proceedings of the International Conference "Protection and Restoration of the Environment V", Thassos, Vol. I, pp. 219-226.
7. 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 & Soil Pollution, 129: 13-22.
8. Fytianos, K., Siumka, A., Zachariadis, G. A., and Beltsios, S., 2002. Assessment of the quality characteristics of Pinios River, Greece. Water, Air & Soil Pollution,136: 317-329.
9. Kotti, M. E., Vlessidis, A. G., Thanasoulias, N. C., and Evmiridis, N. P., 2005. Assessment of River Water Quality in Northwestern Greece. Water Resources Management, 19: 77-94.
10. Davis, J.C., 1984 .Statistics and Data Analysis in Geology. 2nded. Wiley, N.Y.
11. Norusis, M.J., 2000, SPSS for Windows, SPSS Inc., Chicago, Illinois.
12. Saad, M. and Turgeon, A. 1988. Application of principal components analysis to long-term reservoir management. Water Resources Research, 24 (7): 907-912.
13. Sharma, S., 1996. Applied Multivariate Techniques. Wiley, N.Y.
14. Zoski, K.W. and Jurs, S. 1996. An objective counterpoint to the visual scree test for factor analysis: the standard error scree. Educational and Psychologica Measurement, 56, 3, 443-451.
15. Massart, D. M., and Kaufman, L., 1983. The Interpretation of Analytical Data by the Use of Cluster Analysis. J. Wiley, N. Y.

16. Υπουργείο Γεωργίας, 2001. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υδάτων των ποταμών και λιμνών της χώρας. Υπουργείο Γεωργίας, Δ/νση Σχεδιασμού Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Αξιοποίησης Εδαφοϋδατικών Πόρων, Αθήνα.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΥ ΚΑΘΕΣΤΩΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Κυριακίδης Ι.Ν., Γ. Ζαλίδης, Β. Ζ. Αντωνόπουλος και Ν. Μισοπολινός
Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
E-mail. vasanton@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία μελετήθηκε το φυσικοχημικό καθεστώς επτά ποταμών της Βόρειας Ελλάδος. Εξετάστηκαν οι ποταμοί : Αλιάκμονας, Πεντάβρυσος, Αξιός, Στρυμόνας, Μαρμαράς, Νέστος και Έβρος. Οι φυσικοχημικές παράμετροι που αναλύονται στην Οδηγία 2000/60/EEC για την ποιότητα των υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι: η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), η ενεργός οξύτητα (pH), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), τα νιτρικά (NO_3) και ο ολικός φώσφορος (TP). Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της χρονικής περιόδου 1984 έως 1997. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με τις αρχές της περιγραφικής στατιστικής. Για την εκτίμηση των τάσεων χρησιμοποιήθηκε η μη παραμετρική μέθοδος εκτίμησης μονοτονικών τάσεων Seasonal Mann-Kendall. Λόγω της έλλειψης δεδομένων σε ορισμένες από τις χρονοσειρές, δεν στάθηκε δυνατό να εκτιμηθούν τάσεις, ενώ σε άλλες οι εκτιμώμενες τάσεις δεν χαρακτηρίστηκαν ως στατιστικώς σημαντικές.

STUDY OF PHYSICOCHEMICAL STATUS AND TRENDS IN THE RIVERS OF NORTHERN GREECE

Kyriakidis, I.N., G. Zalidis, V.Z.Antonopoulos and N. Misopolinos
School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki,
E-mail: vasanton@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper the physicochemical status of main rivers in northern Greece was studied. The physicochemical parameters, which selected are based on 2000/60/EEC directive of European Communities, and were: electrical conductivity (EC), pH, dissolved oxygen (DO), nitrates (NO3), and total Phosphate (TP). The data, which used are from 1984 to 1997. The analysis of data is based on the descriptive statistics. The trends of parameters are estimated on the Seasonal Mann-Kendall test.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την οδηγία 2000/60 της ΕC θεσπίστηκε το πλαίσιο για την βιολογική, την ποσοτική και ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EC, 2000). Η καλή ποιότητα των επιφανειακών καθορίζεται με βιολογικά, χημικά, μορφολογικά και υδρολογικά κριτήρια. Το φυσικοχημικό καθεστώς των επιφανειακών υδατικών συστημάτων διαμορφώνεται από τις φυσικές συνθήκες στην υδρολογική λεκάνη και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Από τη δεκαετία του 60 γίνονται καταγραφές των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών συστημάτων για την καταγραφή της ποιότητάς τους και την ανάπτυξη διαχειριστικών σχεδίων.

Η ανάλυση δεδομένων των υδατικών πόρων απασχόλησε πολλούς επιστήμονες διεθνώς και στην Ελλάδα. Αρχικά στις περισσότερες μελέτες διεθνώς είχαν χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά φυσικοχημικές παράμετροι για την εκτίμηση της κατάστασης των υδάτων (1, 6, 7, 20, 23). Αργότερα η κατανόηση των φυσικοχημικών μηχανισμών των υδάτων που επηρεάζουν τους βιολογικούς παράγοντες των υδάτων και η συσχέτιση των βιολογικών αυτών παραγόντων με την ποιοτική κατάσταση των υδάτων οδήγησε στην παρακολούθηση και ανάλυση και βιολογικών παραμέτρων στα υδάτινα σώματα (8, 9, 21). Εκτός από τις φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους πολύ σημαντικά είναι και τα φυσικά χαρακτηριστικά που έχουν σχέση με την ποσότητα του νερού (4, 11, 24, 27).

Το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (πρώην Υπουργείο Γεωργίας) συμβάλλοντας στην προσπάθειά για την αξιοποίηση και προστασία των υδάτινων πόρων της Ελλάδος κατάρτισε ένα πρόγραμμα παρακολούθησης των υδατικών συστημάτων της χώρας από το 1971 (25). Το πρόγραμμα συνεχώς εξελισσόταν με αποτέλεσμα σήμερα να υπάρχουν δεδομένα για ένα πλήθος υδάτινων συστημάτων (λιμνών, ποταμών, γεωτρήσεων κτλ) που αφορούν 28 φυσικοχημικές υδατικές παραμέτρους.

Ο σκοπός της εργασίας είναι να εκτιμηθεί η φυσικοχημική κατάσταση των υδάτων επτά ποταμών της Βορείου Ελλάδος. Για την επίτευξή του χρειάστηκε πολύπλευρη προσέγγιση που περιλαμβάνει χωρικό, διαχρονικό, και εποχιακό έλεγχο μεταβολών πέντε φυσικοχημικών παραμέτρων, καθώς και εύρεση των κατανομών κάθε παραμέτρου μεταξύ επιλεγμένων επιπέδων αναφοράς που αντικατοπτρίζουν το ποιοτικό καθεστώς των υδάτων. Επιπλέον η εκτίμηση των μακροπρόθεσμων τάσεων αποτέλεσε απαραίτητο συμπλήρωμα ώστε να αποκτηθεί σφαιρική εικόνα σχετικά με το παρελθόν και το μέλλον του καθεστώτος των υδάτων.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για να περιγραφεί και να ερμηνευτεί η συμπεριφορά των υπό μελέτη παραμέτρων. Τα δεδομένα των παραμέτρων που περιγράφουν την κατάσταση του νερού είναι υδρολογικές χρονοσειρές και αναλύονται με την εφαρμογή των μεθόδων της στατιστικής υδρολογίας (13, 22). Χρησιμοποιούνται τα εργαλεία της πιθανολογικής στατιστικής για την εκτίμηση του καθεστώτος και των τάσεων στα ύδατα. Οι τάσεις εκτιμήθηκαν με βάση την μη παραμετρική μέθοδο εκτίμησης μονοτονικών τάσεων που ανέπτυξε ο Hirsch et al. (1982) (12, 14, 15, 19).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην Οδηγία 2000/60/ΕC (παράρτημα V), ορίζεται ένα σύνολο φυσιογραφικών, φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων (11). Οι βασικές φυσικοχημικές συνθήκες που θα πρέπει να μελετούνται στα πλαίσια ενός

προγράμματος παρακολούθησης ενός υδάτινου συστήματος είναι : θερμικές συνθήκες, συνθήκες οξυγόνωσης, αλατότητα, κατάσταση οξίνισης και θρεπτικά στοιχεία.

Στην εργασία αυτή, η επιλογή των προς ανάλυση παραμέτρων (δεικτών φυσικοχημικής κατάστασης υδάτων) βασίστηκε κυρίως στο να υπάρχει συμφωνία με την Οδηγία 2000/60/ΕC για τις βασικές φυσικοχημικές συνθήκες που πρέπει να παρακολουθούνται στα υδατικά συστήματα. Οι συνθήκες αυτές αναδεικνύουν τους κινδύνους που υπάρχουν για την ανθρώπινη ζωή και τις λειτουργίες των οικοσυστημάτων, αλλά και σχετίζονται με τις υφιστάμενες χρήσεις των υδάτων και των εδαφών σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Άλλες συνιστώσες του προβλήματος που λήφθηκαν υπόψη ήταν η ύπαρξη μετρήσεων σε ικανοποιητικό βάθος χρόνου και η συνέχεια στις μετρήσεις με τα λιγότερα κενά στα δεδομένα των χρονικών σειρών. Τα δεδομένα ποιότητας καλύπτουν την χρονική περίοδο από 1984 έως 1997, διάρκειας 14 ετών και προέρχονται από το Υπουργείου Γεωργίας (25) που είναι η μόνη υπηρεσία στην Ελλάδα που έχει μακροχρόνια δεδομένα για τους υδατικούς πόρους. Η περίοδος αυτή επιλέχθηκε διότι είναι: α) σχετικά πρόσφατη, β) κοινή μεταξύ των περισσότερων σταθμών δειγματοληψίας και γ) υπάρχουν τα περισσότερα δεδομένα. Ο ποιοτικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC, μS/cm), η ενεργός οξύτητα (pH), το διαλυμένο οξυγόνο (DO, mg/L), τα νιτρικά (NO_3, mg/L) και ο ολικός φώσφορος (TP, mg/L). Οι σταθμοί δειγματοληψίας στους οποίους αναλύθηκαν τα δεδομένα των πέντε ποιοτικών παραμέτρων περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Σταθμοί δειγματοληψίας

Ποτάμι	Σταθμός	θέση (ανάντη προς κατάντη)	Ποτάμι	Σταθμός	θέση (ανάντη προς κατάντη)
Αλιάκμονας	3	Γέφυρα Γρεβενών – Κοζάνης	Στρυμόνας	1	Σιδ. γέφυρα Σιδηροκάστρου
Αλιάκμονας	1	Ανάντη γέφυρας Αμμουδάρας	Στρυμόνας	2	Γέφυρα Λυγαριάς
Αλιάκμονας	2	Μονή Ιλαρίωνα	Στρυμόνας	3	Αρδ. αντλ. Μυρκίνου
Αξιός	2	Σιδηροδρομική Γραμμή Θεσσαλονίκης – Ειδομενής	Πεντάβρυσος	3	ΑΗΣ Αγ. Δημήτριου
Αξιός	5	Γέφυρα Προχώματος – Κουφαλίων	Πεντάβρυσος	1	ΑΗΣ Καρδιάς
Αξιός	4	Γέφυρα Χαλάστρας	Πεντάβρυσος	2	Γέφυρα Πεντάβρυσου
Έβρος	1	Σιδηροδρομικός. σταθμός Δικαίων	Νέστος	3	Δέλτα
Έβρος	7	Νέα Βύσσα	Νέστος	1	Γέφυρα Παπάδων
Μαρμαράς	1	Μονόλιθος Ποδοχωρίου	Νέστος	2	Τοξότες
Μαρμαράς	2	Γέφυρα Λουτρών Ελευθέρων	Νέστος	4	Άκρο αρδ. δικτύου Ερημονησιού Καρύων

Για την περιγραφή της κατάστασης των υδάτων στους σταθμούς δειγματοληψίας χρησιμοποιούνται βασικά στατιστικά μέτρα της περιγραφικής στατιστικής (EDA), όπως η διάμεσος, καθώς και τα εργαλεία της γραφικής ανάλυσης δεδομένων (GDA), όπως τα διαγράμματα διασποράς, τα θηκογράμματα και τα διαγράμματα κατανομής συχνότητας (πίτες συχνότητας). Για το χρονικό διάστημα της μελέτης για την απεικόνιση του ποιοτικού καθεστώτος των υδάτων χρησιμοποιήθηκαν κατανομές συχνότητας των δεδομένων μεταξύ επιλεγμένων επιπέδων αναφοράς για κάθε παράμετρο (17).

Η μεταβολή του καθεστώτος ενός υδατικού συστήματος σε σχέση με το χρόνο ονομάζεται τάση (3, 5, 18). Για την εκτίμηση της τάσης τα δεδομένα (εκτός του pH)

καταρχήν μετασχηματίστηκαν με λογαριθμικό μετασχηματισμό $\log_{10}(x)$, για την επίτευξη σταθερής διασποράς. Ακολούθησε έλεγχος μονοτονίας και κατόπιν μια σειρά ελέγχων (13) που είναι απαραίτητοι πριν και κατά τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης ότι δεν υπάρχει τάση. Το επίπεδο σημαντικότητας για την εύρεση της τάσης είναι 5 %. Στην συγκεκριμένη μελέτη ως στατιστικά σημαντικές (σ.σ.) χαρακτηρίζονται οι τάσεις που βρίσκονται γι αυτό το επίπεδο σημαντικότητας και παράλληλα υπάρχει επάρκεια δεδομένων στην χρονοσειρά (17). Για όσες χρονοσειρές αναφέρονται τάσεις αλλά δεν χαρακτηρίζονται ως σ.σ οφείλεται στο γεγονός της μεγαλύτερης έλλειψης δεδομένων, το επίπεδο σημαντικότητας παραμένει όμως 5% και γι αυτές (13). Ο συντελεστής του Senn αναφέρεται στην κλίση της γραμμικής τάσης στα μετασχηματισμένα δεδομένα, ενώ στα πραγματικά δεδομένα εκφράζεται ως εκθετική τάση. Ως εποχές ορίζονται οι 12 μήνες.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Γενικά η μέση κατάσταση ως προς την EC κυμαίνεται στο σύνολο των σταθμών δειγματοληψίας των ποταμών περίπου στα 300-600 μS/cm (Σχήμα 1, Πίνακας 2). Εξαίρεση αποτελούν οι σταθμοί δειγματοληψίας του Πεντάβρυσου (σταθμός 2) και Μαρμαρά (σταθμός 2) στους οποίους η μέση κατάσταση της EC κυμαίνεται στα επίπεδα των 1100 μS/cm. Εξαιρουμένου του Μαρμαρά υψηλότερα μέσα επίπεδα EC στο σύνολο των σταθμών τους παρουσιάζουν οι ποταμοί Πεντάβρυσου και Έβρος, ενώ τα χαμηλότερα ο ποταμός Νέστος.

Χωρικά για το σύνολο σχεδόν των υδατορευμάτων από ανάντη προς κατάντη παρατηρήθηκε αύξηση της μέσης EC (βάση της διαμέσου). Η αύξηση ήταν μικρή από σταθμό σε σταθμό δειγματοληψίας (συνήθως < 50 μS/cm) και όχι αρκετή ώστε να μεταβάλλεται ουσιαστικά το ποιοτικό καθεστώς ως προς την EC. Εξαίρεση αποτελούν τα ποτάμια Πεντάβρυσος και Μαρμαράς στους οποίους παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση της EC προς κατάντη. Στον Πεντάβρυσο η διάμεσος τιμή EC στον πιο κατάντη σταθμό (σταθμός 2) ήταν μεγαλύτερες από 300 μS/cm σε σχέση με τους άλλους δύο σταθμούς, ενώ στον Μαρμαρά η αύξηση ήταν περίπου 600 μS/cm. Οι δύο αυτοί ποταμοί αποτελούν και τις μόνες περιπτώσεις όπου παρατηρήθηκε μεγάλη μεταβολή του ποιοτικού καθεστώτος ως προς την EC προς χειρότερα επίπεδα. Οι διαφοροποιήσεις αυτές δείχνουν ότι υπάρχουν τοπικά ισχυροί εξωγενείς παράγοντες. Βελτίωση από ανάντη προς κατάντη παρατηρήθηκε μόνο στον Έβρο αλλά οι θέσεις των σταθμών δειγματοληψίας δεν είναι αντιπροσωπευτικές για την γενική κατάσταση σε όλο το μήκος του.

Διαχρονικά η κατάσταση ως προς την EC παρουσίαζε υψηλότερες διάμεσες τιμές τα έτη 1990-93 (κυρίως το 1990) σε όλους τους ποταμούς με εξαίρεση τον Μαρμαρά. Η κατάσταση αυτή πιθανόν πρέπει να αποδοθεί σε κλιματικό παράγοντα αφού είναι ο μόνος εμφανής παράγων που θα μπορούσε να επηρεάσει πολλά υδατικά συστήματα με αρκετά μεγάλη γεωγραφική διασπορά

Εποχιακά οι μεταβολές της EC στα περισσότερα υδατορεύματα δείχνουν την ίδια συμπεριφορά σ' όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας τους, ενώ σε ορισμένους (Μαρμαράς, Πεντάβρυσος) υπήρχαν διαφορές στις εποχιακές μεταβολές της EC μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας. Οι εντονότερες εποχιακές μεταβολές παρατηρήθηκαν στον Πεντάβρυσο και στον Μαρμαρά. Γενικά στις εποχιακές μεταβολές διακρίνονται

δυο κύριες περίοδοι. Μικρότερες τιμές παρατηρούνται στο τέλος της άνοιξης και αυξημένες στο τέλος του καλοκαιριού και την αρχή του φθινοπώρου

Ανοδικές τάσεις εκτιμήθηκαν για τον Αλιάκμονα και τον Νέστο ενώ καθοδικές τάσεις μόνο για τον Πεντάβρυσο. Σε απόλυτα μεγέθη βάση του συντελεστή γραμμικής κλίσης του Senn οι καθοδικές τάσεις στον Πεντάβρυσο ήταν οι μεγαλύτερες από όλες τις τάσεις που έχουν εκτιμηθεί φανερώνοντας μελλοντική βελτίωση.

Πίνακας 2 Στατιστικά στοιχεία παραμέτρων

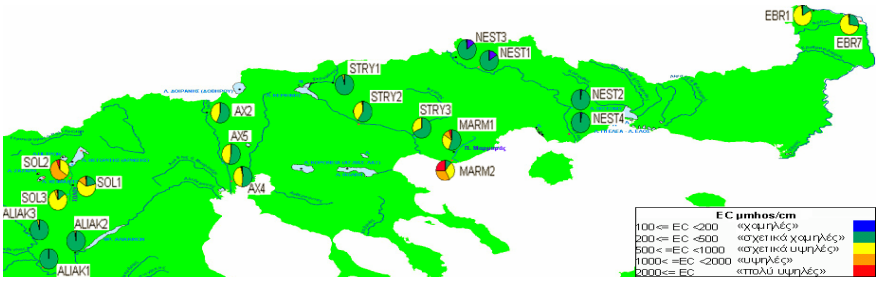
Ποτάμι	Σταθμός Δειγμ.	Διάμεσος					Κατεύθυνση - συντελεστής κλίσης** της τάσης									
		EC	pH	DO	NO_3	TP	EC		pH		DO		NO_3		TP	
							Τάση	Senn	Τάση	Senn	Τάση	Senn	Τάση	Senn	Τάση	Senn
Αλιάκμονας	3	400	7,92	11,40	2,50	0,010	↑ *	0,005	↑ *	0,045	↑	0,003	↑	0,031		
	1	405	8,09	11,40	4,25	0,036										
	2	415	7,82	10,60	1,77	0,010	↑ *	0,003	↑ *	0,037	↑	0,003	↑	0,035		
Πεντάβρυσος	3	640	8,20	10,85	7,83	0,021			↓	-0,057	↑	0,006				
	1	588	8,50	10,80	5,89	0,290	↓*	-0,012	↓*	-0,053	↑	0,006	↓	-0,104	↓	-0,055
	2	1100	7,90	9,00	90,82	0,892	↓*	-0,011	↓*	-0,124						
Αξιός	2	460	7,70	10,60	7,44	0,528			↑ *	0,016	↑	0,009	↑	0,017	↑	0,017
	5	470	7,70	10,85	7,49	0,500					↑	0,009			↑	0,022
	4	490	7,77	10,75	6,73	0,483			↑ *	0,014			↑	0,016	↑	0,024
Στρυμόνας	1	405	7,60	10,44	5,44	0,119										
	2	470	7,90	10,29	2,80	0,091			↑ *	0,034	↑	0,011	↑	0,020	↑	0,029
	3	478	7,92	10,36	6,46	0,153			↑ *	0,022	↑	0,009			↑	0,037
Μαρμαράς	1	490	7,90	11,40	3,01	0,010										
	2	1180	7,60	11,20	2,84	0,036										
Νέστος	3	300	7,40	10,50	5,02	0,111			↑ *	0,035	↑	0,004	↓	-0,023	↓	-0,035
	1	300	7,55	10,60	4,61	0,098			↑ *	0,05	↑	0,007			↓	-0,377
	2	330	7,65	11,00	3,08	0,033	↑ *	0,003	↑ *	0,025	↑	0,005			↓	-0,067
	4	310	7,80	11,10	3,17	0,042			↑ *	0,043	↑	0,006				
Έβρος	1	633	7,30	10,10	16,82	0,518										
	7	560	7,35	10,00	13,35	0,486			↓*	-0,03						

* Στατιστικά σημαντική τάση (Ισχύει για : α=0,05 & πλήρωση κριτηρίων έλλειψης δεδομένων)
* *Συντελεστής γραμμικής κλίσης του Senn (β).
↑ ανοδική τάση , ↓ καθοδική τάση , EC σε μS/cm, DO-NO_3-TP σε mg/l

3.2 Ενεργός οξύτητα pH

Τα υψηλότερα μέσα επίπεδα pH παρουσιάζει ο Πεντάβρυσος και μετά ο Αλιάκμονας. Οι τιμές του pH στους σταθμούς των άλλων ποταμών είναι για το 50 - 75 % των δεδομένων στα «ιδανικά» ποιοτικά επίπεδα μεταξύ 7 και 8. Γενικά σε κανένα υδατόρευμα δεν εκτιμήθηκε κίνδυνος υποβάθμισης των υδάτων λόγω οξίνισής τους, αφού σε κάθε περίπτωση το pH ήταν στο 99 % των δεδομένων μεγαλύτερο από 6,5 (Σχήμα 2, Πίνακας 2).

Χωρικά τις υψηλότερες τιμές pH (ακόμη και pH>10) παρουσιάζει ο Πεντάβρυσος. Από ανάντη προς κατάντη η διάμεση τιμή του pH μεταβάλλεται λίγο, ενώ η ποιοτική κατάσταση στον πιο κατάντη σταθμό είναι λίγο καλύτερη από ότι στους δυο ανάντη σταθμούς. Από τους υπόλοιπους ποταμούς γενικά τιμές pH λιγότερο αποκλίνουσες από τις άριστες (7-8) είχαν οι ποταμοί της Θράκης (Νέστος και Έβρος). Ακολουθούν Αξιός, Στρυμόνας και Μαρμαράς ενώ στον Αλιάκμονα εποχιακά και διαχρονικά ανιχνεύθηκαν υψηλές τιμές pH (λίγο μεγαλύτερο από 8,5). Στο Αξιό και τον Έβρο, το pH τους δεν μεταβάλλεται από ανάντη προς κατάντη κάτι που δεν ισχύει για τους υπόλοιπους ποταμούς. Στο Στρυμόνα, Νέστο, Έβρο και λιγότερο στον Αξιό η διάμεση τιμή του pH παρουσιάζει μικρή αύξηση από ανάντη προς κατάντη, στον Μαρμαρά μικρή μείωση ενώ στους υπόλοιπους ποταμούς σημειώνονται αυξομειώσεις.



Σχήμα 1. Επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητα στους ποταμούς της Β. Ελλάδας.

Σχήμα 2 Επίπεδα pH ανά σταθμό δειγματοληψίας

Διαχρονικά στους Αξιό, Στρυμόνα, Νέστο και Αλιάκμονα παρατηρούνται αυξομοιώσεις στις ετήσιες τιμές pH. Οι χαμηλότερες διάμεσες τιμές ήταν τα έτη 1987-’88. Την περίοδο 90-97 οι διάμεσες τιμές του pH ήταν γενικά αυξημένες σε σχέση με τα προηγούμενα έτη. Στον Έβρο αρχικά αυξημένες τιμές pH ακολουθούνται από μείωση με διάρκεια 6 ετών και κατόπιν ακολουθεί απότομη αύξηση το 1991 και ξανά 6 έτη μείωσης. Στους Πεντάβρυσο και Μαρμαρά η ανομοιομορφία των διαχρονικών μεταβολών του pH, μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας τους, ήταν μεγάλη και στους δυο.

Οι εποχιακές μεταβολές μεταξύ των ποταμών είναι εμφανείς όπως και μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας σε κάθε ποτάμι. Τις περισσότερο έντονες εποχιακές μεταβολές είχαν οι μικρότεροι (σε μήκος και όγκο νερού) ποταμοί Μαρμαράς και Πεντάβρυσο. Στο Στρυμόνα η παρέμβαση της Κερκίνης επηρεάζει το pH καθώς μειώνεται η παροχή του ποταμού κάποιους μήνες το χρόνο.

Ανοδικές τάσεις εκτιμήθηκαν για τους σταθμούς των ποταμών Αλιάκμονα, Αξιό, Στρυμόνα και Νέστο. Καθοδικές τάσεις εκτιμήθηκαν για τους σταθμούς δειγματοληψίας των ποταμών Πεντάβρυσος και Έβρος. Συγκριτικά οι ισχυρότερες ανοδικές τάσεις εκτιμήθηκαν για τον Νέστο χωρίς βέβαια να προκύπτει ιδιαίτερος λόγος ανησυχίας δεδομένου ότι οι τιμές του pH για το σύνολο του χρόνου διατηρούνται σε φάσμα "ιδανικών" τιμών. Στον Πεντάβρυσο οι καθοδικές τάσεις δείχνουν βελτίωση της ποιότητας αλλά οι τιμές παραμένουν σε επίπεδα άνω του 8,5.

3.3 Διαλυμένο οξυγόνο DO

Γενικά οι διάμεσες τιμές του διαλυμένου οξυγόνου ήταν υψηλές (DO>10 mg/l) σε όλους τους σταθμούς των ποταμών (Σχήμα 3, Πίνακας 2). Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είχαν ο Αλιάκμονας και ο Μαρμαράς. Περιστασιακά πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (<4 mg/l) παρουσιάστηκαν στους Πεντάβρυσο και Έβρο.

Χωρικά, σε Έβρο, Μαρμαρά και Πεντάβρυσο σημειώνονται μικρές μειώσεις της διάμεσης τιμής τους DO από ανάντη προς κατάντη. Στο Νέστο η διάμεση τιμή του DO αυξάνει από ανάντη προς κατάντη, ενώ στους υπόλοιπους ποταμούς εμφανίζονται αυξομειώσεις. Σε κάθε περίπτωση η διάμεση συγκέντρωση διατηρείται σε επίπεδα άνω των 9 mg/l, ενώ για το σύνολο του χρονικού διαστήματος οι συγκεντρώσεις DO είναι πάνω από 8 mg/L στο 75 % των δεδομένων κάθε σταθμού. Παράλληλα οι διαφορές του εύρους των συγκεντρώσεων του DO μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας κάθε ποταμού δεν ήταν αρκετά μεγάλες ώστε να μεταβληθεί ουσιαστικά το ποιοτικό καθεστώς ως προς το DO κατά μήκος των ποταμών.

Διαχρονικά εκτός του πιο κατάντη σταθμού του Πεντάβρυσου, σε όλους τους άλλους σταθμούς κάθε ποταμού οι μεταβολές της διάμεσης συγκέντρωσης DO, όσο και του εύρους των συγκεντρώσεων από έτος σε έτος ήταν παρόμοιες, αντικατοπτρίζοντας την ομοιομορφία που υπήρχε στην συγκέντρωση του DO κατά μήκος των ποταμών.

Εποχιακά παρατηρείται μείωση της διάμεση τιμής DO κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και τις αρχές του φθινοπώρου. Τις μεγαλύτερες εποχιακές διακυμάνσεις της διάμεσης συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου είχε ο Στρυμόνας, με μείωση της τάξης ακόμη και των 3 mg/l και κατόπιν ο Αλιάκμονας με μείωση της τάξης ως και 2,5 mg/l. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί ο Πεντάβρυσος, στον κατάντη σταθμό του οποίου η εποχιακή μείωση της διάμεσης συγκέντρωσης DO φτάνει και τα επίπεδα των 6 mg/l.

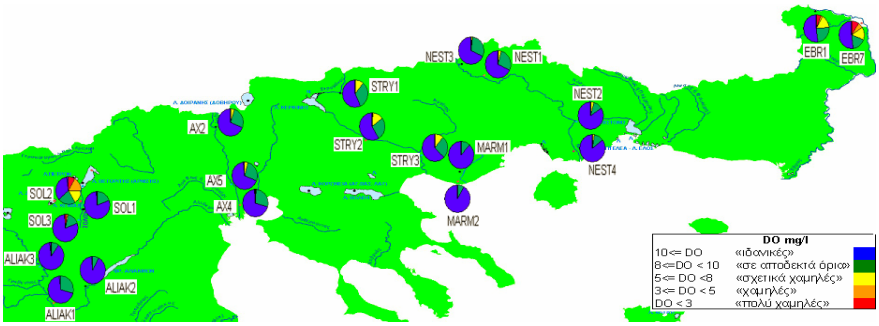
Ανοδικές τάσεις ανιχνεύθηκαν μόνο στους σταθμούς των ποταμών Αλιάκμονα, Πεντάβρυσο, Αξιό και Νέστο. Συγκριτικά οι μεγαλύτερες ανοδικές τάσεις (βάση του συντελεστή του Senn) εκτιμήθηκαν στον Στρυμόνα και τον Αξιό. Το γεγονός ότι στα ποτάμια αυτά η τάση είναι ανοδική αντικατοπτρίζει ότι μελλοντικά δεν αναμένεται υπό φυσιολογικές συνθήκες κίνδυνος υποβάθμισης των υδάτων λόγω χαμηλών συγκεντρώσεων σε διαλυμένο οξυγόνο. Το γεγονός ότι οι τάσεις που εκτιμήθηκαν δεν αναφέρονται ως στατιστικώς σημαντικές οφείλεται σε ελλείψεις δεδομένων κυρίως τα δύο τελευταία έτη (1996-1997).

3.4 Συγκέντρωση Νιτρικών NO_3

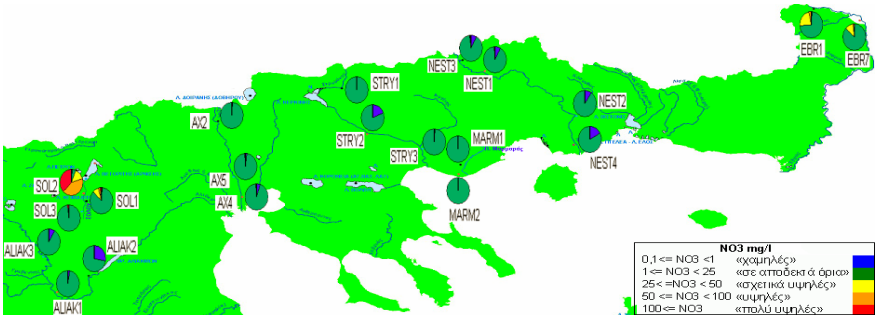
Γενικά τα μέσα επίπεδα νιτρικών κυμαίνονταν στους περισσότερους σταθμούς δειγματοληψίας μεταξύ 1 και 10 mg/l (Σχήμα 4, Πίνακας 2). Στους ποταμούς της Ευρώπης κυμαίνονται από 0,4 έως 4 mg/l (10). Περιστασιακά οι συγκεντρώσεις σε αρκετούς σταθμούς δειγματοληψίας ξεπερνούν αρκετά τα 10 mg/l. Υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών εμφάνισε ο Έβρος, ο Πεντάβρυσος και ο Αξιός. Ειδικά στο

Πεντάβρυσο στον πιο κατάντη σταθμό τα νιτρικά ξεπερνούν τα 100 mg/l στο 50 % των δεδομένων.

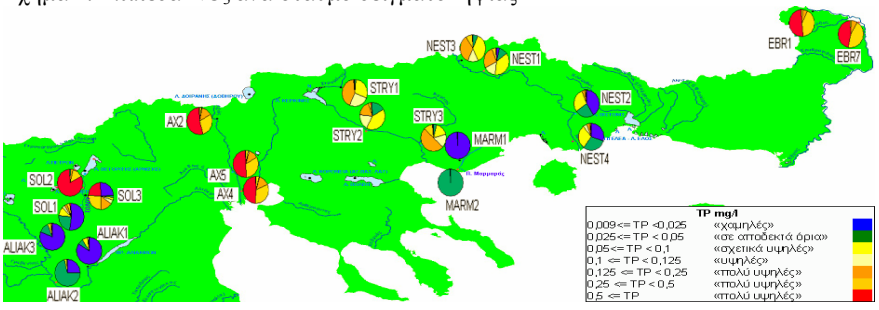
Χωρικά στους ποταμούς Αξιό, Νέστο και Έβρο οι διάμεσες συγκεντρώσεις παρουσίαζαν μείωση που ήταν λιγότερο από 1 mg/l στον Αξιό, 2 mg/l σε Νέστο και 3 mg/l στον Έβρο. Στους υπόλοιπους ποταμούς υπήρξαν αυξομειώσεις μέχρι τα 3 mg/l. Στο Πεντάβρυσο η διάμεση συγκέντρωση παρουσίαζε σταθερά αύξηση από ανάντη προς κατάντη φτάνοντας τα 90 mg/l. Στα περισσότερα ποτάμια υπήρξε και μεταβολή του ποιοτικού καθεστώτος ως προς τα νιτρικά.



Σχήμα 3. Επίπεδα DO ανά σταθμό δειγματοληψίας



Σχήμα 4. Επίπεδα NO_3 ανά σταθμό δειγματοληψίας



Σχήμα 5. Επίπεδα TP ανά σταθμό δειγματοληψίας

Στον Αλιάκμονα τα νιτρικά παρουσιάζουν αυξομειώσεις μέσα στην περίοδο μελέτης. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν στον ανάντη σταθμό 3 το έτος 1997 (μέχρι και 20 mg/l). Στον Πεντάβρυσο οι μεταβολές της συγκέντρωσης των νιτρικών διαφέρουν μεταξύ των σταθμών του. Στον Αξιό οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάστηκαν γενικά τα έτη 1986, 1990 και 1997, στον Στρυμόνα το 1988 και 1997 και στον Έβρο το 1991.

Εποχιακά στον Αλιάκμονα από το τέλος της άνοιξης μέχρι αρχές φθινοπώρου οι διάμεσες τιμές νιτρικών είναι οι μικρότερες. Στον Αξιό, Στρυμόνα και Νέστο οι συγκεντρώσεις νιτρικών ήταν μειωμένες την ίδια περίοδο του έτους και αυξημένες το χειμώνα.

Εξαιρώντας τους Έβρο και Μαρμαρά στους υπόλοιπους ποταμούς εκτιμήθηκαν τάσεις σε τουλάχιστο ένα σταθμό δειγματοληψίας τους. Σε Αλιάκμονα, Αξιό και Στρυμόνα η τάση ήταν αυξητική, ενώ στον Πεντάβρυσο και Νέστο ήταν καθοδική. Ποσοτικά η μεγαλύτερες ανοδικές τάσεις εκτιμήθηκαν για τον Αλιάκμονα ενώ οι μικρότερες για τον Αξιό, υποδεικνύοντας ότι οι ρυθμοί αύξησης των συγκεντρώσεων των νιτρικών ήταν μεγαλύτεροι στον Αξιό σε σχέση με τα υπόλοιπα υδατορεύματα. Στο Στρυμόνα, Αξιό και Αλιάκμονα η τάση που βρέθηκε δεν χαρακτηρίστηκε ως στατιστικώς σημαντική εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων για 2 συνεχόμενα έτη (1995-1996). Σύμφωνα όμως με τους Helsel και Hirsch (1992) θα μπορούσε η τάση να θεωρηθεί ως στατιστικώς σημαντική. Στο Πεντάβρυσο υπάρχουν σημαντικές ελλείψεις δεδομένων μετά το 1989. Στο Νέστο υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός δεδομένων μέχρι και το 1994. Σε αμφότερες τις δυο τελευταίες περιπτώσεις αρκετοί κανόνες της θεωρίας ανάλυσης τάσεων παρακάμφθηκαν οπότε οι ευρισκόμενες τάσεις μπορεί να απορριφθούν.

3.5 Ολικός φώσφορος TP

Γενικά τις μεγαλύτερες διάμεσες συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου, της τάξης των 0,5 mg/l TP, είχαν κατά μήκος τους οι ποταμοί Αξιός και Έβρος (Σχήμα 5, Πίνακας 2). Ακολουθεί ο Στρυμόνας με διάμεσες τιμές συγκέντρωσης κατά μήκος του της τάξης των 0,1 mg/l TP. Μικρότερες τιμές παρουσιάζει ο Αλιάκμονας της τάξης των 0,01 mg/l TP. Στους ποταμούς της Ευρώπης η μέση συγκέντρωση είναι στα 10 μg/l (10).

Χωρικά από ανάντη προς κατάντη η διάμεση τιμή συγκέντρωσης TP εμφανίζει αυξομειώσεις κατά μήκος στους ποταμούς Αλιάκμονα, Στρυμόνα. Στον Πεντάβρυσο αυξάνει από ανάντη προς κατάντη (0,269 mg/l TP από τον $1^{ο}$ στο $2^{ο}$ και 0,602 mg/l TP από τον $2^{ο}$ στον $3^{ο}$). Στους Αξιό, Νέστο και Έβρο η διάμεση συγκέντρωση TP μειώνεται από ανάντη προς κατάντη (μείωση της τάξης 0,02 - 0,05 mg/l TP).

Διαχρονικά στον Αλιάκμονα μία φορά τουλάχιστον σχεδόν κάθε έτος οι συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου ήταν υψηλότερες από 0,05 mg/l TP. Ακραίες τιμές σημειώθηκαν στον Πεντάβρυσο (50 και 200mg/l TP σε σχέση με τις συνήθεις τιμές γύρω στα 3 mg/l).

Εποχιακά οι μεταβολές του ολικού φωσφόρου παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των ποταμών και τις εντονότερες μεταβολές είχαν οι Πεντάβρυσος και Έβρος. Στον Αλιάκμονα οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις της διάμεσης συγκέντρωσης του TP καταγράφονται στο δεύτερο σταθμό με τις υψηλότερες τιμές από το καλοκαίρι μέχρι και το φθινόπωρο. Στον Πεντάβρυσο οι μεγαλύτερες εποχιακές διακυμάνσεις υπάρχουν στον κατάντη σταθμό. Στον Αξιό, Στρυμόνα και Νέστο παρατηρούνται εποχιακές διακυμάνσεις αλλού μεγαλύτερες και αλλού μικρότερες ανάλογα με τη θέση του

σταθμού και τις χρήσεις γης ανάντη. Στον Έβρο οι υψηλότερες διάμεσες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν το φθινόπωρο και οι χαμηλότερες την άνοιξη.

Όσο αφορά τις τάσεις στον Αξιό γενικά η τάση είναι ανοδική και στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας του, επίσης το ίδιο ισχύει και στο Στρυμόνα στους κατάντη σταθμούς. Το αντίθετο ισχύει στο Νέστο για τον οποίο εκτιμήθηκαν καθοδικές τάσεις, όπως και στον ανάντη σταθμό του Πεντάβρυσου. Αν και όλες οι τάσεις εκτιμήθηκαν για επίπεδο σημαντικότητας 5 % ωστόσο οι σοβαρές ελλείψεις δεδομένων σε ορισμένους σταθμούς του Πεντάβρυσου και Νέστου θέτουν υπό αμφισβήτηση τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε αυτούς τους σταθμούς. Τα αποτελέσματα στους υπόλοιπους σταθμούς δειγματοληψίας μπορεί να γίνουν αποδεκτά με βάση τους Helsel and Hirsch (1992) καθώς λείπουν τα δεδομένα μόνο των 2 τελευταίων ετών, ενώ κατά τα άλλα ο όγκος των δεδομένων είναι ικανοποιητικός.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά, τα επίπεδα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ενεργού οξύτητας και διαλυμένου οξυγόνου στους περισσότερους σταθμούς δειγματοληψίας ήταν τέτοια ώστε τα ύδατα να υποστηρίζουν πλήθος χρήσεων (2, 26, 28). Ανάλογα με τον ποταμό τα υψηλά επίπεδα κυρίως ολικού φωσφόρου αλλά και τα αυξημένα επίπεδα νιτρικών ήταν αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων ή παραγόντων εκτός Ελληνικών συνόρων. Ως προς την ενεργό οξύτητα η μικρή ρυθμιστική ικανότητα των υδάτων των ποταμών είχε ως αποτέλεσμα εξωτερικοί τοπικοί παράγοντες όπως κλίμα, παροχή, ανθρώπινες επεμβάσεις και κυρίως γεωλογία να επηρεάζουν τη τιμή της να την διαφοροποίησή της μεταξύ των σταθμών ενός ποταμού ακόμη και για την ίδια εποχή. Ως προς το DO φάνηκε ότι μόνο ισχυροί παράγοντες ήταν σε θέση να μεταβάλλουν την συγκέντρωσή του όπως πχ στον Πεντάβρυσο στην κατάντη θέση. Οι ανοδικές τάσεις που εκτιμήθηκαν για τα ύδατα είναι σίγουρα ανησυχητικές ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με ήδη αυξημένα επίπεδα παραμέτρων. Εξαίρεση αποτελεί η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου για την οποία τόσο τα αυξημένα επίπεδα όσο και οι ανοδικές τάσεις είναι ένδειξη «καλής» ποιότητας.

Στους σταθμούς του Αλιάκμονα μόνο σ' αυτόν που βρίσκεται κατάντη των εισροών της πόλης των Γρεβενών παρατηρείται κάποιου βαθμού υποβάθμιση της ποιότητας. Τα «καλύτερα» επίπεδα DO, TP και NO_3 και EC ανάντη και κατάντη του σταθμού αυτού φανερώνουν ότι στην συγκεκριμένη θέση το νερό επηρεάζονταν προφανώς από τα λύματα της πόλης των Γρεβενών. Γενικά τα ύδατα του ποταμού δεν είχαν υποστεί κάποιου είδους σοβαρής υποβάθμισης και ήταν ικανά να υποστηρίξουν πλήθος χρήσεων (άρδευση, ύδρευση, κτλ).

Ο Πεντάβρυσος είναι το υδατόρευμα με την υψηλότερη επιβάρυνση. Τα επίπεδα των παραμέτρων αυξάνουν από ανάντη προς κατάντη. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βιομηχανία, γεωργία και η πόλη της Πτολεμαϊδας) επιβαρύνουν σημαντικά το ποτάμι και την λίμνη Βεγορίτιδα που είναι ο τελικός αποδέκτης.

Στον Αξιό γενικά τα επίπεδα των παραμέτρων δείχνουν ότι τα νερά του είναι ικανά να υποστηρίξουν πλήθος χρήσεων. Τα χαμηλά επίπεδα αλατότητας ευνοούσαν την χρήση των υδάτων του για γεωργικούς σκοπούς. Για τις ευαίσθητες καλλιέργειες οι περιοδικά υψηλότερες των 700 μS/cm τιμές της EC δεν αποτελούσαν πρόβλημα καθώς η συχνότητα εμφάνισης είναι πολύ μικρή. Οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και πολύ υψηλές φωσφορικών παραμένουν σταθερές κατά μήκος του ποταμού. Γενικά

η ποιοτική υποβάθμιση οφείλεται στην γείτονα χώρα, ενώ η εγχώρια επιβάρυνση είναι ελάχιστη. Σ' αυτό σίγουρα συμβάλει η μη ύπαρξη κάποιου μεγάλου αστικού κέντρου στην λεκάνη απορροής του ποταμού.

Ο Στρυμόνας παρουσιάζει ικανοποιητική εικόνα σχεδόν για το σύνολο των παραμέτρων. Εξαίρεση αποτελούν τα αυξημένα επίπεδα ολικού φωσφόρου τα οποία μειώνονταν αρχικά από ανάντη προς κατάντη με την μεσολάβηση της λίμνης Κερκίνης. Μικρή αύξηση παρατηρείται μετά την συμβολή του παραπόταμου Αγγίτη και των στραγγιστικών τάφρων. Το ίδιο παρατηρείται και για τα νιτρικά. Η μικρή αύξηση της ΕC προς τα κατάντη φανερώνει την επίδραση της γεωργίας που είναι εντατική στην λεκάνη απορροής του ποταμού. Η ποιότητα του νερού του Στρυμόνα μπορεί να υποστηρίξει πλήθος χρήσεων, ενώ προσοχή χρειάζονταν τα επίπεδα του ολικού φωσφόρου.

Στον Μαρμαρά για τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών δεν υπάρχει ικανοποιητικός όγκος δεδομένων για την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Μόνο τα επίπεδα της ΕC είναι πολύ αυξημένα κυρίως στον κατάντη σταθμό, γεγονός που αποδίδεται σε συμπύκνωση των αλάτων λόγω μείωσης της παροχής κατά τους θερινούς κυρίως μήνες και κυρίως σε διείσδυση του θαλασσινού νερού στον ποταμό. Τέλος οι χρήσεις των υδάτων περιορίζονταν κυρίως λόγω μειωμένης παροχής.

Στο Νέστο τα αυξανόμενα επίπεδα της ΕC και του pH προς τα κατάντη οφείλονταν στις διαχειριστικές πρακτικές (έντονη γεωργική χρήση γης) των εδαφών της λεκάνης αποστράγγισης του ποταμού. Τα επίπεδα νιτρικών, ολικού φωσφόρου και διαλυμένου οξυγόνου μειώνονταν προς κατάντη φανερώνοντας αφενός ότι κυρίως η ρύπανση του ποταμού ήταν προϊόν γειτονικών χωρών και αφετέρου ότι η απουσία μεγάλων αστικών κέντρων και βιομηχανιών στην περιοχή αποστράγγισης επιδρά ευεργετικά στο καθεστώς των υδάτων του ποταμού. Γενικά το νερό του ποταμού και ιδιαίτερα στα κατάντη του ποταμού προσφέρεται για όλες τις χρήσεις.

Στον Έβρο, οι σταθμοί βρίσκονται όλοι συγκεντρωμένοι σε μικρή έκταση και έτσι δεν υπάρχει δυνατότητα συζήτησης για όλο το μήκος του ποταμού. Οι υψηλές συγκεντρώσεις φωσφορικών και τα αυξημένα επίπεδα νιτρικών φανερώνουν σημαντική ρύπανση των νερών από τη Βουλγαρία. Οι γεωργικές πρακτικές έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της ΕC προς κατάντη αλλά και μείωση των θρεπτικών στοιχείων. Η ενεργός οξύτητα και το διαλυμένου οξυγόνου παρουσιάζουν σχετική σταθερότητα και ικανοποιητικές τιμές. Περιστασιακά υπάρχουν προβλήματα χαμηλών τιμών διαλυμένου οξυγόνου (< 4mg/l) με θανάτους ψαριών. Η ποιότητα του νερού του ποταμού προσφέρεται για πλήθος χρήσεων (άρδευση, αλιεία κτλ), όμως παρόλα αυτά συγκέντρωση DO και TP σίγουρα έχριζαν προσοχής και βελτίωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνόπουλος Β. 1982. Ποιοτική κατάσταση ποταμού Αξιού, Δελτίο Ελληνικής Επιτροπής Αρδεύσεων και Αποστραγγίσεων, τεύχος 1-2: 37-44.
2. Αντωνόπουλος Β. Ζ., 2003. Υδραυλική Περιβάλλοντος και Ποιότητα Επιφανειακών Υδάτων, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σελ 520..
3. Antonopoulos V.Z. and D.M. Papamichail, 2002. Trend analysis of water quality parameters for two transboundary rivers in northern Greece. Proceedings of the International Conference "Protection and restoration of the environment VI" Skiathos, Pages 83-90.
4. Antonopoulos V.Z. and D.M. Papamichail, 1991. Stochastic analysis of water quality parameters in streams. Tsakiris G. (ed.) Water Resources Management and Technology, Balcema, pp 369-376.

5. Antonopoulos V.Z. D.M. Papamichail and K.A. Mitsiou, 2001. Statistical and trend analysis of water quality and quantity data for the Strymon River in Greece. Hydrology and Earth System Sciences, 5(4), 679-691.
6. Αργυρόπουλος Δ.Σ. και Ι.Γ. Γκανούλης, 1993. Ανάλυση Συσχέτισης Παραμέτρων Ποιότητας Νερών του Αξιού Ποταμού. Τεχνικά Χρονικά Α., Τομ. 13, Τεύχος 4 : 1-37.
7. Carbonnel, J.P. , and M. Maybeck, 1975. Quality variations of the Mekong river at Phnom Penh, Cambodia, and chemical transport in the Mekong Basin. J. of Hydrology, 27:249-265.
8. Chesapeake Bay Program,1996. Scientific & Technical Advisory Committee (STAC). Integrated Analysis of Chesapeake Bay Monitoring Data. STAC Publication 97-2. 21-22 November, 1996 Solomons Maryland.
9. E.E.A., 1995. European Rivers and Lakes, Assessment of their Environmental State. Prepared by Danish Ministry of Environment and Energy. Peter Kristensen and Hans Ole Hansen (eds). ISBN: 87-90198-01-8.
10. E.E.A, 2003. Europe's Water: An Indicator – based assessment, European Environment Agency, Topic report 1/2003, Luxembourg, 97 pp.
11. E.C., 2000. Directive 2000/60/EEC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L 327/1.
12. Van Belle G. and J. P. Hughes, 1984. Nonparametric Tests for Trend in Water Quality. Water Resources Research, 20 (1): 127-136.
13. Helsel, D.R. and R.M. Hirsch, 1992. Statistical Methods in Water Resources. Elsevier Science Publishers B.V., The Netherlands..
14. Hirsch R. M. and J. R. Slack, 1984. A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence. Water Resources Research, 20(6): 727-732.
15. Hirsch R. M. , J. R. Slack, and R. A. Smith, 1982. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. Water Resources Research, 18(1): 107-121.
16. Hirsch R. M. , R. B. Alexander and R. A. Smith, 1991. Selection of Methods for the Detection and Estimation of Trends in Water Quality. Water Resources Research, 27(5): 803-813.
17. Κυριακίδης Ι.Ν., 2004. Εκτίμηση της φυσικοχημικής κατάστασης και των μακροπρόθεσμων τάσεων μεταβολής του καθεστώτος των υδάτινων επιφανειακών συστημάτων της Ελλάδας με ανάλυση δεδομένων του Υπουργείου Γεωργίας. Μεταπτυχιακή διατριβή ,Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
18. Lettenmaier D.P. , E.R. Hooper, C. Wagoner, and K.B. Faris, 1991. Trends in stream quality in the Continental United States, 1978-1987. Water Resources Research, 27 (3): 327-339.
19. Mayer A. and J. Park, 2002. Multivariate non-parametric tests of trend when the data are incomplete. Elsevier. Statistics and Probability Letters 57: 281-290.
20. Meybeck M., D. V. Chapman, and R. Helmer, 1990. Global Freshwater Quality – A First Assessment. WHO and UNEP, B. Blackwell, Ltd., U.K.
21. Ogle K. M. , D. A. Peterson, B. Spillman, and R. Padilla, 1998. Water Quality of Rob Roy Reservoir and Lake Owen, Albany County, and Granity Springs and Crystal Lake Reservoirs, Laranie County, Wyoming, 1997-98. Water Resources Investigations Report 99-4220.
22. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ, 1991. Στατιστική Υδρολογία. Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη, 1991. σελ. 105
23. Skoulikidis, N.T., I. Bertahas and T. Koussouris, 1998. The environmental state of freshwater resources in Greece (rivers and lakes), Environmental Geology, 36(1-2):1-17.
24. Trommer J.T. , M.J. DelCharco, and B.R. Lewelling, 1999.. Water Budget and Water Quality of Ward Lake, Flow and Water-Quality Characteristics of the Braden River Wstuary, and the Effects of Ward Lake on the Hydrologic System, West-Central Florida.U.S. Geological Survey. Water Resources Investigations Report 98-4251.
25. Υπουργείο Γεωργίας, 2001. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού των ποταμών και των λιμνών της Ελλάδας, Υπουργείο Γεωργίας, Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Εργων και Διαχείρισης Υδατικών και Εδαφικών Πόρων, τόμος Β, Αθήνα.
26. WHO. Guidelines for Drinking Water Quality, 1984. Vol. 1. Recommendations. Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information. World Health Organization, Geneva.

27. Zalidis G, 1992. The National Waterlands Inventory for Greece Prospects and Progress. Pp 178-184. In M. Mozer, R.C. Drentice and J. Van Vessen (eds). Waterflow and Waterland Conservation in the 1990's. A global prospective. St. Peterbourg Beach, Florida, U.S.A., Novenber 12-19, 1992.IWRB Special Publication No 26.
28. Ζαλίδης Χ.Γ. & Α.Λ. Μαντζαβέλας, 1994.Απογραφή των Ελληνικών Υγροτόπων ως Φυσικών Πόρων. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.), Thessaloniki.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΙΑΙΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ ΜΙΑΣ ΡΑΓΔΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Π.Ε. Γεωργίου*, Δ.Μ. Παπαμιχαήλ και Δ.Ν. Καραμούζης
Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων
Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, * e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή για την εκτίμηση του πλημμυρογραφήματος της ραγδαίας βροχόπτωσης της 23-25 Δεκεμβρίου 2003, σε μια προτεινόμενη θέση φράγματος στο χείμαρρο Πετρένια Χαλκιδικής χρησιμοποιήθηκαν τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα της Sierra Nevada και της SCS. Η εκτίμηση του πλημμυρογραφήματος έγινε με τη χρησιμοποίηση της απορροϊκής βροχής (effective rainfall) της ραγδαίας βροχόπτωσης, που εκτιμήθηκε με τη βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή (curve number). Με τη βοήθεια της υδραυλικά υπολογισθείσας πλημμυρικής αιχμής της ραγδαίας βροχόπτωσης και των εκτιμήσεων του πλημμυρογραφήματος έγινε συγκριτική ανάλυση των δύο Συνθετικών Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPHS BY USING THE CALCULATED PEAK FLOW OF AN EXTREME RAINFALL

P.E. Georgiou, D.M. Papamichail and D.N. Karamouzis
Laboratory of General and Agricultural Hydraulics and Land Reclamation
Faculty of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

In this paper, for the estimation of flood hydrographs of the 23-25 December 2003 extreme rainfall for a suggested dam location on the Petrenias stream in Halkidiki, the Sierra Nevada and SCS Synthetic Unit Hydrographs were used. Flood hydrographs for this location were estimated by using the 23-25 December 2003 effective rainfall, as estimated using the Curve Number procedure. Based on the calculated peak flow of the extreme rainfall and the estimated flood hydrographs it was done the comparative analysis of the two synthetic unit hydrographs procedures.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πιο σημαντικό στοιχείο ενός υδρογραφήματος πλημμύρας, που είναι βασικό στις υδρολογικές μελέτες αλλά και στις μελέτες υδραυλικών κατασκευών αντιπλημμυρικής προστασίας είναι η εκτίμηση του μεγέθους της αιχμής του. Η εκτίμηση γίνεται είτε με τη βοήθεια μοντέλων βροχής-απορροής είτε με τη βοήθεια συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων [1,2,3]. Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η εκτίμηση και η συγκριτική αξιολόγηση των υδρογραφημάτων πλημμύρας, μιας ραγδαίας βροχόπτωσης, σε μια προτεινόμενη θέση φράγματος, στο χείμαρρο Πετρένια Χαλκιδικής [4] με τη χρησιμοποίηση των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων που βασίζονται στα αδιάστατα μοναδιαία υδρογραφήματα της Sierra Nevada και της S.C.S. [1,2,5,6,7,8,9]. Η συγκριτική αξιολόγηση έγινε και με τη βοήθεια της υδραυλικά υπολογισθείσας πλημμυρικής αιχμής, της ραγδαίας βροχόπτωσης της 23-25 Δεκεμβρίου 2003 στην προτεινόμενη θέση του φράγματος. Η ραγδαία αυτή βροχόπτωση καταγράφηκε από τον εντός της λεκάνης του Πετρένια αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του Γοματίου και προκάλεσε πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή. Στην εκτίμηση των υδρογραφημάτων πλημμύρας χρησιμοποιήθηκε η απορροϊκή βροχή της ραγδαίας βροχόπτωσης που εκτιμήθηκε με τη βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) [1,2].

2. ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα

2.1.1. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα (Σ.Μ.Υ.) της Sierra Nevada (SN)

Η μέθοδος του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada περιγράφεται στο Design of Small Dams [9] και βασίζεται στο αδιάστατο Μ.Υ. της Sierra Nevada. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο χρόνος υστέρησης του Σ.Μ.Υ. υπολογίζεται με τη σχέση:

$$L_g = 0.1776C\left[LL_c/\sqrt{S}\right]^N \qquad \text{ή} \qquad L_g = 0.5541\left[LL_c/\sqrt{S}\right]^{0.33} \tag{1}$$

όπου: L_g = χρόνος υστέρησης του Σ.Μ.Υ. σε ώρες, C = σταθερά που παίρνεται ίση με 26 K_n, K_n = συντελεστής του Manning που παίρνεται ίσος με 0.12 , L = μέγιστο μήκος διαδρομής του κυρίως ρεύματος σε km, L_c = μήκος του κυρίως ρεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης πάνω στο κύριο ρεύμα σε km, S = κλίση του κυρίως ρεύματος σε m/m και N = σταθερά ίση με 0.33.

Η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής, D από την οποία προέρχεται το Σ.Μ.Υ. δίνεται από τη σχέση:

$$D = L_g/5.5 \tag{2}$$

Η τετμημένη του Σ.Μ.Υ. (χρόνος), η οποία προέρχεται από απορροϊκή βροχή 1 mm υπολογίζεται με τη σχέση

$$t_m = T/100 * \left(L_g + D/2\right) \tag{3}$$

όπου: t_m = χρόνος του Σ.Μ.Υ. σε ώρες, T = παίρνεται από τον Πίνακα του αδιάστατου Μ.Υ. της Sierra Nevada [2,9], L_g και D όπως υπολογίζονται από τις σχέσεις (1) και (2), αντίστοιχα.

Η τεταγμένη του Σ.Μ.Υ. (παροχή), η οποία προέρχεται από απορροϊκή βροχή 1 mm υπολογίζεται με τη σχέση:

$$Q = 0.01157 * \left\{(A * q)\Big/\left(L_g + D/2\right)\right\} \tag{4}$$

όπου: Q = παροχή του Σ.Μ.Υ. σε m^3/sec, A = έκταση της υδρολογικής λεκάνης σε km^2 και q = αδιάστατη παροχή που παίρνεται από τον Πίνακα του αδιάστατου Μ.Υ. της Sierra Nevada [2,9].

2.1.2. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα (Σ.Μ.Υ.) της S.C.S.

Η μέθοδος του Σ.Μ.Υ. της S.C.S. βασίζεται στο αδιάστατο Μ.Υ. της S.C.S. [1,2]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η παροχή αιχμής ενός υδρογραφήματος που προέρχεται από βροχή διάρκειας D ωρών δίνεται από τη σχέση**:**

$$Q_p = (0.75AP_r) / (3600t_p) \quad (5)$$

όπου: Q_p = παροχή αιχμής σε m^3/sec, A = έκταση της υδρολογικής λεκάνης σε στρέμματα, P_r = 1 mm εφόσον πρόκειται για Μ.Υ. και t_p είναι ο χρόνος αιχμής σε ώρες, που υπολογίζεται με τη σχέση:

$$t_p = L_g + D/2 \quad (6)$$

Η τετμημένη και η τεταγμένη του Μ.Υ. υπολογίζονται με τις σχέσεις:

$$t = t_d * t_p \quad (7)$$

$$Q = Q_d * Q_p \quad (8)$$

όπου: Q = παροχή Μ.Υ. σε m^3/sec, Q_p = παροχή αιχμής σε m^3/sec, t = χρόνος μοναδιαίου υδρογραφήματος, t_p = χρόνος αιχμής σε ώρες και Q_d, t_d = αδιάστατη παροχή και αδιάστατος χρόνος, αντίστοιχα, που παίρνονται από Πίνακα [1,2].

2.2. Εκτίμηση απορροϊκής βροχής

Η απορροή κατά τη διάρκεια της πλημμύρας εξαρτάται από την τοπογραφική διαμόρφωση της λεκάνης, τη διαπερατότητα των εδαφών, το είδος φυτοκάλυψης και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τη S.C.S. η απορροϊκή βροχή Pe δίνεται από τη σχέση [1,2]:

$$Pe = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S) \quad (9)$$

όπου: Pe = απορροϊκή βροχή (mm), P = βροχόπτωση (mm) και S = μέγιστη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του εδάφους ή αποθηκευτικότητα (mm).

Το S σε mm υπολογίζεται με τη σχέση:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (10)$$

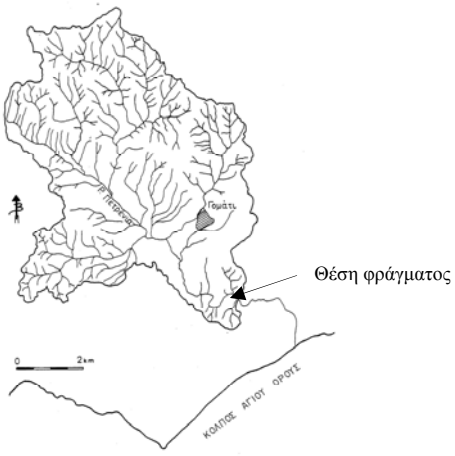
όπου: CN= απορροϊκός συντελεστής (curve number), ο οποίος αντιπροσωπεύει τη συνδυασμένη επίδραση του εδάφους, του τρόπου χρήσης και διαχείρισης αυτού, των καλλιεργητικών συνθηκών και της προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης του εδάφους [1,2].

Για τις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών η εκτίμηση της αποθήκευσης S γίνεται με τη βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή (CN), που αντιστοιχεί σε υγρασιακή κατάσταση τύπου ΙΙΙ και υπολογίζεται ως συνάρτηση του CN_{II}, με την παρακάτω σχέση [2,10]:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.4036 + 0.0059CN_{II}} \quad (11)$$

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή αφορά την εκτίμηση των υδρογραφημάτων πλημμύρας μιας ραγδαίας βροχόπτωσης στο χείμαρρο Πετρένια Χαλκιδικής, στον οποίο μελετάται η κατασκευή φράγματος για την αποθήκευση νερού για ύδρευση και άρδευση [4]. Η υδρολογική λεκάνη του Πετρένια μέχρι την προτεινόμενη θέση του φράγματος (Σχήμα 1), έχει έκταση 41.45 km^2, μέση κλίση 27.75 %, περίμετρο 38.03 km, μέσο υψόμετρο 296.77 m, μέγιστο υψόμετρο 670 m και ελάχιστο υψόμετρο 29 m. Το μέγιστο μήκος διαδρομής μέχρι τη θέση του φράγματος είναι 13.88 km, το μήκος του κυρίως ρεύματος από τη θέση του φράγματος μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης πάνω στο κύριο ρεύμα είναι 7.75 km, ενώ η κλίση του κυρίου ρέματος είναι 0.06 m/m.



Σχήμα 1. Υδρολογική λεκάνη του Πετρένια Γοματίου Χαλκιδικής

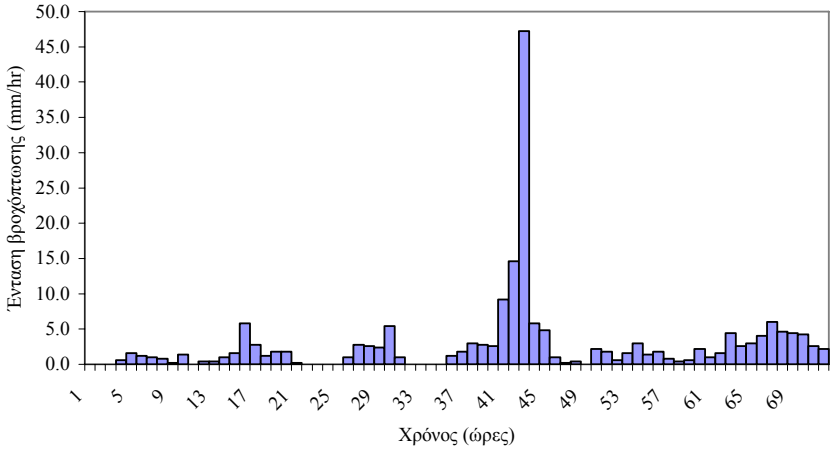
Τις απογευματινές ώρες της 24ης Δεκεμβρίου 2003 έλαβε χώρα μια έντονη πλημμύρα του ρέματος Πετρένια, στην περιοχή του Γοματίου Χαλκιδικής, η οποία και προκάλεσε μεγάλες ζημιές. Για την εκτίμηση του υδρογραφήματος πλημμύρας χρησιμοποιήθηκε το βροχογράφημα της βροχόπτωσης, από 23-25 Δεκεμβρίου 2003 από βροχογράφο του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού του Γοματίου, ο οποίος βρίσκεται εντός της υδρολογικής λεκάνης (Σχήμα 1). Η βροχόπτωση άρχισε τις πρώτες πρωϊνές ώρες της 23ης Δεκεμβρίου 2003 με μικρή ένταση και κορύφωση αυτής τις απογευματινές ώρες της 24ης Δεκεμβρίου 2003, οπότε και παρατηρήθηκε η μέγιστη ένταση, ενώ στη συνέχεια υπήρξε ύφεση της καταιγίδας και τα μεσάνυχτα της 25ης Δεκεμβρίου 2003 σταμάτησε η βροχόπτωση. Στον Πίνακα 1 δίνονται τα μέγιστα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών της βροχόπτωσης 23-25 Δεκεμβρίου 2003 στο σταθμό του Γοματίου, ενώ στο Σχήμα 2 φαίνονται οι ωριαίες εντάσεις της παραπάνω ραγδαίας βροχόπτωσης.
Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι, το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ανήλθε σε 194.4 mm και αφορά το 34% περίπου του μέσου συνολικού ετήσιου ύψους βροχής της περιοχής που είναι 575 mm. Η καμπύλη έντασης – διάρκειας – περιόδου επαναφοράς που έχει μελετηθεί στο σταθμό της Μεγάλης Παναγιάς [7], ο οποίος βρίσκεται πλησίον του σταθμού του Γοματίου δίνεται από τη σχέση:

$$i = \frac{20.5069T^{0.1613}}{t^{0.64}} \qquad (12)$$

όπου: i=ένταση βροχής σε mm/hr, T=περίοδος επαναφοράς σε έτη και t=διάρκεια βροχής σε ώρες.

Πίνακας 1. Μέγιστα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών της βροχόπτωσης 23-25 Δεκεμβρίου 2003 στο σταθμό του Γοματίου Χαλκιδικής

Διάρκεια (ώρες)	**Περίοδος εμφάνισης**	**Ύψος βροχής (mm)**
72	23/12-25/12	194.4
48	24/12-25/12	169.8
24	24/12 (01:00)-25/12(01:00)	111.0
12	24/12(10:00)-24/12(22:00)	94.2
6	24/12(14:00)-24/12(20:00)	84.2
3	24/12(13:00)-24/12(16:00)	71.0
1	24/12 (17:00-18:00)	47.2



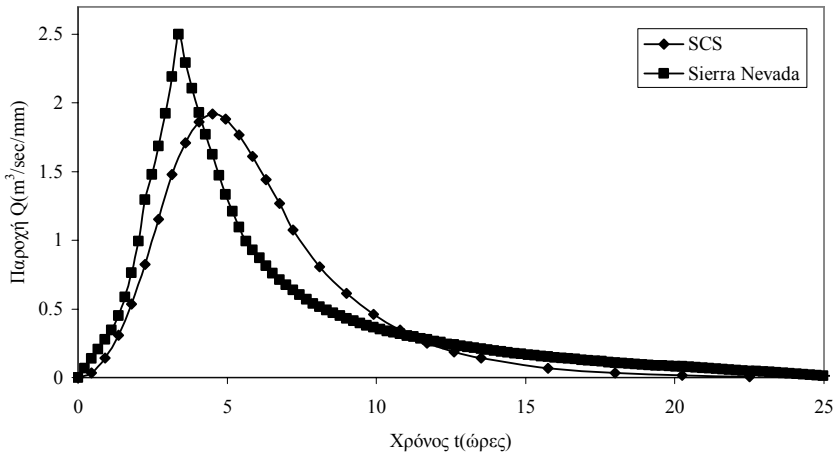
Σχήμα 2. Βροχογράφημα της βροχόπτωσης 23-25 Δεκεμβρίου 2003 στο σταθμό του Γοματίου Χαλκιδικής

Η περίοδος επαναφοράς για τις βροχοπτώσεις διάρκειας 3 ωρών και 1 ώρας του Πίνακα 1, όπως προκύπτει από τη σχέση (12) είναι περίπου 200 έτη. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η βροχόπτωση της 23-25 Δεκεμβρίου 2003 ήταν ραγδαία και με ιδιαίτερα μεγάλη περίοδο επαναφοράς.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι ο ακριβής προσδιορισμός της περιόδου επαναφοράς των βροχοπτώσεων απαιτεί την ύπαρξη σχέσης της παραπάνω μορφής για τον ίδιο το σταθμό, η κατασκευή της οποίας απαιτεί αρκετά δεδομένα, τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα.

Στη συνέχεια έγινε η εκτίμηση των υδρογραφημάτων πλημμύρας με τη βοήθεια του βροχογραφήματος της βροχόπτωσης της 23-25 Δεκεμβρίου 2003 του σταθμού του Γοματίου και των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων της Sierra Nevada και της S.C.S. (Παράγραφος 2.1). Για την εκτίμηση των υδρογραφημάτων πλημμύρας χρησιμοποιήθηκε η απορροϊκή βροχή της ραγδαίας βροχόπτωσης, που εκτιμήθηκε με τη βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) (Παράγραφος 2.2).

Για την περίπτωση της υδρολογικής λεκάνης του Πετρένια μέχρι την προτεινόμενη θέση του φράγματος (Σχήμα 1), χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (1) μέχρι (8) των διαδικασιών των Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada και της S.C.S., υπολογίζονται ο χρόνος υστέρησης (L_g), η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής (D), ο χρόνος (t_m) και η παροχή (Q) του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada και η παροχή αιχμής (Q_p) και ο χρόνος αιχμής (t_p) του Σ.Μ.Υ. της S.C.S. και είναι: L_g=4.13 ώρες, D=0.75 ώρες, t_m=0.045T, Q=0.1065, t_p=4.50 ώρες και Q_p=1.92 m^3/sec.
Με βάση τα παραπάνω υπολογίζονται τα Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογραφήματα διάρκειας D=0.75 ώρες της λεκάνης του χειμάρρου Πετρένια και φαίνονται στο Σχήμα 3.

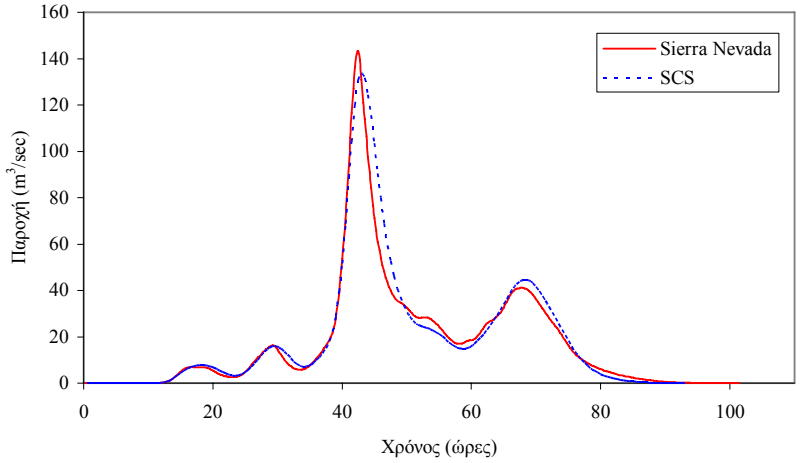


Σχήμα 3. Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογραφήματα της Sierra Nevada και της SCS διάρκειας D=0.75 ωρών της λεκάνης του χειμάρρου Πετρένια

Τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι διάρκειας 0.25 ωρών και για τις δύο περιπτώσεις και η διερεύνησή τους έγινε με τη βοήθεια των αντίστοιχων μοναδιαίων υδρογραφημάτων διάρκειας 0.75 ωρών του Σχήματος 3 και τη διαδικασία της S-καμπύλης [1,2].
Η απορροϊκή βροχή του μετρημένου βροχογραφήματος της 23-25 Δεκεμβρίου 2003, του Γοματίου (Σχήμα 2), υπολογίσθηκε με τη βοήθεια της διαδικασίας του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) της SCS, που περιγράφηκε στην Παράγραφο 2.2. Ο απορροϊκός συντελεστής (CN), για υγρασιακή κατάσταση τύπου II, για την περίπτωση της λεκάνης του Πετρένια εκτιμήθηκε με τη βοήθεια της διαπερατότητας των εδαφών και της φυτοκάλυψης, ότι είναι ίσος με 74, οπότε η αποθήκευση S από τη σχέση (10) είναι ίση με 90 mm. Για τη λεκάνη του Πετρένια, για την περίπτωση της ραγδαίας βροχόπτωσης ο απορροϊκός συντελεστής αναφέρεται σε υγρασιακή κατάσταση τύπου III, οπότε ο CN_{III} υπολογίσθηκε με τη σχέση (11) και για CN_{II} ίσο με 74 βρέθηκε ότι είναι ίσος με 88. Στη συνέχεια με την εφαρμογή της σχέσης (10) για $CN=CN_{III}$ βρέθηκε ότι η αποθήκευση S για τις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών είναι ίση με 35 mm. Για S=35 mm, η σχέση (9) γίνεται:

$$Pe = (P - 7)^2 / (P + 28) \qquad (13)$$

Με βάση τη σχέση (13) υπολογίζεται το βροχογράφημα της απορροϊκής βροχής της 23-25 Δεκεμβρίου 2003, για το σταθμό του Γοματίου. Με βάση τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα διάρκειας D=0.25 ώρες της Sierra Nevada και της SCS και την απορροϊκή βροχή υπολογίζονται τα αντίστοιχα υδρογραφήματα πλημμύρας της λεκάνης του χειμάρρου Πετρένια και φαίνονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Υδρογραφήματα πλημμύρας της απορροϊκής βροχόπτωσης της 23-25 Δεκεμβρίου 2003 της λεκάνης του Πετρένια

Στον Πίνακα 2 δίνονται το μέγεθος της αιχμής και ο χρόνος εμφάνισής της για τα υδρογραφήματα πλημμύρας που υπολογίζονται με τα δύο συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα.

Πίνακας 2. Πλημμυρική αιχμή και χρόνος εμφάνισής της για τα υδρογραφήματα πλημμύρας της απορροϊκής βροχόπτωσης της 23-25 Δεκεμβρίου 2003 στη λεκάνη του Πετρένια

	Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα	
	Sierra Nevada	**SCS**
Πλημμυρική αιχμή (m^3/sec)	143.3	133.7
Χρόνος εμφάνισης αιχμής (ώρες)	42.5	43.0

Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι το Σ.Μ.Υ. της SCS δίνει μικρότερη αιχμή, η οποία διαφέρει κατά 6.7% από αυτή του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada. Ο χρόνος εμφάνισης της αιχμής στο υδρογράφημα πλημμύρας που υπολογίζεται με το Σ.Μ.Υ. της SCS υστερεί κατά μισή ώρα του χρόνου εμφάνισης στην περίπτωση του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada.
Το μέγεθος της πλημμυρικής αιχμής εκτιμήθηκε επίσης και με τη μέθοδο της κλίσης επιφάνειας [2], η οποία βασίζεται στον προσδιορισμό της κλίσης της γραμμής ενέργειας σε ένα μήκος του ρεύματος, στον υπολογισμό της μέσης επιφάνειας διατομής και τη χρησιμοποίηση της εξίσωσης Manning για τον υπολογισμό της παροχής. Σύμφωνα με τα ίχνη της πλημμύρας, τα οποία καταγράφηκαν την επόμενη ημέρα από την εκδήλωσή της (26/12/2003) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά δύο γειτονικών διατομών, τα οποία απέχουν απόσταση 200 m δίνονται στον Πίνακα 3, ενώ ο συντελεστής τραχύτητας n

πάρθηκε ίσος με 0.05 [11]. Στη συνέχεια με τη μέθοδο της κλίσης επιφάνειας υπολογίστηκε η πλημμυρική αιχμή, η οποία ήταν περίπου 153 m^3/sec.
Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι η πλημμυρική αιχμή που υπολογίστηκε με τη βοήθεια του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada προσεγγίζει πολύ καλά την πλημμυρική αιχμή που εκτιμήθηκε με τη μέθοδο της κλίσης επιφάνειας από τα ίχνη της πλημμύρας και η διαφορά τους ανέρχεται στο 6.3%, ενώ η αντίστοιχη διαφορά στην περίπτωση του Σ.Μ.Υ. της SCS ανέρχεται στο 12.6%. Επομένως, το Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητική αξιοπιστία για την εκτίμηση πλημμυρικών απορροών στη λεκάνη του χειμάρρου Πετρένια, ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες υδρολογικές λεκάνες με διαφορετικές γεωμορφολογικές, υδρολογικές και εδαφολογικές συνθήκες με την προϋπόθεση της επιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων με μετρημένες παροχές.

Πίνακας 3. Υδραυλικά χαρακτηριστικά γειτονικών διατομών για την πλημμύρα της 23-25 Δεκεμβρίου 2003 στη λεκάνη του Πετρένια

Μέγεθος	**Ανάντη διατομή**	**Κατάντη διατομή**
Συντελεστής τραχύτητας n	0.05	0.05
Εμβαδόν διατομής A (m^2)	72.5	71
Υδραυλική ακτίνα R (m)	1.8	1.4
Στάθμη νερού (m)	2.9	1.5

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι με τη χρησιμοποίηση του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada και της απορροϊκής βροχόπτωσης του βροχογραφήματος της βροχόπτωσης της 23-25 Δεκεμβρίου 2003 υπολογίζεται ικανοποιητικά η πλημμυρική αιχμή σε σύγκριση με αυτήν που υπολογίζεται από τα ίχνη της πλημμύρας. Επομένως, μπορεί η παραπάνω μεθοδολογία να χρησιμοποιηθεί για τη διαστασιολόγηση των διαφόρων κατασκευών ασφαλείας του προτεινόμενου φράγματος (υπερχειλιστής και σήραγγα εκτροπής), όσο και για την επαναδιαστασιολόγηση υπαρχόντων έργων ή την κατασκευή νέων με σκοπό την αποτελεσματική αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων της περιοχής μελέτης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε εκτίμηση και συγκριτική αξιολόγηση των υδρογραφημάτων πλημμύρας, μιας ραγδαίας βροχόπτωσης, στο χείμαρρο Πετρένια Χαλκιδικής με τη χρησιμοποίηση των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων της S.C.S. και της Sierra Nevada. Η συγκριτική αξιολόγηση έγινε με τη βοήθεια της εκτιμημένης από τα ίχνη της πλημμύρας, πλημμυρική αιχμή με τη μέθοδο κλίσης επιφάνειας. Η ραγδαία βροχόπτωση που χρησιμοποιήθηκε είναι η βροχόπτωση της 23-25 Δεκεμβρίου 2003 που καταγράφηκε από τον εντός της λεκάνης του Πετρένια αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του Γοματίου και προκάλεσε πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή. Στην εκτίμηση των υδρογραφημάτων πλημμύρας χρησιμοποιήθηκε η απορροϊκή βροχή που εκτιμήθηκε με τη βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number). Από την ανάλυση προκύπτει ότι το Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada προσεγγίζει με ικανοποιητική αξιοπιστία την πλημμυρική αιχμή, η οποία υπολογίσθηκε υδραυλικά βάσει των μετρηθέντων στοιχείων πλημμυρικής στάθμης και υδραυλικής κλίσης και υπερτερεί έναντι του Σ.Μ.Υ. της SCS. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι το Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαστασιολόγηση των διαφόρων κατασκευών ασφαλείας του προτεινόμενου φράγματος (υπερχειλιστής και σήραγγα εκτροπής), όσο

και για την επαναδιαστασιολόγηση υπαρχόντων έργων ή την κατασκευή νέων με σκοπό την αποτελεσματική αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων της περιοχής μελέτης. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες υδρολογικές λεκάνες με διαφορετικές γεωμορφολογικές, υδρολογικές και εδαφολογικές συνθήκες με την προϋπόθεση της επιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων με μετρημένες παροχές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7. Maidment D.R.. 1993. Handbook of hydrology. McGraw-Hill Company, USA.
8. Παπαμιχαήλ Δ.Μ.. 2001. Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. 394 σελ.
9. Παπαμιχαήλ Δ.Μ. και Γεωργίου Π.Ε.. 1997. Διερεύνηση των σχέσεων βροχής - απορροής της υδρολογικής λεκάνης της Αλμωπίας με την εφαρμογή ενός υδρολογικού μοντέλου. Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου ΕΥΕ. Πάτρα. 68-76.
10. Καραμούζης Δ.Ν., Παρισόπουλος Γ., Παπαμιχαήλ Δ.Μ. και Γεωργίου Π.Ε.. 1999. Χωροθέτηση και προκαταρκτική διερεύνηση φράγματος Πετρένια Γοματίου Χαλκιδικής. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Ολυνθίου Χαλκιδικής.Θεσσαλονίκη.
11. Γεωργίου Π.Ε., Παπαμιχαήλ Δ.Μ. και Καραμούζης Δ.Ν. 2003. Συγκριτική ανάλυση των εκτιμήσεων των αιχμών απορροής με συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και με εμπειρικούς τύπους. Πρακτικά 3ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Θεσσαλονίκη. 11-19.
12. Παπαμιχαήλ Δ.Μ., Γεωργίου Π.Ε. και Καραμούζης Δ.Ν.. 2000. Σύγκριση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων με τη βοήθεια εκτιμήσεων πλημμυρικών απορροών. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος. 26-33.
13. Παπαμιχαήλ Δ.Μ., Γεωργίου Π.Ε. και Καραμούζης Δ.Ν.. 2001. Εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων της ραγδαίας βροχόπτωσης της 7-8 Οκτωβρίου 2000 στην περιοχή της Μεγάλης Παναγιάς Χαλκιδικής. Υδροτεχνικά. Τόμος 11. 47-60.
14. Kavalieratou S.N., Georgiou P.E., Papamichail D.M. and Karamouzis D.N.. 2004. Alternative GIS methods for the derivation of watershed physiographic information and its impact on Synthetic Unit Hydrographs. EWRA Symposium on "Water Resources Management: Risks and Challenges for the 21st Century". Izmir. Turkey. 743-754.
15. U.S.D.I.. 1987. Design of small dams. A Water Resources Technical Publication. 23-57.
16. Sobhani G.. 1976. A review of selected watershed design method for possible adoption to Iranian conditions. Thesis presented to Utah State University at Logan, Utah in partial fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science.
17. Gary D.M.. 1970. Handbook on the principles of hydrology. National Research Council of Canada.

ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΠΙΣΥΜΒΑΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΑΛΥΣΙΔΩΝ MARKOV

Π.Ε. Γεωργίου[*] και Δ.Μ. Παπαμιχαήλ
Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων
Γεωπονική Σχολή Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, [*] e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται συνθετική παραγωγή της επισύμβασης ημερήσιων βροχοπτώσεων η οποία βασίζεται στις αλυσίδες Markov. Χρησιμοποιείται μια πρώτης τάξης, δύο καταστάσεων αλυσίδα Markov και υπολογίζονται οι πιθανότητες μετάβασης για κάθε ημέρα του έτους. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια τυχαίων αριθμών ομοιόμορφης κατανομής γίνεται παραγωγή συνθετικών σειρών υγρών ή ξηρών ημερών. Η εφαρμογή της διαδικασίας έγινε στο σταθμό του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής και η καταλληλότητά της επιβεβαιώθηκε από τη σύγκριση των συνθετικών σειρών επισύμβασης με την ιστορική σειρά.

SYNTHETIC GENERATION OF DAILY PRECIPITATION OCCURRENCE WITH MARKOV CHAIN

P.E. Georgiou[*] and D.M. Papamichail
Laboratory of General and Agricultural Hydraulics and Land Reclamation
Faculty of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece
[*] e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ABSTRACT

In this paper, a first-order Markov chain for the synthetic generation of daily precipitation occurrence was used. Two transition probabilities for every day of the year from historical data were calculated. These probabilities, in combination with a random number generator were then used to generate series of wet and dry days. The process was applied on the Agios Mamas Halkidiki's daily precipitation data. The synthetic series of daily precipitation occurrence were compared with the historic series and the results demonstrate the ability of the above process for the synthetic generation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για το σωστό σχεδιασμό και τη μελέτη της λειτουργίας των έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων μιας λεκάνης απορροής, η ιστορική σειρά των δεδομένων συνήθως δεν επαρκεί. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να προσομοιωθεί η ιστορική σειρά και να παραχθούν στοχαστικά, με τη βοήθεια τυχαίων αριθμών, συνθετικές σειρές, οι οποίες θα διατηρούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής σειράς και θα καλύπτουν χρονικά την οικονομική ζωή του έργου. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για τη βροχόπτωση, η οποία είναι το γενεσιουργό αίτιο της απορροής. Η προσομοίωση και η δημιουργία συνθετικών σειρών ημερήσιων βροχοπτώσεων γίνεται σε δύο βήματα. Κατά το πρώτο βήμα γίνεται η προσομοίωση της επισύμβασης της βροχής δηλαδή αν η ημέρα είναι υγρή ή ξηρή και κατά το δεύτερο βήμα, στην περίπτωση που η ημέρα είναι υγρή, γίνεται η προσομοίωση του ύψους της βροχής.

Υγρή χαρακτηρίζεται μια ημέρα στην οποία η βροχόπτωση υπερβαίνει ένα ορισμένο ύψος, ένα κατώτατο όριο, συνήθως 1 mm. Ως ξηρή καθορίζεται η ημέρα στην οποία η βροχόπτωση είναι μικρότερη από αυτό το κατώτερο όριο ή όταν δεν υπάρχει καθόλου βροχόπτωση.

Όσον αφορά στα μοντέλα, τα οποία έχουν αναπτυχθεί για τη συνθετική παραγωγή της επισύμβασης της βροχόπτωσης, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες [1,2]: α) Στα *μοντέλα διακριτής επισύμβασης της βροχόπτωσης* (discrete precipitation occurrence models) [3,4,5,6,7,8,9]. β) Στα *μοντέλα συνεχούς επισύμβασης της βροχόπτωσης* (continuous precipitation occurrence models) [10,11].

Η *διακριτή επισύμβαση* της βροχόπτωσης είναι μια απλοποίηση της παρατηρηθείσας διαδικασίας βροχόπτωσης, έτσι ώστε οι βροχοπτώσεις να υπολογίζονται κατά τη διάρκεια καθορισμένων χρονικών βημάτων, συνήθως της ημέρας, η οποία είναι και το πιο κοινά χρησιμοποιούμενο βήμα, σε μοντέλα, που χρησιμοποιούν συνθετικά δεδομένα. Σύμφωνα με τον Buishand, τα μοντέλα διακριτής επισύμβασης είναι δύο κατηγοριών [12]: α) Μοντέλα βασισμένα στη *διαδικασία των εναλλασσομένων επαναλήψεων* (alternating renewal process) και β) Μοντέλα βασισμένα στις *αλυσίδες Markov* (Markov chains).

Τα μοντέλα που βασίζονται στη διαδικασία των εναλλασσομένων επαναλήψεων, προσομοιώνουν τα μήκη των υγρών και ξηρών περιόδων με την υπόθεση ότι αυτά είναι ανεξάρτητα. *Ξηρή περίοδος*, ορίζεται μια σειρά από ξηρές ημέρες, η οποία περιορίζεται στην αρχή και στο τέλος από υγρή ημέρα. Ομοίως ορίζεται και η *υγρή περίοδος*. Στη διαδικασία των εναλλασσόμενων επαναλήψεων για τις υγρές και ξηρές περιόδους γίνεται η υπόθεση ότι ακολουθούν την ίδια κατανομή. Στα μήκη των υγρών και ξηρών περιόδων, έχουν κατά καιρούς προσαρμοσθεί διάφορες κατανομές, μεταξύ των οποίων είναι η αποκομμένη αρνητική διωνυμική κατανομή (truncated negative binomial distribution) και η μετατοπισμένη αρνητική διωνυμική κατανομή (shifted negative binomial distribution) [12,13,14].

Τα μοντέλα που βασίζονται στις αλυσίδες Markov, θεωρούν ότι μια ημέρα ανήκει σε ένα συγκεκριμένο αριθμό καταστάσεων, οι οποίες καταστάσεις καθορίζονται από την ξηρή ημέρα ή περισσότερες από μία καταστάσεις της υγρής ημέρας, ανάλογα με το ύψος της βροχόπτωσης. Η πιθανότητα ότι μια ημέρα ανήκει σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, εξαρτάται από την κατάσταση της προηγούμενης ημέρας. Από έρευνες που έγιναν βρέθηκε ότι η επισύμβαση της βροχόπτωσης προσομοιώνεται πολύ καλά με μια πρώτης τάξης, δύο καταστάσεων αλυσίδα Markov [13].

Τα μοντέλα *συνεχούς επισύμβασης* της βροχόπτωσης είναι πιο πολύπλοκα από τα μοντέλα διακριτής επισύμβασης. Συγκεκριμένα, ενώ στα μοντέλα διακριτής

επισύμβασης, μια βροχόπτωση θεωρείται ότι έπεσε σε ολόκληρο χρονικό διάστημα (π.χ. ημέρα), στα μοντέλα συνεχούς επισύμβασης, η βροχόπτωση θεωρείται ότι έπεσε κατά την πραγματική της διάρκεια. Επομένως, τα μοντέλα αυτά είναι πιο κοντά στη φυσική πραγματικότητα των βροχοπτώσεων, από ότι τα διακριτά μοντέλα. Ένα από τα περισσότερο γνωστά μοντέλα είναι το μοντέλο των ορθογώνιων θορύβων των Neyman-Scott (Neyman-Scott Rectangular Pulses Model) [10,11], το οποίο για την εφαρμογή του προϋποθέτει την ύπαρξη δεδομένων βροχογράφου.
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται τα μοντέλα διακριτής επισύμβασης λόγω έλλειψης δεδομένων βροχογράφου και γίνεται συνθετική παραγωγή της επισύμβασης ημερήσιων βροχοπτώσεων η οποία βασίζεται στις αλυσίδες Markov. Χρησιμοποιείται μια πρώτης τάξης, δύο καταστάσεων αλυσίδα Markov και υπολογίζονται οι πιθανότητες μετάβασης για κάθε ημέρα του έτους. Στη συνέχεια με τη βοήθεια τυχαίων αριθμών ομοιόμορφης κατανομής γίνεται παραγωγή συνθετικών σειρών υγρών ή ξηρών ημερών. Η εφαρμογή της διαδικασίας έγινε στο σταθμό του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής και η καταλληλότητά της επιβεβαιώθηκε από τη σύγκριση των συνθετικών σειρών επισύμβασης με την ιστορική σειρά.

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι Μαρκοβιανές αλυσίδες ή αλυσίδες Markov που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή είναι μια πολύ σημαντική κατηγορία στοχαστικών διαδικασιών [2,15]. Οι εφαρμογές των Μαρκοβιανών αλυσίδων είναι σημαντικές και πολύ εκτεταμένες. Μπορεί κανείς εύκολα να βρει εφαρμογές των Μαρκοβιανών αλυσίδων σε εντελώς διαφορετικές επιστήμες, όπως στη δημιουργία συνθετικών ακολουθιών βροχής διαφόρων χρονικών βημάτων, στην καρκινογένεση, στις τάσεις της αγοράς, στην επιχειρησιακή έρευνα, στις αποφάσεις των ασφαλιστικών εταιριών, στα πληθυσμιακά προβλήματα, στη δημογραφία, στην αστρονομία κ.λπ. Χαρακτηριστικό όλων των παραπάνω περιπτώσεων είναι ότι έχουν την *ιδιότητα του Markov* ή τη *Μαρκοβιανή ιδιότητα*, η οποία με απλά λόγια λέει ότι η μελλοντική εξέλιξη του φαινομένου εξαρτάται από την παρούσα του κατάσταση και δεν εξαρτάται από το παρελθόν του.
Οι κλάσεις των στοχαστικών διαδικασιών με βάση τη διακριτοποίηση του χρόνου και του χώρου των καταστάσεων είναι τέσσερις: (α) Διακριτός χρόνος, χώρος καταστάσεων διακριτός, (β) Συνεχής χρόνος, χώρος καταστάσεων διακριτός, (γ) Διακριτός χρόνος, χώρος καταστάσεων συνεχής και (δ) Συνεχής χρόνος, χώρος καταστάσεων συνεχής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η κατηγορία των Μαρκοβιανών διαδικασιών σε χρόνο και χώρο καταστάσεων διακριτό, που καλούνται *Μαρκοβιανές αλυσίδες ή αλυσίδες Markov*. Ειδικά, όταν ο χώρος των καταστάσεων είναι ένα πεπερασμένο σύνολο, τότε έχουμε τις λεγόμενες πεπερασμένες Μαρκοβιανές αλυσίδες.
Μια απολύτως ακριβής εκτίμηση για τη βροχή της επόμενης ημέρας είναι η ακόλουθη: *«Αύριο είτε θα βρέξει είτε δε θα βρέξει»*. Το προηγούμενο περικλείει τη βάση της θεωρίας των αλυσίδων Markov. Αυτή είναι η διάκριση δύο βασικών καταστάσεων που παρουσιάζει ένα φαινόμενο, οι οποίες δεν μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα δηλαδή είτε *υγρή*, είτε *ξηρή* ημέρα. Δεν εξετάζεται το ύψος βροχής και ακόμη δεν ενδιαφέρει η εξέλιξή του στο χρόνο. Η εμφάνιση της μιας ή της άλλης κατάστασης καθώς και η μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη, προσδιορίζουν το βασικό *στοχαστικό* χαρακτήρα της βροχής.
Με βάση τα προαναφερθέντα, μια σειρά ημερήσιων υψών βροχής μετασχηματίζεται σε σειρά 0 και 1, με βάση το κριτήριο του, αν για καθεμία συγκεκριμένη ημέρα το ύψος βροχής ήταν μεγαλύτερο από ένα προκαθορισμένο κατώφλι (π.χ. 0.1 mm).

Η *τάξη* μιας αλυσίδας Markov περιγράφει τον αριθμό των προηγούμενων γεγονότων, που εξετάζονται. Επομένως, μια αλυσίδα Markov πρώτης τάξης είναι η διαδοχή δύο ημερών, που μπορεί να παρουσιάζει μια από τις ακόλουθες καταστάσεις:

00 01 10 11

όπου: 00 σημαίνει ότι μια ξηρή ημέρα ακολουθείται από μια ξηρή κ.ο.κ.

Επομένως, για ένα σύστημα X μπορούν τα συμβάντα του συστήματος να αποτυπωθούν από ένα αριθμό καταστάσεων C_n. Κατασκευάζεται, έτσι, ένας πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης [P(t)] μεγέθους C_n*C_n, ο οποίος περιγράφει τις πιθανότητες (p_{ij}) να συμβεί η κατάσταση C_j στο χρόνο t, όταν δίνεται η κατάσταση C_i στο χρόνο t-1, δηλαδή:

$$p_{ij}(t) = \text{prob}\{X(t) = C_j / X(t-1) = C_i\} \quad (1)$$

όπου: p_{ij} η πιθανότητα μετάβασης από την κατάσταση i στην κατάσταση j. Ο πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης P(t) είναι:

$$P(t) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{1..} & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{2..} & p_{2n} \\ p_{31} & 32 & p_{33} & p_{3..} & p_{3n} \\ p_{..1} & p_{..2} & p_{..3} & p_{....} & p_{..n} \\ p_{n1} & p_{n2} & p_{n3} & p_{n..} & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, για μια πρώτης τάξης αλυσίδα Markov, ο πίνακας των πιθανοτήτων μετάβασης στην περίπτωση της *επισύμβασης* ή όχι της βροχής, όπου υπάρχουν δύο καταστάσεις (υγρή και ξηρή) είναι ο εξής:

$$P(t) = \begin{bmatrix} p_{dd} & p_{dw} \\ p_{wd} & p_{ww} \end{bmatrix} \quad (3)$$

όπου:

p_{dd} = πιθανότητα υπό συνθήκη (conditional probability) ότι μια ξηρή ημέρα (dry day) ακολουθείται από μια ξηρή ημέρα ή αλλιώς η πιθανότητα μια ημέρα να είναι ξηρή όταν η προηγούμενη είναι ξηρή,

p_{dw} = πιθανότητα υπό συνθήκη ότι μια υγρή ημέρα (wet day) ακολουθείται από μια ξηρή ημέρα ή αλλιώς η πιθανότητα μια ημέρα να είναι ξηρή όταν η προηγούμενη είναι υγρή,

p_{wd} = πιθανότητα υπό συνθήκη ότι μια ξηρή ημέρα ακολουθείται από μια υγρή ημέρα ή αλλιώς η πιθανότητα μια ημέρα να είναι υγρή όταν η προηγούμενη είναι ξηρή και τέλος

p_{ww} = πιθανότητα υπό συνθήκη ότι μια υγρή ημέρα ακολουθείται από μια υγρή ημέρα ή αλλιώς η πιθανότητα μια ημέρα να είναι υγρή όταν η προηγούμενη είναι υγρή.

Για ομογενείς αλυσίδες Markov ισχύει ότι το άθροισμα των πιθανοτήτων κάθε στήλης του πίνακα μετάβασης είναι ίσο με 1. Επομένως, ισχύει:

$$p_{wd} = 1 - p_{dd} \quad (4)$$

και

$$p_{ww} = 1 - p_{dw} \quad (5)$$

Άρα μόνο δύο πιθανότητες μετάβασης απαιτούνται να υπολογιστούν από τα ιστορικά δεδομένα, οι οποίες υπολογίζονται [6]:

$$p_{wd}(i) = \sum_{p=1}^{p=n} \{X(i+1) = w / X(i) = d\} \Big/ \sum_{p=1}^{p=n} \{X(i) = d\} \quad (6)$$

και

$$p_{ww}(i) = \sum_{p=1}^{p=n} \{X(i+1) = w / X(i) = w\} \Big/ \sum_{p=1}^{p=n} \{X(i) = w\} \quad (7)$$

όπου:

$p_{wd}(i)$ = πιθανότητα ότι εάν η i ημέρα είναι ξηρή, τότε η ημέρα i+1 θα είναι υγρή και

$\sum_{p=1}^{p=n} \{X(i+1) = D / X(i) = W\}$ = άθροισμα των συμβάντων όπου μια ξηρή ημέρα ακολουθεί μια υγρή ημέρα, κατά την ημέρα i, για τα έτη από 1 μέχρι n.

Η μη δεσμευμένη πιθανότητα (unconditional probability) ότι η i ημέρα είναι υγρή μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$p_w(i) = \frac{1 - p_{dd}}{1 + p_{dw} - p_{dd}} \quad (8)$$

Με τον τρόπο που περιγράφηκε, μπορούν να υπολογιστούν οι πιθανότητες μετάβασης της επισύμβασης της βροχής (υγρή ή ξηρή) για κάθε ημέρα του έτους. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να υπάρχουν αρκετά χρόνια μετρήσεων, ειδικότερα σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, έτσι ώστε να μπορεί κάθε ημέρα του έτους να χαρακτηριστεί με μία από τις δύο μεταβάσεις (δηλ. ww και wd) [6]. Σε πολλές περιπτώσεις, όμως, συνήθως δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, αλλά και όταν υπάρχουν οι προκύπτουσες χρονοσειρές των πιθανοτήτων μετάβασης, συνήθως, είναι αιχμηρές [3,6]. Για το λόγο αυτό, οι πιθανότητες μετάβασης υπόκεινται σε εξομάλυνση (smoothing) είτε με τη διαδικασία των σειρών Fourier [3] είτε με τη διαδικασία των κινούμενων μέσων όρων [6].

Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούν να προσδιοριστούν οι χρονοσειρές των πιθανοτήτων μετάβασης για τις διάφορες καταστάσεις. Σε συνδυασμό με την παραγωγή τυχαίων αριθμών, χρησιμοποιούνται οι σειρές αυτές για την παραγωγή συνθετικών σειρών υγρών και ξηρών ημερών.

Για την περίπτωση της παραγωγής συνθετικών σειρών υγρών και ξηρών ημερών χρησιμοποιούνται τυχαίοι αριθμοί, οι οποίοι παράγονται από την *ομοιόμορφη κατανομή* στο διάστημα (0,1) [2,5,16]. Στην κατανομή αυτή κάθε αριθμός έχει την ίδια πιθανότητα να συμβεί με οποιοδήποτε άλλο αριθμό μέσα στο διάστημα.

Η διαδικασία παραγωγής συνθετικών σειρών υγρών και ξηρών ημερών είναι η εξής: Δίνεται η κατάσταση της προηγούμενης ημέρας (υγρή w ή ξηρή d), παράγεται ένας τυχαίος αριθμός ομοιόμορφης κατανομής, ο οποίος συγκρίνεται με την κατάλληλη πιθανότητα (p_{wd}, αν η προηγούμενη ημέρα είναι ξηρή και p_{ww}, αν η προηγούμενη ημέρα είναι υγρή). Αν ο τυχαίος αριθμός είναι μεγαλύτερος από την πιθανότητα, τότε η ημέρα καταγράφεται ως υγρή, αλλιώς ως ξηρή. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι το τέλος του έτους, ενώ η τελευταία ημέρα του έτους γίνεται προηγούμενη ημέρα για την έναρξη του επόμενου έτους.

Η κατάσταση της πρώτης ημέρας της συνθετικής προσομοίωσης παίρνεται απλά από την ιστορική πιθανότητα της 1ης Ιανουαρίου να είναι υγρή. Η πιθανότητα αυτή δίνεται από τη σχέση:

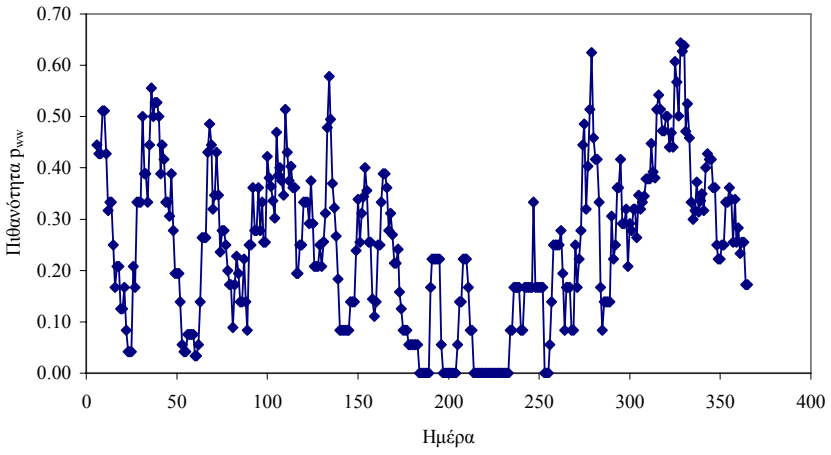
$$p_w(1) = \sum_{p=1}^{p=n} \{X(1) = w\} \Big/ n \quad (9)$$

Με τον τρόπο αυτό παράγονται συνθετικές σειρές υγρών ή ξηρών ημερών.

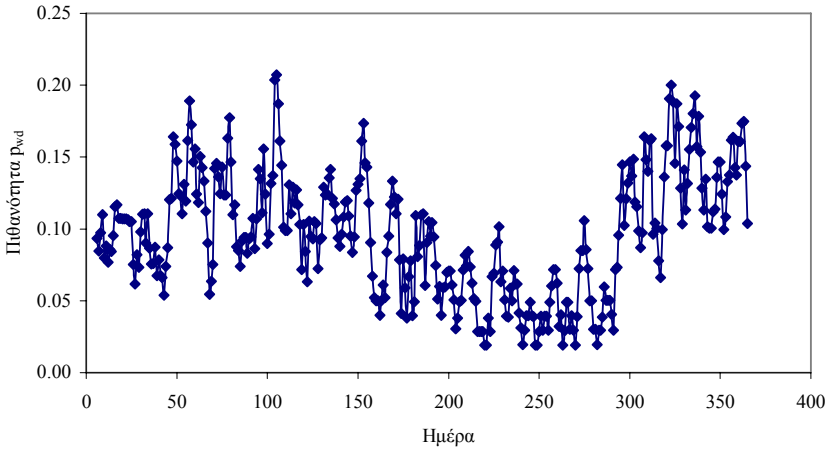
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή αφορά την προσομοίωση και τη συνθετική παραγωγή της επισύμβασης των ημερήσιων βροχοπτώσεων για το σταθμό του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής (40°15', 23°20'). Με τη βοήθεια των ημερήσιων δεδομένων βροχόπτωσης των ετών 1977 μέχρι 1997, του παραπάνω σταθμού, χαρακτηρίστηκε κάθε ημέρα, αν είναι υγρή ή ξηρή, χρησιμοποιώντας ως κατώφλι τα 0.1 mm. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι τιμές των πιθανοτήτων υπό τη συνθήκη ότι μια ξηρή ημέρα ακολουθείται από μια υγρή ημέρα (p_{wd}) και μια υγρή ημέρα ακολουθείται από μια υγρή (p_{ww}), για κάθε ημέρα σύμφωνα με τις σχέσεις (6) και (7), αντίστοιχα. Με βάση τις σχέσεις (4) και (5) υπολογίστηκαν και οι πιθανότητες υπό τη συνθήκη ότι μια ξηρή ημέρα ακολουθείται από μια ξηρή (p_{dd}) και μια υγρή ημέρα ακολουθείται από μια ξηρή (p_{dw}). Οι παραπάνω ημερήσιες πιθανότητες, όπως υπολογίστηκαν από τα ιστορικά δεδομένα της περιόδου 1977-1997, υπόκεινται σε εξομάλυνση με τη διαδικασία των κινούμενων μέσων (moving average) 5 ημερών για το λόγο ότι οι χρονοσειρές των πιθανοτήτων ήταν αιχμηρές. Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή, η πιθανότητα μιας ημέρας είναι ο μέσος όρος των πιθανοτήτων των πέντε (5) προηγούμενων ημερών. Οι εξομαλυμένες ημερήσιες πιθανότητες p_{ww} και p_{wd}, που υπολογίστηκαν με τη διαδικασία των κινούμενων μέσων όρων 5 ημερών φαίνονται στα Σχήματα 1 και 2, αντίστοιχα.

Για την παραγωγή συνθετικών σειρών υγρών και ξηρών ημερών στο σταθμό του Αγίου Μάμα ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: Δόθηκε η κατάσταση της προηγούμενης ημέρας (ξηρή ή υγρή) και παρήχθη ένας τυχαίος αριθμός ομοιόμορφης κατανομής στο διάστημα (0,1), ο οποίος συγκρίθηκε με την κατάλληλη πιθανότητα (p_{wd}, αν η προηγούμενη ημέρα είναι ξηρή και p_{ww}, αν η προηγούμενη ημέρα είναι υγρή). Αν ο τυχαίος αριθμός είναι μεγαλύτερος από την πιθανότητα, τότε η ημέρα καταγράφεται ως υγρή, αλλιώς ως ξηρή. Η διαδικασία συνεχίστηκε έως το τέλος του έτους και η τελευταία ημέρα του έτους έγινε προηγούμενη ημέρα για την έναρξη του επόμενου έτους. Με τον τρόπο αυτό παρήχθησαν 100 συνθετικές σειρές, 50 ετών η καθεμία (όση και η οικονομική ζωή του έργου) από τις οποίες προέκυψε μια μέση συνθετική σειρά.

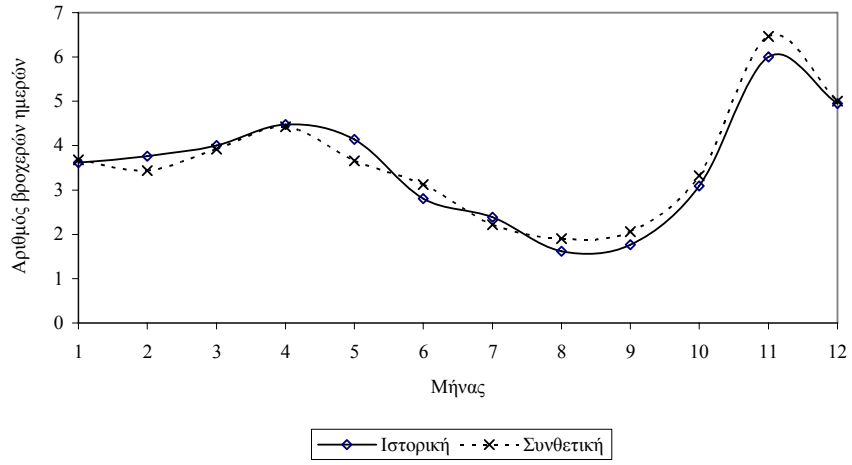


Σχήμα 1. Εξομαλυμένες με τη διαδικασία των κινούμενων μέσων 5 ημερών ημερήσιες τιμές πιθανοτήτων p_{ww} της περιόδου 1977-1997 στο σταθμό του Αγίου Μάμα.



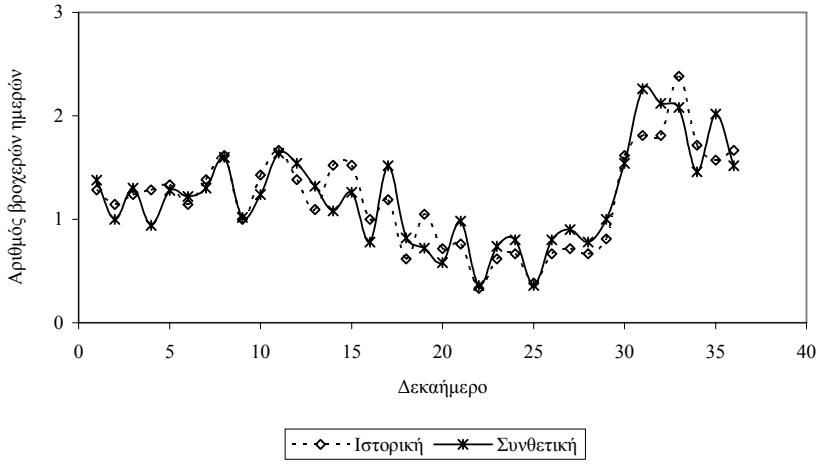
Σχήμα 2. Εξομαλυμένες με τη διαδικασία των κινούμενων μέσων 5 ημερών ημερήσιες τιμές πιθανοτήτων p_{wd} της περιόδου 1977-1997 στο σταθμό του Αγίου Μάμα.

Στο Σχήμα 3 φαίνεται ο μέσος μηνιαίος αριθμός των βροχερών ημερών της ιστορικής και της συνθετικής σειράς των βροχοπτώσεων του Αγίου Μάμα.

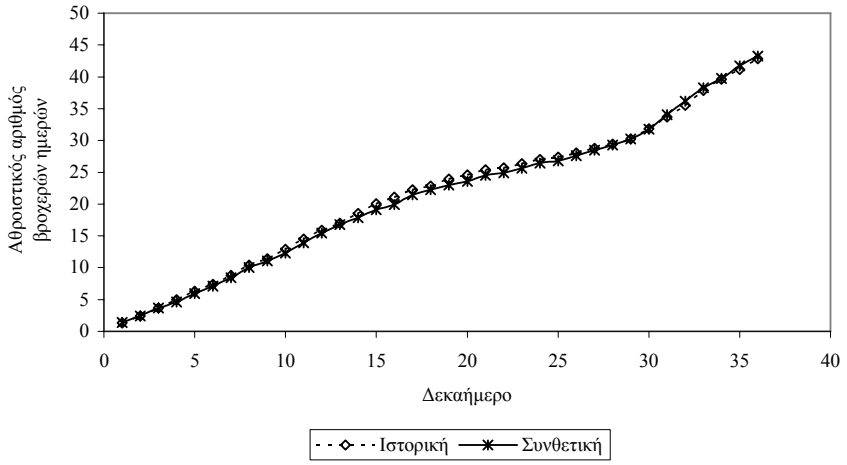


Σχήμα 3. Μέσος μηνιαίος αριθμός βροχερών ημερών ιστορικής και συνθετικής σειράς βροχόπτωσης στο σταθμό του Αγίου Μάμα.

Στα Σχήματα 4 και 5 φαίνονται ο μέσος αριθμός των βροχερών ημερών για κάθε δεκαήμερο και ο αθροιστικός αριθμός των βροχερών ημερών κάθε δεκαημέρου, για την ιστορική και τη συνθετική σειρά των βροχοπτώσεων του σταθμού του Αγίου Μάμα, αντίστοιχα.



Σχήμα 4. Μέσος αριθμός βροχερών ημερών δεκαημέρων ιστορικής και συνθετικής σειράς βροχόπτωσης στο σταθμό του Αγίου Μάμα.



Σχήμα 5. Αθροιστικός αριθμός βροχερών ημερών δεκαημέρων ιστορικής και συνθετικής σειράς βροχόπτωσης στο σταθμό του Αγίου Μάμα.

Από τα Σχήματα 3, 4 και 5, προκύπτει ότι η στοχαστική προσομοίωση της επισύμβασης της βροχόπτωσης είναι πολύ καλή.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε συνθετική παραγωγή της επισύμβασης ημερήσιων βροχοπτώσεων στο σταθμό του Αγίου Μάμα Χαλκιδικής χρησιμοποιώντας μοντέλα διακριτής επισύμβασης τα οποία βασίζονται στις αλυσίδες Markov. Χρησιμοποιείται μια πρώτης τάξης, δύο καταστάσεων αλυσίδα Markov και υπολογίζονται οι πιθανότητες

μετάβασης για κάθε ημέρα του έτους. Οι χρονοσειρές των πιθανοτήτων υπόκεινται σε εξομάλυνση με τη διαδικασία κινούμενων μέσων όρων 5 ημερών. Στη συνέχεια με τη βοήθεια τυχαίων αριθμών ομοιόμορφης κατανομής έγινε παραγωγή συνθετικών σειρών υγρών ή ξηρών ημερών. Από τη σύγκριση μεταξύ συνθετικής και ιστορικής σειράς του μέσου αριθμού των βροχερών κάθε μήνα και κάθε δεκαημέρου και του αθροιστικού αριθμού βροχερών ημερών των δεκαημέρων προκύπτει ότι η παραπάνω διαδικασία είναι κατάλληλη για τη συνθετική παραγωγή χρονοσειρών επισύμβασης ημερήσιων βροχοπτώσεων οποιασδήποτε διάρκειας. Πρέπει να σημειωθεί ότι για να ολοκληρωθεί η συνθετική παραγωγή της βροχόπτωσης απαιτείται και το ύψος της για κάθε υγρή ημέρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Young M.D.B.. 2002. Development and application of PARCHED-THIRST: A user-friendly agrohydrological model for dry land cropping system. Ph.D. Thesis. Newcastle Upon Tyne. University of Newcastle Upon Tyne. 230 p.
2. Γεωργίου Π.Ε.. 2004. Βελτιστοποίηση λειτουργίας ταμιευτήρων για αρδευτικούς σκοπούς. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ. 341 σελ.
3. Richardson C.W.. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. Water Resources Research. 17(1). 182-190.
4. Geng S., De Vries F.W.T.P. and Supit I.. 1986. A simple method for generating daily rainfall data. Agricultural and Forest Meteorology. 36. 363-376.
5. Παπαμιχαήλ Δ.Μ.. 1991. Στοχαστική υδρολογία. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις στο Μεταπτυχιακό Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων. Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ.. Θεσσαλονίκη. 175 σελ.
6. Young M.D.B. and Gowing J.W.. 1996. The PARCHED-THIRST model – User Guide (Version 1.0). University of Newcastle Upon Tyne. U.K.. 109 p.
7. Nelson R.. 2002. ClimGen – Climate data generator User's Manual. Washington State University.
8. Ochola W.O. and Kerkides P.. 2003. A Markov chain simulation model for predicting critical wet and dry spells in Kenya: Analysing rainfall events in the Kano Plains. Irrigation and Drainage. 52. 327-342.
9. Mimikou M.. 1983. Daily precipitation occurrences modeling with Markov chain of seasonal order. Hydrological Sciences – Journal. 28. 2 (6). 221-232.
10. Cowpertwait P.S.P., O'Connell P.E., Metcalfe A.V. and Mawdsley J.A.. 1996. Stochastic point process modelling of rainfall. I. Single-site fitting and validation. Journal of Hydrology. 175. 17-46.
11. Wang Z.M.. 1997. Conceptual stochastic streamflow models for Monte Carlo simulation and forecasting. Ph.D. Thesis. V.U.B. – Hydrologie. 192 p.
12. Buishand T.A.. 1978. Some remarks on the use of daily rainfall models. Journal of Hydrology. 36. 295-308.
13. Srikanthan R. and McMahon T.A.. 1983. Stochastic simulation of daily rainfall for Australian stations. Transactions of the ASAE. 754-766.
14. Tsakiris G., Agrafiotis G. and Kiountouzis E.. 1984. Modeling the occurrence of wet and dry periods. Proc. 5th Int. Conf. Water Resources Planning and Management. Athens. 5.121-5.135.
15. Παπούλης Α.. 1994. Πιθανότητες, τυχαίες μεταβλητές και στοχαστικές διαδικασίες. Εκδόσεις Α. Τζιόλα. Θεσσαλονίκη. 818 σελ.

16. Press W.H., Flannery B.P., Teukolsky S.A. and Vetterling W.T.. 1987. Numerical recipes. Cambridge University Press. Cambridge. 963 p.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΚΡΟΗΣ ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ

Χ. Δουλγέρης και Θ. Ζήσης
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Τμήμα Γεωπονίας του Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται δύο μέθοδοι υπολογισμού του ορίου εκροής του γλυκού νερού σε προβλήματα διείσδυσης του θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Εφαρμογή γίνεται στο κλασσικό διδιάστατο πρόβλημα του Henry, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Εξετάζεται η επίδραση του μεγέθους των στοιχείων, καθώς και διαφορετικών υδρογεωλογικών συνθηκών, στον καθορισμό του μεγέθους του ορίου εκροής. Στο όριο αυτό, το οποίο δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων, εφαρμόζεται οριακή συνθήκη δευτέρου τύπου. Με τις μεθόδους αυτές είναι δυνατόν να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή του κατά τη διάρκεια των υπολογισμών μιας προσομοίωσης.

CALCULATION OF FRESHWATER OUTFLOW BOUNDARY ON SEAWATER INTRUSION IN COASTAL AQUIFERS

Ch. Doulgeris and T. Zissis
Dept. of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki, 54124, Greece

ABSTRACT

In this paper two methods are presented for the calculation of freshwater outflow boundary in problems of seawater intrusion in coastal aquifers. The methods were tested against the Henry problem using the finite element method. The effect of the element size and the effect of different hydrogeological conditions were studied on the variation of the freshwater outflow boundary size. The freshwater outflow boundary, where a second type boundary condition is required, is not know a priori and it may vary with time. By using these methods the variation of its size can be obtained during a model simulation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Henry [3] παρουσίασε μία ημιαναλυτική λύση που προσομοίωνε την κατανομή των αλάτων σε συνθήκες ισορροπίας ενός κλειστού υδροφορέα, θεωρώντας τη ροή ρευστού μεταβλητής πυκνότητας. Στη συνέχεια ″το πρόβλημα του Henry″ έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για τον έλεγχο αριθμητικών λύσεων προσομοίωσης της διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων έχουν παρουσιασθεί λύσεις, μεταξύ άλλων, [6,2,4,7,5,10].
Στη λύση του Henry [3] η οριακή συνθήκη προς τη πλευρά της θάλασσας λαμβάνεται ως όριο γνωστής συγκέντρωσης. Στις αριθμητικές λύσεις των πεπερασμένων στοιχείων που προαναφέρθηκαν μόνο το κάτω τμήμα του ορίου θεωρείται όριο γνωστής συγκέντρωσης ενώ το υπόλοιπο λαμβάνεται ως όριο εκροής του γλυκού νερού. Το μέγεθος αυτού του ορίου εκροής λαμβάνεται διαφορετικό μεταξύ των διαφόρων αριθμητικών λύσεων.
Ο υπολογισμός του ορίου εκροής μπορεί να γίνει με βάση την κατεύθυνση των ταχυτήτων προς την πλευρά της θάλασσας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται δύο μέθοδοι υπολογισμού του ορίου εκροής. Στον πρώτο τρόπο εξετάζονται οι ταχύτητες στο μέσο της πλευράς των στοιχείων, όπως προκύπτουν με παρεμβολή, από την εξίσωση Darcy και τις υπολογιζόμενες τιμές του φορτίου και της συγκέντρωσης στους κόμβους των στοιχείων. Στο δεύτερο τρόπο ελέγχονται οι ταχύτητες στους κόμβους του δικτύου, όπως υπολογίζονται με εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων στην εξίσωση Darcy. Εξετάζεται επίσης η επίδραση του μεγέθους των στοιχείων στον υπολογισμό του ορίου εκροής. Τέλος, εξετάζεται η επίδραση της παροχής επαναπλήρωσης του γλυκού νερού καθώς και της υδραυλικής αγωγιμότητας στη διαμόρφωση του ορίου εκροής.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ – ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

Θεωρώντας τη ροή ρευστού μεταβλητής πυκνότητας, οι εξισώσεις που διέπουν το φαινόμενο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφορείς, προκύπτουν από την εξίσωση συνέχειας του ρευστού, την εξίσωση συνέχειας μίας διαλυμένης συντηρητικής ουσίας, την εξίσωση του Darcy και μία σχέση που συνδέει την πυκνότητα του ρευστού με τη συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας.
Η μερική διαφορική εξίσωση που περιγράφει τη ροή ρευστού μεταβλητής πυκνότητας γράφεται [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left[K_{i,j}\cdot\left(\frac{\partial h}{\partial x_j}+\beta_c'\cdot c\cdot\frac{\partial z}{\partial x_j}\right)\right]=S_S\cdot\frac{\partial h}{\partial t}+n\cdot\beta_c'\cdot\frac{\partial c}{\partial t} \qquad (2.1)$$

όπου h είναι το υδραυλικό φορτίο αναφοράς ως προς το γλυκό νερό, $K_{i,j}$ είναι η υδραυλική αγωγιμότητα, β_c' είναι ο συντελεστής της μεταβολής της πυκνότητας με τη συγκέντρωση, c είναι η σχετική, αδιάστατη, συγκέντρωση που μεταβάλλεται από 0 έως 1, S_S είναι η ειδική αποθηκευτικότητα, n το πορώδες του μέσου, x_i (i=1,2) είναι οι συνιστώσες του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων (x,z) και t ο χρόνος.
Η μερική διαφορική εξίσωση που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της μεταφοράς των αλάτων γράφεται [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left[D_{i,j}\cdot\frac{\partial c}{\partial x_j}\right]=n\cdot\left(1-\frac{\rho_0}{\rho}\cdot\beta'_c\cdot c\right)\cdot\left[V_i\cdot\frac{\partial c}{\partial x_i}+\frac{\partial c}{\partial t}\right] \tag{2.2}$$

όπου $D_{i,j}=nD_{hi,j}$, $D_{hi,j}$ είναι ο συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς και V_i το διάνυσμα της ταχύτητας του ρευστού.
Το διάνυσμα της ταχύτητας, για μεταβλητής πυκνότητας ροή, προκύπτει με βάση την εξίσωση Darcy και είναι

$$V_i=-\frac{1}{n}\cdot K^0_{i,j}\cdot\left(\frac{\partial h}{\partial x_j}+\beta'_c\cdot c\cdot\frac{\partial z}{\partial x_j}\right) \tag{2.3}$$

όπου $K^0_{i,j}=\rho_0\cdot g\cdot k_{i,j}/\mu$ είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του γλυκού νερού.
Η σχέση που συνδέει την πυκνότητα με τη συγκέντρωση για προβλήματα διείσδυσης θαλασσινού νερού λαμβάνεται ως μια γραμμική σχέση της μορφής:

$$\rho=\rho_0\cdot(1+\beta'_c\cdot c) \tag{2.4}$$

Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται για τη μοναδικότητα της λύσης είναι είτε πρώτου τύπου (Dirichlet) είτε δευτέρου τύπου (Neuman).
Η αριθμητική επίλυση των εξισώσεων γίνεται με την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων διακριτοποιώντας την περιοχή ροής με γραμμικά τετραπλευρικά στοιχεία. Χρησιμοποιείται η μέθοδος Galerkin για την επίλυση στο χώρο και ένα σχήμα πεπερασμένων διαφορών για την προσέγγιση στο χρόνο. Έτσι, από τη (2.1) και (2.2) προκύπτουν τα συστήματα των αλγεβρικών εξισώσεων που είναι, αντίστοιχα [10]:

$$A_{I,J}\cdot h_J^{k+1}=B_I \tag{2.5}$$

$$A'_{I,J}\cdot c_J^{k+1}=B'_I \tag{2.6}$$

όπου I, J είναι οι δείκτες των κόμβων (I, J = 1, 2,… N), h_J, c_J οι τιμές του φορτίου και της συγκέντρωσης στους κόμβους, αντίστοιχα, N ο αριθμός των κόμβων του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων, Δt είναι το χρονικό βήμα, k+1 και k δηλώνουν τις τιμές των μεταβλητών σε διαδοχικές χρονικές στιγμές.
Τα μητρώα των (2.5) και (2.6) δίνονται από τις σχέσεις [10]:

$$A_{I,J}=\sum_e A^e_{I,J}=\sum_e\int_{U^e}(K_{i,j}\cdot\frac{\partial N_I}{\partial x_i}\cdot\frac{\partial N_J}{\partial x_j}+\frac{S_S}{\Delta t}\cdot N_I\cdot N_J)dU \tag{2.7α}$$

$$B_I=\sum_e B^e_I=\sum_e[\int_{R^e}N_i\cdot q_n dR-\int_{U^e}(\beta'_c\cdot K_{i,j}\cdot N_J\cdot c_J^{k+1}\cdot\frac{\partial N_I}{\partial x_i}\cdot\eta_j + \frac{n\cdot\beta'_c}{\Delta t}\cdot N_I\cdot N_J\cdot(c_J^{k+1}-c_J^k)-\frac{S_S}{\Delta t}\cdot N_I\cdot N_J\cdot h_J^k)dU] \tag{2.7β}$$

$$A'_{I,J}=\sum_e A'^e_{I,J}=\sum_e\int_{U^e}[D_{i,j}\cdot\frac{\partial N_I}{\partial x_i}\cdot\frac{\partial N_J}{\partial x_j}+Wc\cdot(V_I\cdot N_I\cdot\frac{\partial N_J}{\partial x_i}+\frac{1}{\Delta t}N_I\cdot N_J)]dU \tag{2.8α}$$

$$B'_I = \sum_e B'^e_I = \sum_e \Big[\int_{R^e} N_i \cdot (D_{i,j} \cdot \frac{\partial c}{\partial x_j}) n_i dR + \int_{U^e} \frac{1}{\Delta t} Wc \cdot N_I \cdot N_J \cdot c_J^k dU \Big] \quad (2.8\beta)$$

όπου U^e είναι ο χώρος του στοιχείου e με όριο R^e, q_n είναι η εισερχόμενη παροχή ανά μονάδα επιφάνειας κάθετη στο ορίο R^e, N_I είναι οι γραμμικές συναρτήσεις μορφής, η_j=1 για την κατακόρυφη διεύθυνση και η_j=0 για την οριζόντια, ενώ η άθροιση αναφέρεται στην συνένωση των στοιχείων.
Ο υπολογισμός των ταχυτήτων γίνεται στα σημεία ολοκλήρωσης από τη (2.3) [2,4,7].
Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού των ταχυτήτων είναι αυτός που περιλαμβάνει επίλυση της εξίσωσης Darcy [εξ. (2.3)] με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων [8]. Έτσι από τη (2.3) παίρνουμε [9]:

$$A''_{I,J} \cdot V_J^{k+1} = B''_{I,J} \quad (2.9)$$

όπου τα μητρώα της (2.9) δίνονται από τις σχέσεις:

$$A''_{I,J} = \sum_e A''^e_{I,J} = \sum_e \int_{U^e} N_I \cdot N_J dU \quad (2.10\alpha)$$

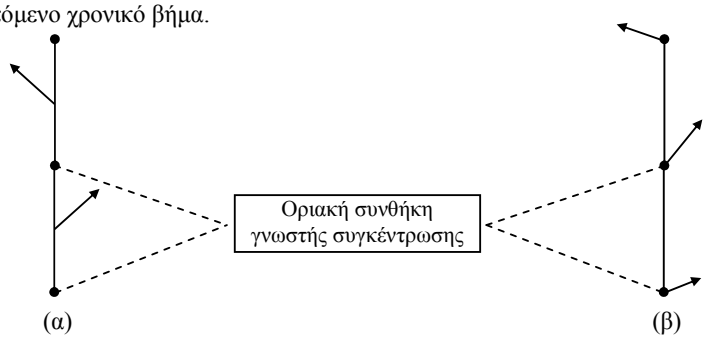
$$B''_{I,J} = \sum_e B''^e_{I,J} = \sum_e \int_{U^e} -\frac{\rho_0}{\rho \cdot n} \cdot N_J \cdot (K_{i,j} \cdot (\frac{\partial N_J}{\partial x_j} \cdot h_J^{k+1} + \beta'_c \cdot N_J \cdot c_J^{k+1} \cdot \eta_j)) dU \quad (2.10\beta)$$

Για την επίλυση των εξισώσεων εφαρμόζεται μία επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων (2.5) με δεδομένη τη συγκέντρωση. Γίνεται υπολογισμός των ταχυτήτων με τη βοήθεια της (2.3) ή (2.9), και στη συνέχεια επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων (2.6). Μετά την επίτευξη σύγκλισης και τις νέες τιμές των συγκεντρώσεων επιλύεται εκ νέου η (2.5) κ.ο.κ..
Η εφαρμογή όλων των παραπάνω έγινε με τη βοήθεια του μαθηματικού μοντέλου που έχει παρουσιασθεί από τους [9,10].

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΚΡΟΗΣ

Κατά την εφαρμογή των οριακών συνθηκών απαιτείται να είναι γνωστό το μέγεθος του ορίου εκροής του γλυκού νερού. Το όριο εκροής μπορεί υπολογισθεί με βάση την κατεύθυνση των ταχυτήτων με δύο διαφορετικούς τρόπους.
Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο, ο υπολογισμός των ταχυτήτων γίνεται στο μέσο της πλευράς των στοιχείων, που βρίσκονται στο όριο της θάλασσας, από τη (2.3). Εάν η ταχύτητα έχει κατεύθυνση προς την θάλασσα τότε η πλευρά του στοιχείου θεωρείται όριο εκροής, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 1α.
Σύμφωνα με το δεύτερο τρόπο ελέγχονται οι τιμές των ταχυτήτων στους κόμβους των στοιχείων που προκύπτουν από τη (2.7). Εάν η κατεύθυνση της ταχύτητας στον κόμβο είναι προς την πλευρά του υδροφορέα τότε στον κόμβο αυτό εφαρμόζεται οριακή συνθήκη γνωστής συγκέντρωσης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1β.
Το όριο εκροής δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων για συγκεκριμένες υδρογεωλογικές συνθήκες και διαστάσεις του υδροφορέα. Στην παρούσα λύση χρησιμοποιείται μία διαδικασία η οποία συνοψίζεται ως εξής: 1) Γίνεται επίλυση του προβλήματος με συγκεκριμένες οριακές συνθήκες για ένα χρονικό βήμα, 2) ελέγχεται η κατεύθυνση των ταχυτήτων στους κόμβους ή τις πλευρές των στοιχείων που βρίσκονται σε επαφή με τη

θάλασσα, 3) εάν χρειασθεί, γίνεται αλλαγή στις οριακές συνθήκες προς τη πλευρά της θάλασσας και 4) γίνεται επίλυση του προβλήματος με τις καινούργιες οριακές συνθήκες για το επόμενο χρονικό βήμα.

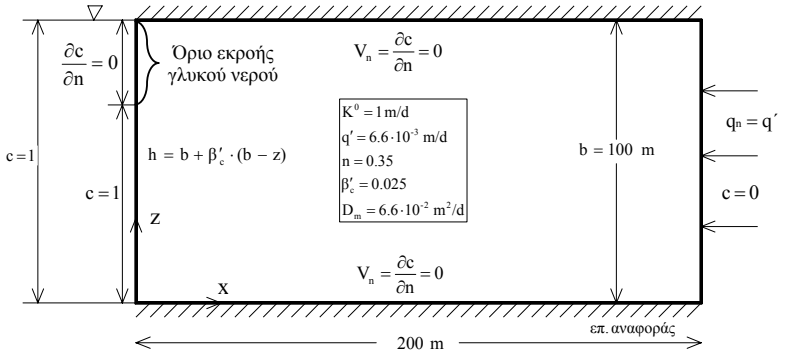


Σχήμα 1. Υπολογισμός του ορίου εκροής με βάση α) τις ταχύτητες στα μέσα των πλευρών των στοιχείων και β) τις ταχύτητες στους κόμβους των στοιχείων

4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.1. Το πρόβλημα του Henry

Το πρόβλημα του Henry αφορά την προώθηση του μετώπου του θαλασσινού νερού σε ένα ομογενές και ισότροπο κλειστό υδροφόρο στρώμα, το οποίο αρχικά θεωρείται κορεσμένο με γλυκό νερό. Από τη δεξιά πλευρά ο υδροφορέας δέχεται σταθερή επαναπλήρωση γλυκού νερού. Η αριστερή πλευρά του υδροφορέα είναι σε επαφή με θαλασσινό νερό και έτσι αρχίζει η διείσδυση αυτού στον υδροφορέα μέχρις ότου επέλθει ισορροπία. Το πάνω και κάτω όριο του υδροφορέα θεωρούνται αδιαπέρατα.



Σχήμα 2. Οι οριακές συνθήκες και οι παράμετροι στο πρόβλημα του Henry

Στο όριο προς την πλευρά της θάλασσας ο Henry θεώρησε ότι είναι όριο γνωστής συγκέντρωσης. Οι Segol et al. [6] θεώρησαν ότι το πάνω τμήμα του ορίου είναι όριο εκροής του γλυκού νερού προς τη θάλασσα, ενώ το υπόλοιπο κατώτερο τμήμα του ορίου είναι όριο γνωστής συγκέντρωσης. Η μικτή αυτή οριακή συνθήκη, η οποία περιγράφει πιο ορθά το φυσικό πρόβλημα, υιοθετήθηκε και σε άλλες λύσεις πεπερασμένων στοιχείων [2,4,7,5,10]. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι δύο

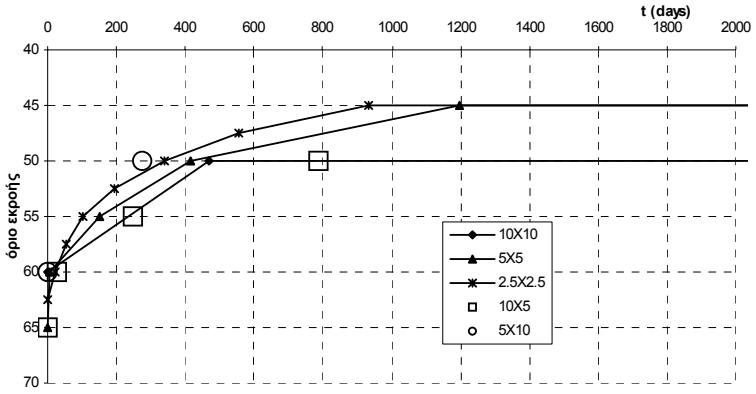
διαφορετικές προσεγγίσεις προς τη πλευρά της θάλασσας, οι υπόλοιπες οριακές συνθήκες και οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το πρόβλημα του Henry.
Το μέγεθος του ορίου εκροής του γλυκού νερού προς τη πλευρά της θάλασσας εμφανίζεται διαφορετικό μεταξύ των διαφόρων ερευνητών. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται το μέγεθος του ορίου εκροής που χρησιμοποιείται στις λύσεις αυτών, όπως εξάγεται από τα αποτελέσματα που παρουσιάζουν.

Πίνακας 1. Μέγεθος ορίου εκροής στις διάφορες λύσεις

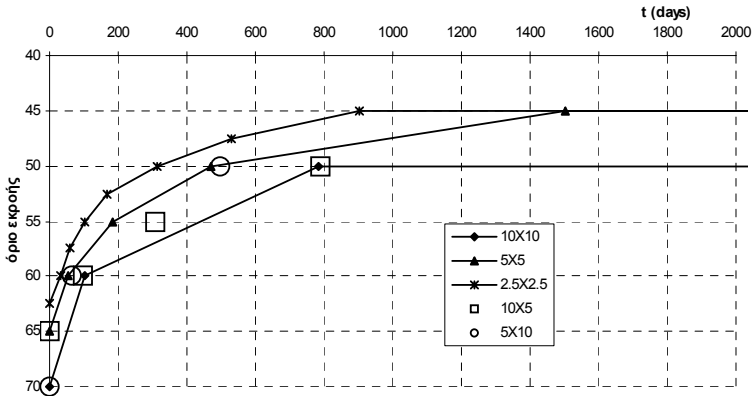
Αριθμητική λύση	Όριο (%)
Segol et al. (1975)	40
Frind (1982)	30
Hyakorn et al. (1987)	30
Voss and Souza (1987)	40
Kolditz et al. (1998)	50
Ζήσης και Δουλγέρης (2003)	30

4.2. Υπολογισμός του ορίου εκροής

Αρχικά θεωρείται ότι η συγκέντρωση είναι μηδέν και το φορτίο αναφοράς 100 m σε όλη την περιοχή ροής. Η προώθηση του μετώπου υφαλμύρινσης ξεκινά θεωρώντας ότι το όριο εκροής του γλυκού νερού είναι μηδέν. Οι υδρογεωλογικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται αναφέρονται στο Σχήμα 2. Για τη διακριτοποίηση της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικά ομοιόμορφα δίκτυα, διαστάσεων 10x10, 5x5, 2.5x2.5, 10x5, και 5x10 m, ενώ το χρονικό βήμα ήταν σταθερό και ίσο με Δt=5 ημέρες.
Στο Σχήμα 3α παρουσιάζεται η μεταβολή του ορίου εκροής σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο όπου ελέγχεται το διάνυσμα της ταχύτητας στα μέσα των πλευρών των στοιχείων. Παρατηρούμε ότι για το δίκτυο των 10x10 m το όριο σταθεροποιείται σε χρόνο λίγο μετά τις 400 ημέρες στο 50% του μήκους του ορίου, και παραμένει στην τιμή αυτή καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Εάν χρησιμοποιηθεί όμως το δίκτυο των 5x5 m το όριο εκροής είναι 50% στις 400 ημέρες, αλλά σε χρόνο 1200 ημερών μειώνεται στο 45%. Η μεταβολή αυτή που παρατηρείται με το δίκτυο των 5x5 m οφείλεται στην πυκνότερη διακριτοποίηση ως προς τον κατακόρυφο άξονα. Επίσης, χρησιμοποιώντας το πιο πυκνό δίκτυο των 2.5x2.5 m το όριο σταθεροποιείται στο 45% αλλά σε μικρότερο χρόνο απ' ότι με το δίκτυο των 5x5 m. Η εφαρμογή των άλλων δύο δικτύων, των 10x5 m και 5x10 m επιβεβαιώνει την ισχύ της μεθόδου και για μη τετραγωνικά στοιχεία.
Παρόμοια συμπεράσματα εξάγονται και από το Σχήμα 3β, όπου ο υπολογισμός του ορίου γίνεται με βάση το διάνυσμα των ταχυτήτων στους κόμβους των στοιχείων. Έτσι, για τις υδρογεωλογικές συνθήκες του προβλήματος του Henry το όριο εκροής σταθεροποιείται στο 50% για δίκτυο στοιχείων 10x10 m και στο 45% για στοιχεία μεγέθους 5x5 και 2.5x2.5 m και για τις δύο μεθόδους υπολογισμού του ορίου εκροής. Στα Σχήματα 4α,β παρουσιάζονται τα διανύσματα των ταχυτήτων στους κόμβους των στοιχείων κοντά στο όριο εκροής για το δίκτυο των 5x5 m στους χρόνους 400 και 1000 ημέρες, αντίστοιχα, όπου παρατηρούνται οι διαφορετικές κατανομές των διανυσμάτων της ταχύτητας.

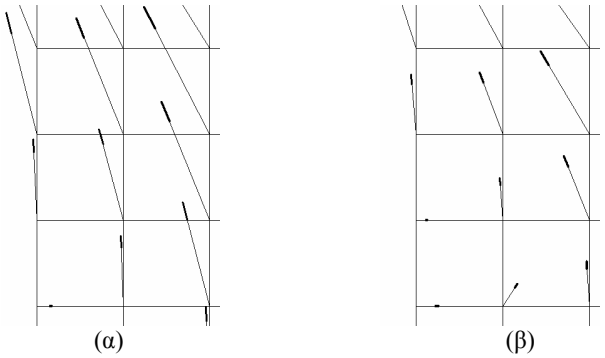


(α)



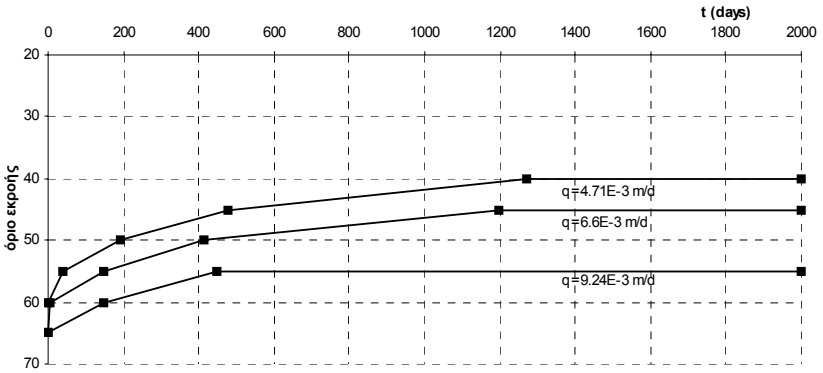
(β)

Σχήμα 3. Μεταβολή του ορίου εκροής με το χρόνο με βάση α) τις ταχύτητες στα μέσα των πλευρών των στοιχείων και β) τις ταχύτητες στους κόμβους των στοιχείων

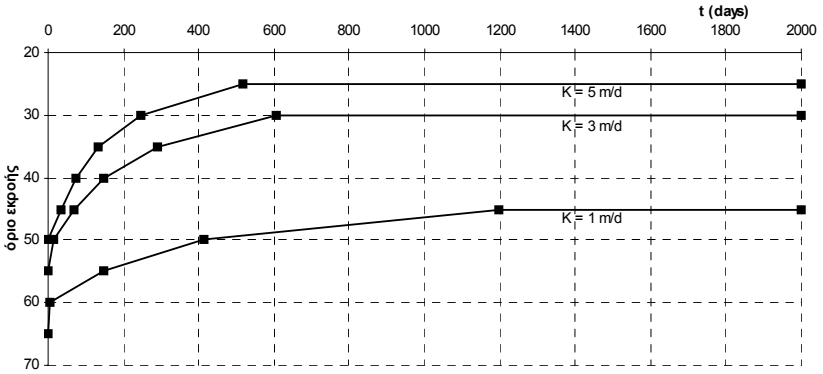


(α) (β)

Σχήμα 4. Ταχύτητες προς τη πλευρά της θάλασσας σε χρόνο α) 400 και β) 1000 ημέρες



(α)



(β)

Σχήμα 5. Μεταβολή του ορίου εκροής με το χρόνο για διαφορετικές τιμές
α) ειδικής παροχής επαναπλήρωσης και β) υδραυλικής αγωγιμότητας

Χρησιμοποιώντας το δίκτυο των 5x5 m και μεταβάλλοντας τις υδρογεωλογικές παραμέτρους του Σχήματος 2, ελέγχθηκε η επίδραση στον καθορισμό του ορίου εκροής στις εξής διαφορετικές περιπτώσεις:

i. Για μεταβαλλόμενη τιμή του συντελεστή υδροδυναμικής διασποράς. Θέτοντας D_m=0 m^2/d και $\alpha_L=\alpha_T$=3.5 m [2,4], το μέγεθος του ορίου εκροής έχει αντίστοιχη μεταβολή με αυτή του Σχήματος 3.

ii. Για μεταβολή ±40% της τιμής της ειδικής παροχής επαναπλήρωσης του γλυκού νερού. Με μείωση ή αύξηση της παροχής, q=4.71 10^{-3} m/d ή q=9.24 10^{-3} m/d, έχουμε αντίστοιχα μείωση ή αύξηση του ορίου εκροής, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5α. Αν λάβουμε υπόψη ότι η παροχή επαναπλήρωσης μπορεί να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους, τότε πρέπει να αναμένουμε και αντίστοιχη μεταβολή του ορίου εκροής του γλυκού νερού.

iii. Για διαφορετικές τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5β, παρατηρείται σημαντική μείωση του ορίου εκροής με την αύξηση της τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την εφαρμογή αριθμητικών μοντέλων προσομοίωσης της διείσδυσης του θαλασσινού νερού, πρέπει να είναι γνωστό το όριο εκροής του γλυκού νερού προς τη θάλασσα. Το όριο εκροής, στο οποίο εφαρμόζεται οριακή συνθήκη δευτέρου τύπου, δεν είναι γνωστό εκ' των προτέρων για συγκεκριμένες υδρογεωλογικές συνθήκες και διαστάσεις του υδροφορέα. Δύο διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού του ορίου εκροής εφαρμόσθηκαν με επιτυχία στο πρόβλημα του Henry. Η πύκνωση του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων είχε ως αποτέλεσμα ακριβέστερο υπολογισμό του ορίου εκροής.

Το όριο εκροής του γλυκού νερού έχει διαφορετικές τιμές για διαφορετικές υδρογεωλογικές συνθήκες. Έτσι, με τη εφαρμογή των μεθόδων αυτών στα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της διείσδυσης του θαλασσινού νερού, μπορεί να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή του ορίου εκροής με το χρόνο κατά την πορεία των υπολογισμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bear. J.. 1999. Conceptual and Mathematical Modeling. Chap. 5 in J. Bear. A. H-D. Cheng. S. Sorek. D. Quaraz. and I. Herrera (Eds.). Seawater intrusion in coastal aquifers – concepts methods and practices. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 127-162.
2. Frind. E. O.. 1982. Simulation of long-term transient density-dependent transport in groundwater. Advances in Water Resources. 5. 73-88.
3. Henry. H. R.. 1964. Effects of dispersion on salt encroachment in coastal aquifers. in Sea Water in Coastal Aquifers. US Geological Survey Water Supply Paper. 1613-C.
4. Huyakorn. P.. Andersen. P.. Mercer. J. and White. H. 1987. Saltwater intrusion in aquifers: Development and testing of a three-dimensional finite element model. Water Resources Research. 23(2). 293-312.
5. Kolditz. O.. Ratke. R.. Diersch. H-J. and Zielke. W. 1998. Coupled groundwater flow and transport: 1. Verification of variable density flow and transport models. Advances in Water Resources. 21(1). 27-46.
6. Segol. G.. Pinder. G. and Gray. W.. 1975. A Galerkin-Finite Element Technique for Calculating the Transient Position of the Saltwater Front. Water Resources Research. 11(2). 343-347.
7. Voss. C. and Souza. W.. 1987. Variable-Density Flow and Solute Transport Simulation of Regional Aquifers Containing a Narrow Freshwater-Saltwater Transition Zone. Water Resources Research. 23 (10). 1851-1866.
8. Yeh. G. T..1981. On the computation of darcian velocity and mass balance in the finite element modeling of groundwater flow. Water Resources Research. 17(5). 1529-1534.
9. Δουλγέρης. Χ. και Ζήσης. Θ.. 2004. Προσομοίωση ροής ρευστού μεταβλητής πυκνότητας και μεταφοράς διαλυμένων ουσιών σε πορώδη μέσα – το πρόβλημα του Elder. Υδροτεχνικά. 14. 3-15.
10. Ζήσης. Θ. και Δουλγέρης. Χ.. 2003. Διδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για ροή μεταβλητής πυκνότητας σε παράκτιους υδροφορείς. 9^{ο} Πανελλήνιο συνέδριο ΕΥΕ. Θεσσαλονίκη. 329-336.

ΕΝΔΟΔΑΣΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΣΕ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΑ ΕΔΑΦΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

Κωνσταντίνος Καραγιάννης*
*Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, ΤΚ 541 24, Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται η βατότητα λεπτόκοκκων δασικών εδαφών από ελκυστήρες ελαφρού τύπου κατά τη μετατόπιση του ξύλου. Πάρθηκαν και μελετήθηκαν η αντοχή του εδάφους, ο αριθμός διαδρομών, η παραμόρφωση του εδάφους, το βάθος του ίχνους των τροχών. Οριοθετήθηκαν τα εδάφη σε βατά και μη από ελκυστήρες. Μελετήθηκε η απόσταση μεταξύ των παρόδων μετατόπισης σε εξάρτηση από τη μεταφερόμενη ποσότητα ξύλου, από την αντοχή του εδάφους και τον τύπο του ελκυστήρα. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της εργασίας θα αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για την πράξη.

Λέξεις κλειδιά: Βατότητα εδαφών, κίνηση ελκυστήρων, παραμόρφωση εδαφών, βάθος ίχνους τροχών, απόσταση παρόδων μετατόπισης.

INTER-FOREST CIRCULATION OF TRACTORS ON UNDISTURBED SOILS FOR WOOD SKIDDING

Karayannis Konstantinos*
* School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki 541 24

ABSTRACT

In this paper is investigated the accessibility of thin-grained forest soils by light-type tractors during wood skidding. There have been taken and studied the tolerance of soil, the number of routes, the deformation of soil and the depth of wheels' tracks. Also, the soils, were delimited into accessible and non-accessible for tractors. Next was studied the distance between the skidding paths in dependence from the transported amount of wood, the tolerance of soil and the type of tractor.
The results and the conclusions of the paper will constitute a useful tool in practice.

Keywords: Accessibility of soils, circulation of tractors, deformation of soils, depth of wheel tracks, distance of skidding paths.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσέγγιση ενός δασικού συμπλέγματος για την κάρπωση των οικονομικών και κοινωνικών αποδόσεων του δάσους επιτυγχάνεται με τη σύνδεση του με το επαρχιακό οδικό δίκτυο, με τη διάνοιξη των επιμέρους δασικών τμημάτων και συστάδων (βασικό δίκτυο) και με τη σύνδεση και διάνοιξη των επιμέρους συστάδων με το βασικό δίκτυο (λεπτοφυής διάνοιξη).

Η μετατόπιση του ξύλου από τις επιμέρους συστάδες μέχρι το δασικό δρόμο είναι δυνατόν να γίνει με ζώα έλξεως δια μέσου συρτών, με ελκυστήρες δια μέσου ελκυστοδρόμων ή πάνω σε αδιατάρακτα εδάφη (πάροδοι μετατόπισης) καθώς και σχοινιογερανούς [5]. Η κίνηση ελκυστήρων στις παρόδους μετατόπισης αποτελεί και αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

Οι πάροδοι μετατόπισης είναι λωρίδες φυσικού αδιατάρακτου εδάφους ελεύθερης βλάστησης και εμποδίων, στις οποίες εφόσον το έδαφος είναι βατό μπορούν να κινηθούν μηχανήματα μετατόπισης χωρίς διαμόρφωση του καταστρώματος [7].

Ένα φυσικό έδαφος χαρακτηρίζεται ως βατό, από δασοπονική άποψη, όταν αυτό διευκολύνει την κίνηση των ελκυστήρων μετατόπισης με βάση εδαφοτεχνικά κριτήρια, τεχνικά χαρακτηριστικά των ελκυστήρων και με βάση βιολογικές και κλιματικές συνθήκες [2,3].

Η βατότητα των εδαφών επηρεάζεται [1,2,9] από το είδος και τις ιδιότητες των εδαφών (κυρίως από την αντοχή), από τον τύπο, το βάρος και το φορτίο αξόνων των οχημάτων, το κλίμα και την εποχή του έτους καθώς και από την εγκάρσια κλίση της πλαγιάς και τη διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους. Από την άποψη της βατότητας τα εδάφη, με κριτήριο το διαφορετικό βάθος του ίχνους των τροχών και την αντοχή του εδάφους , χαρακτηρίζονται [2] μη βατά για πολύ κακή αντοχή (CBR <1 %), προβληματικά για κακή αντοχή (CBR =1-2 %), προβληματικά έως χωρίς προβλήματα βατότητας, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νερό, για αντοχή (CBR= 2-3%) και εδάφη χωρίς προβλήματα βατότητας για αντοχή εδάφους (CBR >3%).

Με κριτήρια την υδατοδιαπερατότητα, τη συμπιεστότητα και την αντοχή σε διάτμηση για μέσες καιρικές συνθήκες και χωρίς χιόνια η βατότητα και το βάθος ίχνους των τροχών επηρεάζονται κατά φθίνουσα σειρά από τα χονδρόκοκκα (διαρκή και καλή βατότητα) προς τα λεπτόκοκκα (κρίσιμη βατότητα) εδάφη [3].

Ο Καραγιάννης (1993) αναφέρει ότι σε πρώην γεωργικά εδάφη και νυν δασοσκεπής έκταση για τις ίδιες εδαφικές συνθήκες αυξάνει το βάθος του ίχνους των τροχών με την αύξηση των διαδρομών στις ίδιες αυλακώσεις, ενώ σε διαφορετικές αυλακώσεις δημιουργούνται διάφορα βάθη ίχνους τροχών και προτείνει την εκλογή μικρών αποστάσεων μεταξύ παρόδων μετατόπισης σε εδάφη με κακή αντοχή, ώστε να επιτυγχάνεται μείωση του αριθμού των διαδρομών ανά πάροδο μετατόπισης.

Ο Nipkow (1983) μελέτησε την αλληλεπίδραση των μηχανημάτων μετατόπισης του ξύλου και του εδάφους και κατέληξε ότι σε εδάφη με κακή αντοχή (CBR =1-2%) μειώνονται οι επιδράσεις των μηχανημάτων στο έδαφος, όταν αυτά είναι μέσου βάρους με μεγάλο πλάτος ελαστικών και σε εδάφη με πολύ κακή αντοχή (CBR =0-1%) μπορούν να κυκλοφορούν μηχανήματα με μεγάλα ελαστικά (Terrareifen).

Στην παρούσα εργασία σε δασικό λεπτόκοκκο έδαφος μελετήθηκε η βατότητά του με κριτήριο την αντοχή του (CBR %), η παραμόρφωσή του από το βάθος του ίχνους των τροχών, η επίδραση του αριθμού των διαδρομών του ελκυστήρα στο βάθος του ίχνους των τροχών, ο επιτρεπόμενος αριθμός διαδρομών (όρια βατότητας) και ο καθορισμός της απόστασης μεταξύ των παρόδων μετατόπισης. Για την πραγματοποίηση των παραπάνω πάρθηκαν και μελετήθηκαν ή συνδυάστηκαν κατάλληλα στοιχεία πεδίου κατά τη μετατόπιση του ξύλου με ελκυστήρα.

2. ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.1. Υλικά

Χρησιμοποιήθηκε ελκυστήρας ελαφρού τύπου (Fiat 640) για τη μετατόπιση του ξύλου καθώς και το χειροκίνητο όργανο (πενετόμετρο) για τη μέτρηση της αντοχής του εδάφους (CBR-τιμή %).
Πάρθηκαν στοιχεία πεδίου που αφορούσαν το βάθος του ίχνους των τροχών εντός των παρόδων μετατόπισης και ο αριθμός των διαδρομών που έγιναν καθώς και τιμές αντοχής του εδάφους εντός των παρόδων μετατόπισης.

2.2. Μέθοδος εργασίας

Σε συγκεκριμένη δασική περιοχή των Πιερίων (Ριζώμτα) καθορίστηκαν δύο πάροδοι μετατόπισης με κατά μήκος κλίσεις 25-30% και μήκους 150 μέτρων.
Μετρήθηκε με το πενετόμετρο η αντοχή του εδάφους κατά μήκος των παρόδων και σε απόσταση 30 μέτρων τόσο σε διαφορετικά βάθη, όσο και σε σταθερό βάθος των 40 εκατοστών. Η τελική τιμή που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο μέσος όρος τριών μετρήσεων για κάθε σημείο,. Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα προ και μετά τη μετατόπιση κατά το μήνα Ιούνιο.
Η αντοχή του εδάφους μετρήθηκε πριν τη μετατόπιση και κατά τους μήνες Αύγουστο, Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Απρίλιο, επειδή εξαρτάται και από την εποχή του έτους [2,6].
Μετρήθηκε η κατά μήκος παραμόρφωση του εδάφους (βάθος ίχνους των τροχών) μετά από 15 διαδρομές σε αποστάσεις ανά τριάντα μέτρα καθώς και στις πιο ευαίσθητες θέσεις (θέσεις μικρής αντοχής και υγρές), η παραμόρφωση του εδάφους εγκάρσια ως προς τον άξονα των παρόδων μετατόπισης (βάθος αυλάκωσης και ανύψωση εδάφους).
Η επίδραση του αριθμού των διαδρομών στο βάθος του ίχνους των τροχών μελετήθηκε με βάση τις σχέσεις 1 και 2 [2]

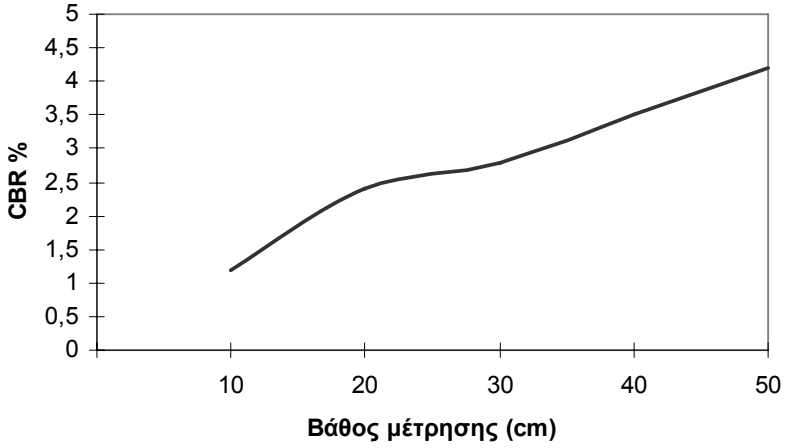
t = CBR-τιμή % X 0, 7 Kp/cm^2 (1)

$V = P/t$ (2)

Η τιμή CBR επί τοις %, η οποία μετρήθηκε πριν από τη μετατόπιση (Ιούνιο), μετατράπηκε στην ονομαζόμενη τιμή αντοχής (t) με βάση τη σχέση (1) και συσχετίστηκε με την πίεση (P) των ελαστικών με τη σχέση (2). Η τιμή της σχέσης (P/ t) εκφράζει τις συνθήκες του εδάφους κάτω από τον τροχό και για εδάφη με μικρή αντοχή δίνει μεγάλες τιμές και αντίθετα.
Ως βάθος ίχνους τροχών πάρθηκε η μέση τιμή των μετρήσεων από τις εγκάρσιες παραμορφώσεις του εδάφους.
Ο καθορισμός των ορίων βατότητας ή του επιτρεπόμενου αριθμού διαδρομών προσδιορίστηκε σε συνάρτηση της πίεσης των ελαστικών (P), της τιμής αντοχής (t) και για ελεύθερο ύψος του ελκυστήρα από το έδαφος 40 εκατοστών (τεχνικό όριο της βατότητας του εδάφους) [2].
Ο καθορισμός της απόστασης μεταξύ των παρόδων μετατόπισης έγινε με βάση την ποσότητα του ξύλου που θα μετατοπιστεί (m^3), τον τύπο του ελκυστήρα (ελαφρού ή βαρέων τύπου) που θα χρησιμοποιηθεί, την αντοχή του εδάφους και σε συνδυασμό με τα όρια βατότητας.
Για όλες τις περιπτώσεις της μεθοδολογίας συντάχτηκαν τα απαραίτητα σχήματα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο σχήμα 1 δείχνεται η μεταβολή της μέσης αντοχής του εδάφους κατά θέση και πάροδο πριν από τη μετατόπιση, η οποία αυξάνει από θέση σε θέση μετά του βάθους των παρόδων. Η μεταβολή αυτή αποδίδεται στη μείωση της υδατοχωρητικότητας μετά του βάθους [2] και στην κατάσταση του εδάφους (ξηρά ή υγρά κατάσταση). Η μέση συνολική τιμή της αντοχής του εδάφους (CBR-τιμή %) ανέρχεται σε 3%.



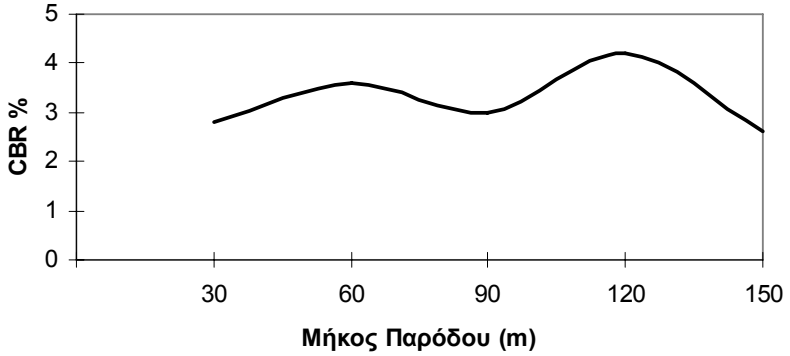
Σχήμα 1. Τιμή CBR % του εδάφους με αύξηση του βάθους μέτρησης

Στο σχήμα 2 δείχνεται η μεταβολή της αντοχής του εδάφους σε σταθερό βάθος των 40 εκατοστών μετά τη μετατόπιση και σε αποστάσεις των 30 εκατοστών κατά μήκος των παρόδων που παρουσιάζει μια κυματοειδής μορφή. Η μέση τιμή της αντοχής του εδάφους ανέρχεται σε 3,24%. Οι προεξοχές (μεγάλες τιμές CBR %) αντιστοιχούν σε ξηρά εδάφη ή στην ύπαρξη ριζικού συστήματος.

Οι τιμές (CBR %) της αντοχής του εδάφους μετά τη μετατόπιση γενικά δεν παρουσίασαν αξιόλογη διαφορά από τις τιμές πριν από τη μετατόπιση. Σε μερικές περιπτώσεις ήταν μικρότερες από τις τιμές πριν από τη μετατόπιση που σημαίνει ότι η συμπίεση του εδάφους δεν καλυτερεύει για κάθε περίπτωση την αντοχή του εδάφους. Οι δε τιμές σε υγρές θέσεις δεν ήταν κατά πολύ υψηλές από τις τιμές αντοχής πριν από τη μετατόπιση. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη μετάθεση της υγρασίας του εδάφους προς τα άνω.

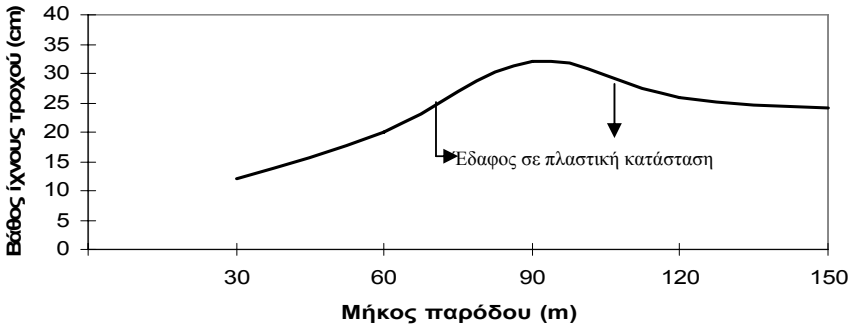
Οι εποχιακές τιμές της αντοχής του εδάφους (CBR %) πριν από τη μετατόπιση παρουσίασαν μια διακύμανση από 1 – 4,5%, δηλαδή από μία κακή αντοχή έως μεγάλη αντοχή [2].

Κατά τη θερινή περίοδο (Αύγουστο) πάρθηκαν μεγάλες τιμές αντοχής (3-5%). Η ποσότητα βροχής που πέφτει την εποχή αυτή αποβαίνει αρνητική σε σχέση με τη ξηρασία.

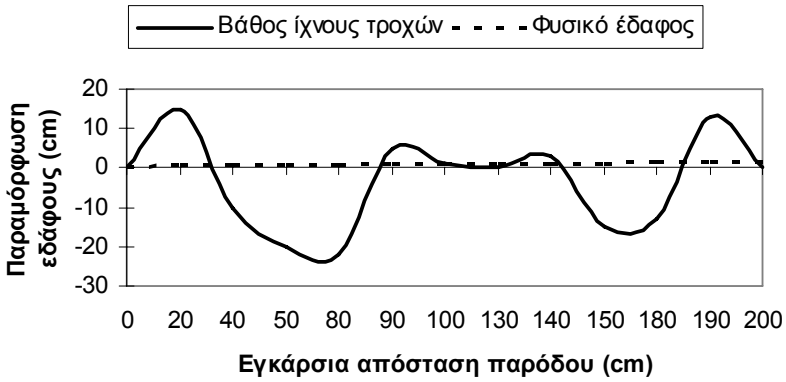


Σχήμα 2. Τιμή CBR % του εδάφους σε σταθερό βάθος μέτρησης.

Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο (Νοέμβρη) πάρθηκαν μέσες τιμές αντοχής (2-3%) λόγω υγρασίας του εδάφους, τη χειμερινή περίοδο (Φεβρουάριο) κακές αντοχές (1-2 %) με εξαίρεση περιόδους με ψυχρούς και ξηρούς ανέμους. Κατά τον Απρίλιο το έδαφος είχε αποκτήσει ικανοποιητική αντοχή (2-3%) λόγω μείωσης της υγρασίας του εδάφους.
Στα σχήματα 3 και 4 δείχνονται αντίστοιχα η κατά μήκος και η εγκάρσια παραμόρφωση του εδάφους που είναι διαφορετική από θέση σε θέση των παρόδων μετατόπισης και περίπου ανάλογη με τη μείωση της αντοχής του εδάφους και την αύξηση της υγρασίας του. Από παρατηρήσεις που έγιναν σε ορισμένες θέσεις με μεγάλη υγρασία, με μικρή αντοχή του εδάφους μετά από 7-8 διαδρομές, το βάθος του ίχνους των τροχών ελάμβανε τιμές 45-50 εκατοστά και το έδαφος καθίστατο μη βατό. Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιήθηκε το τεχνικό όριο της βατότητας του εδάφους [2]. Επίσης παρατηρήθηκε ότι, όταν οι συνθήκες του εδάφους είναι οι ίδιες αυξάνει το βάθος του ίχνους των τροχών με την αύξηση των διαδρομών στις ίδιες αυλακώσεις, ενώ αντίθετα δημιουργούνται διάφορα βάθη ίχνους τροχών σε διαφορετικές αυλακώσεις.

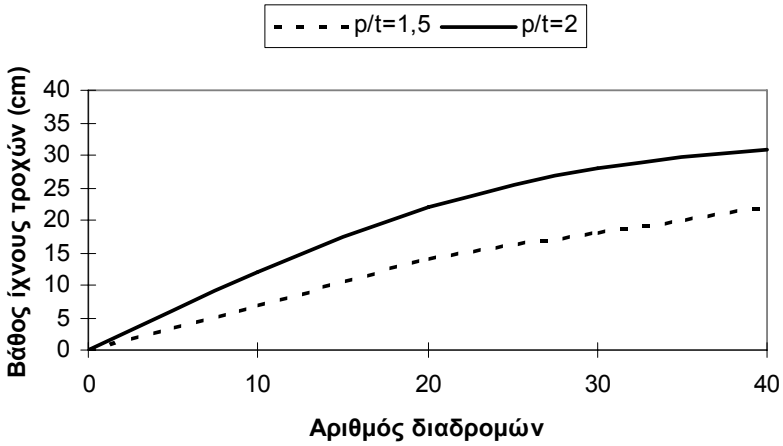


Σχήμα 3. Κατά μήκος παραμόρφωση του εδάφους.



Σχήμα 4. Εγκάρσια παραμόρφωση του εδάφους.

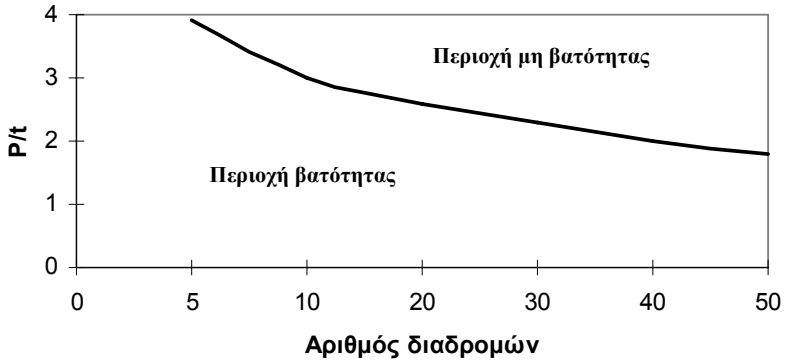
Το σχήμα 5 που παριστάνει την επίδραση του αριθμού των διαδρομών στο βάθος του ίχνους των τροχών σε εξάρτηση από την πίεση των ελαστικών (P) και την αντοχή του εδάφους (t), δείχνει ότι στις πρώτες δέκα διαδρομές το βάθος του ίχνους των τροχών αυξάνεται απότομα σε σχέση με την περαιτέρω αύξηση του αριθμού των διαδρομών, για τις ίδιες διαδρομές όσο αυξάνει η τιμή της σχέσης (P/t) αυξάνει και το βάθος του ίχνους των τροχών και ότι το βάθος του ίχνους των τροχών μετά από ορισμένες διαδρομές γίνεται ίσο με το ελεύθερο ύψος του ελκυστήρα για ορισμένη τιμή της σχέσης (P/t).



Σχήμα 5. Βάθος ίχνους των τροχών σε συνάρτηση της πίεσης των ελαστικών (P) και της αντοχής (t).

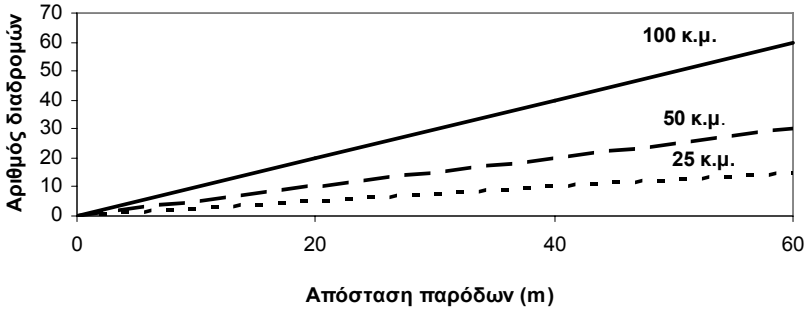
Εάν θεωρήσουμε ότι η τιμή (P) αυξάνεται (χρησιμοποίηση άλλου ελκυστήρα) και η τιμή (t) παραμείνει η ίδια, τότε η τιμή της σχέσης (P/t) αυξάνει και οι καμπύλες μετατίθενται προς τα πάνω με σύγχρονη αύξηση του βάθους του ίχνους των τροχών.

Στο σχήμα 6, όπου καθορίζονται τα όρια βατότητας, δηλ. ο επιτρεπόμενος αριθμός διαδρομών σε συνάρτηση με τη σχέση (P/t), η καμπύλη οριοθετεί τα εδάφη στην περιοχή μη βατότητας και στην περιοχή βατότητας (περίπτωση ελκυστήρα ελαφρού τύπου). Στην περιοχή βατότητας όσο τα εδάφη παρουσιάζουν μικρή αντοχή (η τιμή (P/t) αυξάνει) τόσο ελαττώνεται ο αριθμός διαδρομών.



Σχήμα 6. Όρια βατότητας σε συνάρτηση του αριθμού των διαδρομών και της σχέσης P/t.

Εάν θεωρήσουμε ότι χρησιμοποιούμε ελκυστήρα βαρέως τύπου (μεγαλύτερο ίδιο βάρος και φορτίο μεταφοράς ανά διαδρομή σε σύγκριση με ελαφρού τύπου ελκυστήρα) για τις ίδιες εδαφικές συνθήκες και τον ίδιο αριθμό διαδρομών, τότε η καμπύλη οριοθέτησης θα κείται χαμηλότερα από την καμπύλη του ελκυστήρα ελαφρού τύπου.
Στο σχήμα 7 που παριστάνει τη μεταβολή του αριθμού των διαδρομών σε συνάρτηση με την απόσταση μεταξύ των παρόδων μετατόπισης και τον όγκο που θα μετατοπιστεί, δείχνει ότι, όταν η απόσταση μεταξύ των παρόδων είναι η ίδια ή αυξάνει, όσο αυξάνει ο όγκος του ξύλου (m^3) για μετατόπιση τόσο αυξάνει ο απαιτούμενος αριθμός διαδρομών.



Σχήμα 7. Διαδρομές σε συνάρτηση της απόστασης των παρόδων και του όγκου προς μετατόπιση

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η αντοχή του εδάφους επιτρέπει τη χρησιμοποίηση ελκυστήρων ελαφρού τύπου κατά τη θερινή περίοδο χωρίς προβλήματα βατότητας των εδαφών
- Οι μικρές αποστάσεις μεταξύ των παρόδων μετατόπισης σε εδάφη με μικρή αντοχή συμβάλλουν στη μείωση της κατά μήκος και της εγκάρσιας παραμόρφωσης του εδάφους, ώστε να επιτυγχάνεται μείωση του αριθμού των διαδρομών ανά πάροδο μετατόπισης, οι κατάλληλες θέσεις για παρόδους μετατόπισης ως προς την υγρασία του εδάφους, τα ελαφρού τύπου μηχανήματα, τα μικρά φορτία μετατόπισης και η κατάλληλη εποχή του έτους για τη μετατόπιση του ξύλου (Μάιος έως Σεπτέμβριος)
- Η χρησιμοποίηση ελκυστήρα βαρέως τύπου σε εδάφη με τις ίδιες εδαφικές συνθήκες και τον ίδιο αριθμό διαδρομών δημιουργεί ίχνη τροχών μεγαλύτερου βάθους και το εύρος της περιοχής βατότητας γίνεται μικρότερο σε σύγκριση με αυτό των ελκυστήρων ελαφρού τύπου, επομένως η χρησιμοποίηση των ελκυστήρων βαρέως τύπου σε εδάφη με μικρή αντοχή είναι προβληματική
- Από τα όρια βατότητας και τη μεταβολή του αριθμού των διαδρομών σε συνάρτηση με την απόσταση των παρόδων μετατόπισης και του όγκου προς μετατόπιση συνάγονται:

1. Όταν τα εδάφη παρουσιάζουν μικρή αντοχή [μεγάλη τιμή (P/t)], ανεξάρτητα από τον τύπο του ελκυστήρα και την ποσότητα του ξύλου προς μετατόπιση, απαιτείται γενικά μικρή απόσταση μεταξύ των παρόδων μετατόπισης μέσα στην περιοχή βατότητας
2. Στα εδάφη με μικρή αντοχή και με μικρές αποστάσεις μεταξύ των παρόδων μετατόπισης, για τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας ξύλου, απαιτείται η χρησιμοποίηση ελαφρού τύπου ελκυστήρων (μικρό ίδιο βάρος καθώς και μικρότερο φορτίο/διαδρομή)
3. Για την ίδια ποσότητα ξύλου προς μεταφορά και τον ίδιο τύπο ελκυστήρα αυξάνεται ο αριθμός των διαδρομών με την αύξηση της απόστασης μεταξύ των παρόδων μετατόπισης. Η αύξηση αυτή προϋποθέτει μετάβαση σε εδάφη με σχετικά υψηλότερη αντοχή του εδάφους [μικρή τιμή(P/t)] μέσα στην περιοχή βατότητας. Η χρησιμοποίηση βαρέως τύπου ελκυστήρα στην περίπτωση αυτή είναι δυνατή.
4. Για τις περιπτώσεις ελληνικών παραγωγικών δασών κρίνονται ικανοποιητικές αποστάσεις μεταξύ παρόδων μετατόπισης 30-40 μέτρα. Οι αποστάσεις αυτές αντιστοιχούν σε μήκος σύρσης εκτός παρόδων μετατόπισης 15-20 μέτρων και σε 15-20 διαδρομές. Οι διαδρομές αυτές δίνουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης τόσο ελκυστήρων ελαφρού τύπου, όσο και βαρέως τύπου με προτίμηση τους πρώτους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Dietz P.- Knigge W. – Löffler H.. 1984. Walderschließung. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin.
2. Erdas O.. 1976. Bodenmechanische Probleme der Befahrbarkeit, der Bodentragfähigkeit und des Holzrückens in natürlichen Böden des schweizerischen Mittellandes. ETH, Diss. nt. 5830.

3. Löffler H.. 1982.. Terrain classification and ist relation to operational methods. Joint committee on Forest Workin Techniques and Training of Forest Workers, IUFRO Division III, seminar on the planning and technique of transport, Oslo.
4. Löffler H.. 1983. Risiken moderner forstlicher Arbeitsverfahren für Boden und Bestand. Forstw. Cbl. 102. H.2, S. 65-148.
5. Heinimann H-R.. 1986. Seilkraneinsatz in der Schweizer Alben. Eine Untersuchung über die Geläandeverhältnisse, die Erschließung und den Einsatz verschiedener Seilanlagen. Diss. ETH Nr. 7929.
6. Καραγιάννης Κ.. 1991. Εκτίμηση του βαθμού διάνοιξης του δάσους στις ορεινές περιοχές της Ελλάδας. Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη.
7. Καραγιάννης Κ.. 1992. Χαρακτηριστικά στοιχεία των παρόδων μετατόπισης του ξύλου και η αλληλοεπίδρασή τους. Επιστ. Επετ. Τμήματος Δασολογίας και Φ.Π. Τόμος ΛΕ/2. Αριθ. 27.
8. Καραγιάννης Κ.. 1993. Καθορισμός των παρόδων μετατόπισης σε φυσικά εδάφη. Επιστ. Επετ. Τμήματος Δασολογίας και Φ.Π. Τόμος ΛΣΤ.
9. Kuonen V.. 1983.. Wald- und Güterstrassen. Pfaffhausen, Eigenverlag des Verfassers.
10. Nipkow F. 1983.. Vorteile und Breitreifen für Forstschlepper auf schlecht tragfähigen Waldböden. Forstw. Cbl. 102. H. 2, S. 65-148.

ΤΟ ΥΣΤΕΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PARLANGE. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ

Κάργας Γ., Φασούλη Β., Κερκίδης Π., Ι. Αργυροκαστρίτης
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής
Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων
Ιερά Οδός 75, Αθήνα 11855
e-mail: lhyd4kag@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία γενική επισκόπηση της βιβλιογραφίας στο ενδιαφέρον και σχετικά δύσκολο θέμα του φαινομένου της υστέρησης, που παρατηρείται στις υδραυλικές ιδιότητες των πορωδών μέσων. Σε πρόσφατες ερευνητικές εργασίες στο πιο πάνω θέμα, απασχολεί η δυνατότητα πρόβλεψης της υστερητικής συμπεριφοράς Θ(Η) από τα πειραματικά δεδομένα ενός μόνο οριακού κλάδου του βρόχου υστέρησης, είτε αυτού της διαβροχής είτε αυτού της στράγγισης. Το υστερητικό μοντέλο του Parlange παρέχει τη δυνατότητα αυτή καταλήγοντας σε εξισώσεις με τις οποίες μπορεί κάποιος να προβλέψει και κάθε τάξης διερευνητικές καμπύλες. Η εφαρμογή του μοντέλου Parlange, διεκολύνεται αν τα πειραματικά δεδομένα της ΧΚΥ προσαρμοσθούν σε γνωστές αναλυτικές σχέσεις π.χ van Genuchten (1980)ή Brooks and Corey (1964). Για το σκοπό αυτό έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα προσδιορισμού της ΧΚΥ στο εργαστήριο και οι προβλέψεις του μοντέλου Parlange συγκρίνονται με τα πειραματικά δεδομένα. Φαίνεται, ότι το μοντέλο Parlange, παρά την απλοικότητά του, είναι δυνατό σε ορισμένες περιπτώσεις πορωδών μέσων να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας, Υστέρηση, διερευνητικές καμπύλες, Σημεία καμπής, Σημεία αναστροφής.

THE HYSTERETIC PARLANGE MODEL. USEFULNESS AND WEAKNESSES

Kargas G, Fasouli B, Kerkides P and Argyrokastritis I
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS
Sector of water resources management

ABSTRACT

The problem of hysteresis in the hydraulic properties of porous materials is investigated in the light of some recent research attempts. According to these attemps the prediction of the hysteretic loop, as a whole, could be achieve from the exploitation of only one main hysteretic branch, either that of weting or that of drying. In this present work, elaborate experiments on the hysteretic moisture retention curve, were performed. The main hysteretic branches, were curve-fitted to an analytical expression of a van-Genuchten form and subsequently the hysteretic Parlange model was employed for the determination of the hysteretic loop, from only one main hysteretic branch. It seems that Parlange's hysteretic model, although very simple but ambitions, could give adequate predictions for some special porous materials.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη των προβλημάτων της ακόρεστης ροής του νερού στα πορώδη μέσα προυποθέτει την γνώση των υδραυλικών ιδιοτήτων τους. Σ΄αυτές περιλαμβάνεται η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε νερό (Θ) του εδάφους και του φορτίου πίεσης (Η) καθώς και η σχέση μεταξύ της υδραυλικής αγωγιμότητας (Κ) και της (Θ) ή του (Η). Οι σχέσεις αυτές όμως χαρακτηρίζονται από το φαινόμενο της υστέρησης. Η ενσωμάτωσή της, στην επίλυση προβλημάτων τα οποία περιλαμβάνουν διαδοχικούς κύκλους διαβροχής και αποστράγγισης απαιτεί την γνώση μεγάλης ποσότητας πειραματικών δεδομένων τα οποία είναι και ιδιαίτερα δύσκολο να αποκτηθούν. Συνήθως οι δυσκολίες αυτές οδηγούν στην παράλειψη του φαινομένου. Όμως έχει δειχθεί ότι η αγνόηση του φαινομένου οδηγεί σε σημαντικά σφάλματα στην πρόβλεψη της κατανομής του νερού, των διαλυτών αλάτων και των διαφόρων ρύπων στα πορώδη μέσα (Hoa et. al.,1977 Nielsen et al.1986; Parker and Lenhard, 1987; Russo et al., 1989; Si and Kachanoski, 2000). Το γεγονός αυτό οδήγησε στην δημιουργία μοντέλων ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη των διερευνητικών καμπύλων Θ-Η με την λιγότερη δυνατή ποσότητα πειραματικών δεδομένων. Σημαντικός σταθμός σ΄αυτή την προσπάθεια ήταν η εφαρμογή της θεωρίας των ανεξάρτητων στοιχείων στο σύστημα πορώδες μέσο-νερό (Poulovassilis,1962). Στην περίπτωση των ανεξάρτητων στοιχείων η σχέση Θ-Η μπορεί να υπολογισθεί από τα πειραματικά των δύο οριακών κλάδων και μίας οικογένειας διερευνητικών καμπύλων A' τάξης είτε στράγγισης είτε διαβροχής.

Ο J.Philip (1964) παρουσίασε ένα υπολογιστικό σχήμα, όπου οι υστερητικές διαδρομές υπολογίζονται από τα δεδομένα μόνο των δύο οριακών καμπύλων στράγγισης και διαβροχής αντίστοιχα. Οι μαθηματικές δυσκολίες στην εφαρμογή του μοντέλου υπήρξαν σημαντικό εμπόδιο στην χρησιμοποίησή του.

Στην συνέχεια, αρκετοί ερευνητές παρουσίασαν υπολογιστικά σχήματα στα οποία οι υστερητικές διαδρομές υπολογίζονται από τα δεδομένα μόνο των δύο οριακών καμπύλων στράγγισης και διαβροχής αντίστοιχα (Mualem,1973,1974; Mualem and Dagan,1975; Mualem,1977; Mualem and Miller,1979; Scott et al. 1983; Mualem,1984; Poulovassilis and Kargas,(2000), Κάργας (2002). κ.α).

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία πρώτη προσπάθεια αξιολόγησης της μεθόδου που παρουσίασε ο Parlange (1976). Η μεθοδολογία απαιτεί την γνώση των πειραματικών δεδομένων μόνο μίας οριακής καμπύλης για την πρόβλεψη των διερευνητικών καμπύλων. Για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς έγινε προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων της χρησιμοποιούμενης οριακής καμπύλης διαβροχής στην εξίσωση Van Genuchten.Για το έλεγχο της αξιοπιστίας του μοντέλου εξετάστηκαν τέσσερα πορώδη μέσα με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

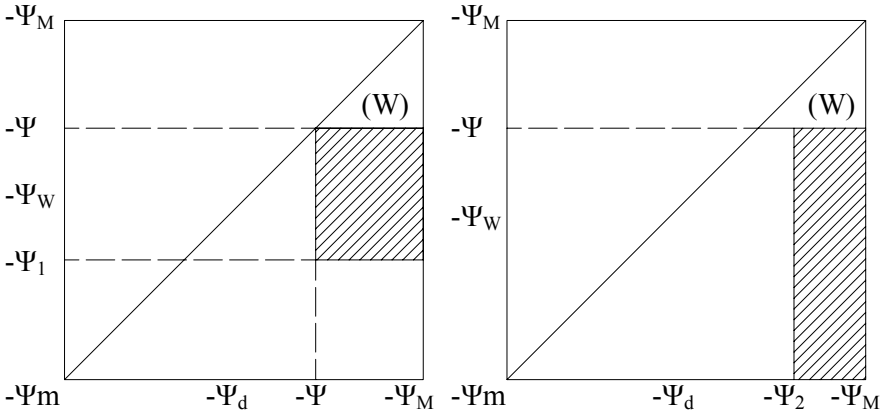
2.1. Η προτεινόμενη μεθοδολογία στηρίζεται στην υπόθεση ότι η συνάρτηση κατανομής f των στοιχείων του νερού εξαρτάται μόνο από την τιμή του φορτίου πίεσης κατά την στράγγιση. Είναι προφανές ότι η παραπάνω υπόθεση είναι μία χονδρική προσέγγιση η οποία μπορεί να ισχύει μόνο εάν η διακύμανση του μεγέθους του ανοίγματος των πόρων είναι πολύ μεγαλύτερη από την διακύμανση του μεγέθους της εσωτερικής διαμέτρου των πόρων. Η συγκεκριμένη υπόθεση έγινε γιατί διευκολύνει τους υπολογισμούς. Εάν γίνουν άλλες δυνατές υποθέσεις π.χ ότι η f εξαρτάται από την ψ_w τότε θα έχουμε λιγότερο απλουστευμένες μορφές. Επιπλέον ο Parlange τονίζει ότι η ατέλεια του μοντέλου μπορεί να εξαλείφεται σε μακροσκοπικό επίπεδο. Όπως,

αναφέρει, κάτι ανάλογο συμβαίνει και με την πολύ γνωστή εξίσωση διήθησης των Green and Ampt (1911) η οποία υποθέτει ότι το πορώδες μέσο έχει μόνο ένα μέγεθος πόρου. Παρόλα αυτά η εξίσωση μπορεί να περιγράφει ικανοποιητικά το φαινόμενο της διήθησης σε πραγματικά εδάφη.

Με βάση την υπόθεση ότι η f είναι συνάρτηση μόνο του φορτίου πίεσης κατά την στράγγιση ψ_d , η περιεκτικότητα σε υγρασία σ' ένα φορτίο πίεσης ψ κατά μήκος μίας διερευνητικής καμπύλης στράγγισης πρώτης τάξης, η οποία ξεκινά από ένα φορτίο πίεσης ψ_1 της οριακής καμπύλης διαβροχής, θα δίνεται από την εξίσωση

$$\Theta_d\left(\psi,\psi_1\right)=\Theta_w\left(\psi\right)+\int_{\psi_1}^{\psi} d\psi_w \int_{\psi}^{\psi_M} f\left(\psi_d,\psi_w\right)d\psi_d \qquad (1)$$

Η εξίσωση (1) προκύπτει από την ολοκλήρωση στην αντίστοιχη περιοχή του σχήματος (1)



Σχήμα 1:Παρουσίαση του τρόπου υπολογισμού της f . Το τρίγωνο (W) είναι η περιοχή ολοκλήρωσης της f που ορίζει την Θ_w (Parlange, 1976).

Επειδή όμως η f είναι συνάρτηση μόνο του Θ_d η εξίσωση (1) μετατρέπεται στην

$$\Theta_d\left(\psi,\psi_1\right)=\Theta_w\left(\psi\right)-\left(\psi-\psi_1\right)\left(\frac{d\Theta_w}{d\psi}\right) \qquad (2)$$

διότι από τον ορισμό της f είναι φανερό ότι ισχύει

$$\frac{d\Theta_w}{d\psi}=-\int_{\psi}^{\psi_M} f\left(\psi_d\right)d\psi \qquad (3)$$

όπου ψ_M η μέγιστη τιμή του φορτίου πίεσης.

Από την εξίσωση (2) μπορούμε να προσδιορίσουμε τις καμπύλες στράγγισης οι οποίες ξεκινούν από μία καμπύλη διαβροχής σε κάθε τιμή του φορτίου πίεσης $\psi = \psi_1$.

Με την ολοκλήρωση της εξίσωσης (2) προσδιορίζονται οι διερευνητικές καμπύλες διαβροχής $\Theta_w\left(\psi, \psi_1, \psi_2\right)$ οι οποίες προκύπτουν από μία καμπύλη στράγγισης $\Theta_d\left(\psi, \psi_1\right)$ στο σημείο $\psi = \psi_2$, όπου $\Theta_w = \Theta_d = \Theta_2$ (Parlange, 1980)

$$\Theta_w\left(\psi, \psi_1, \psi_2\right) - \Theta_2 = \left(\psi - \psi_1\right) \int_{\psi}^{\psi_2} \left[\Theta\left(\psi, \psi_1\right) - \Theta_2\right] / \left(\psi_1 - \psi\right)^2 d\psi \qquad (4)$$

Είναι φανερό ότι εάν $\psi_1 = \psi_m$ (ΣΧ.1) τότε η εξίσωση (2) μπορεί να μας δώσει την οριακή καμπύλη στράγγισης εάν είναι γνωστή η οριακή καμπύλη διαβροχής. Αντίστοιχα η εξίσωση (4) όταν το $\psi_2 \to \infty$, μπορεί να μας δώσει την οριακή καμπύλη διαβροχής εάν είναι γνωστή η οριακή καμπύλη στράγγισης. Επειδή όμως σπάνια συμβαίνει το $\psi_2 \to \infty$ η οριακή καμπύλη διαβροχής στην ουσία είναι μία διερευνητική καμπύλη διαβροχής πρώτης τάξης.Συνήθως είναι γνωστή η οριακή καμπύλη στράγγισης και προτείνεται η εξίσωση (4) για την πρόβλεψη της οριακής καμπύλης διαβροχής. Για την πρόβλεψη των διερευνητικών καμπύλων στράγγισης αξιοποιείται η εξίσωση (2) όπου όμως σαν οριακή καμπύλη διαβροχής χρησιμοποιείται η προβλεπόμενη από την οριακή καμπύλη στράγγισης και όχι η πραγματικά μετρούμενη. Για την πρόβλεψη των διερευνητικών καμπύλων διαβροχής αξιοποιείται η εξίσωση (4) κατάλληλα τροποποιημένη όπου σαν Θ_2 παίρνουμε την περιεκτικότητα σε υγρασία απο την οποία ξεκινά η διερευνητική καμπύλη διαβροχής. Όπως φαίνεται ο υπολογισμός των οριακών καμπύλων και των διερευνητικών προυποθέτει και την ακριβή γνώση της τιμής ψ_m, δηλαδή του σημείου που τέμνονται οι δύο οριακές καμπύλες. Συνεπώς χρειαζόμαστε για τους υπολογισμούς τουλάχιστον ένα σημείο της οριακής καμπύλης διαβροχής. Πρακτικά αυτό σημαίνει μέτρηση και της οριακής καμπύλης διαβροχής.

2.2 Οι Y. Mualem and H.J. Morel-Seytoux (1978) τεκμηρίωσαν ότι το μοντέλο Parlange αντιστοιχεί σε μία ειδική περίπτωση της υπόθεσης ομοιότητας (similarity hypothesis) την οποία εισηγήθηκε ο Philip (1964) και εφάρμοσε ο Mualem (1973) όπου $f\left(\psi_w, \psi_d\right) = h\left(\psi_w\right) l\left(\psi_d\right)$ Σ' αυτήν την ειδική περίπτωση η $h\left(\psi_w\right)$ θεωρείται ίση με την μονάδα για όλες τις τιμές του ψ. Έτσι η κλίση της οριακής καμπύλης διαβροχής θα δίνεται από την

$$\frac{d\Theta_w}{d\psi} = \int_{\psi_{\min}}^{\psi} h\left(\psi_w\right) l\left(\psi_d\right) d\psi_d = L\left(\psi\right) \qquad (5)$$

όπου $L\left(\psi\right) = \int_{\psi_{\min}}^{\psi} l\left(\psi\right) d\psi$ και συνεπώς

$$l\left(\psi\right) = \frac{d^2\Theta_w\left(\psi\right)}{d\psi^2} \qquad (6)$$

Η συνάρτηση κατανομής των στοιχείων f οφείλει να είναι παντού θετική. Όμως αφού η $h(\psi)$ είναι ίση με την μονάδα πρέπει η $l(\psi)$ να είναι παντού θετική. Αυτό σημαίνει ότι η $L(\psi)$ καθώς επίσης και η κλίση από την εξίσωση (5) πρέπει να είναι μονοτονικά αυξανόμενη συνάρτηση του ψ. Όμως στα πορώδη μέσα που παρουσιάζουν σιγμοειδή οριακή καμπύλη διαβροχής αυτό δεν μπορεί να συμβαίνει. Τα πορώδη μέσα τα οποία έχουν καμπύλη σχήματος S θα εμφανίζουν σημείο καμπής (inflection point) πράγμα το οποίο σημαίνει αντιστροφή των κλίσεων. Μάλιστα το σημείο αντιστροφής των κλίσεων μπορεί να παρατηρηθεί και σε σχετικά μικρές τιμές υγρασίας. Έτσι στην περίπτωση αυτή θα έχουμε μία μεγάλη περιοχή αρνητικών τιμών της f. (Mualem and Morel-Seytoux, 1978). Αυτή είναι και η θεωρητική βάση της «παραδοξότητας» που παρατηρείται στην πρόβλεψη της $\Theta_d(\psi,\psi_1)$ όταν γνωρίζουμε τον οριακό κλάδο διαβροχής.

Αντίθετα εάν είναι γνωστός ο οριακός κλάδος στράγγισης τότε η προβλεπόμενη οριακή καμπύλη διαβροχής δεν έχει σχήμα S και παρουσιάζει την μέγιστη κλίση στο ψ_m όπου έπρεπε να είχε μηδενική κλίση. Επίσης πρέπει να υπογραμίσουμε την σημασία της ακριβούς εκτίμησης της τιμής ψ_m διότι διαφορετικές τιμές όπως είναι φανερό παράγουν και διαφορετικές οριακές καμπύλες διαβροχής.

2.3 Το μειονέκτημα της πρόβλεψης της οριακής καμπύλης διαβροχής χωρίς σημείο καμπής εντοπίστηκε και όταν διάφοροι ερευνητές (W.L Hogarth et al.,1988), (R. D. Braddock et al., 2000) προσπάθησαν να βρούν αναλυτικές λύσεις στο μοντέλο Parlange όταν η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας περιγράφεται από αναλυτικές εξισώσεις. Οι Hogarth et al. (1988) υπέθεσαν ότι η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας περιγράφεται από την εξίσωση Brooks and Corey (1964) ενώ οι Braddock et al. (2000) από την εξίσωση van Genuchten (1980).

3.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τον έλεγχο του προτεινόμενου μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά δεδομένα από τέσσερα πορώδη μέσα.

1. Διαταραγμένο εδαφικό δείγμα με 50% άμμο, 43% άργιλο και 7% ιλύ (Αμμώδης Αργιλος).
2. Εδαφικό υπόστρωμα που χρησιμοποιείται στα γήπεδα γκόλφ με 85% άμμο, 5% άργιλλο και 8% τύρφη.
3. Αδιατάρακτο εδαφικό δείγμα με 48,2% άμμο, 28,8% άργιλλο και 23% ιλύ (Αμμώδης αργιλοπηλός).
4. Δεδομένα που παρουσιάστηκαν από Poulovassilis and Childs (1971)

Η επιλογή των πορωδών μέσων έγινε με τρόπο ώστε να καλύπτεται ένα ευρύ φάσμα τους και να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ώστε τα συμπεράσματα να είναι όσο το δυνατόν ασφαλέστερα. Τα πειραματικά δεδομένα για τα τρία πρώτα πορώδη μέσα αποκτήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Γ.Π.Α.Τα δεδομένα για τα πορώδη μέσα 1 και 3 αποκτήθηκαν από κύτταρο πίεσης ενώ για το 2 από συσκευή Haines. Στα πορώδη μέσα 1 και 2 αποκτήθηκαν μόνο οι οριακοί κλάδοι του βρόχου υστέρησης ενώ στο 3 και οι διερευνητικές καμπύλες στράγγισης και διαβροχής πρώτης τάξης.

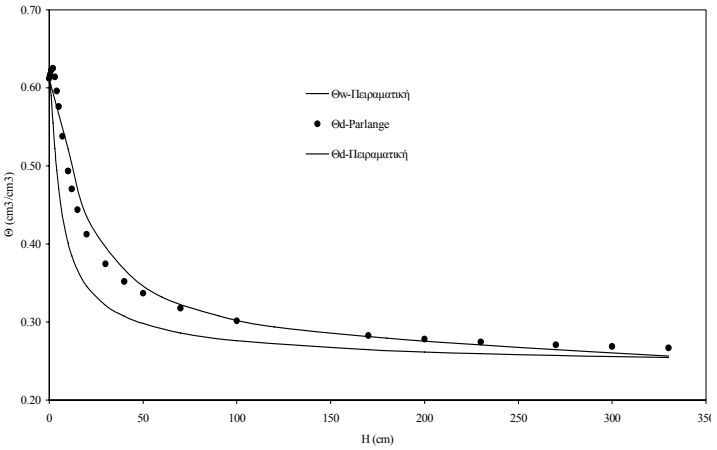
ΠΙΝΑΚΑΣ 1

	1	2	3	4
Θ_s	0,612	0,585	0,397	0,311
Θ_r	0,236	0,13	0,339	0,084
a	0,337	0,123	0,116	0,04275
n	1,637	1,579	1,449	5,726
m	0,389	0,366	0,309	0,825
R^2	0,998	0,991	0,996	0,999

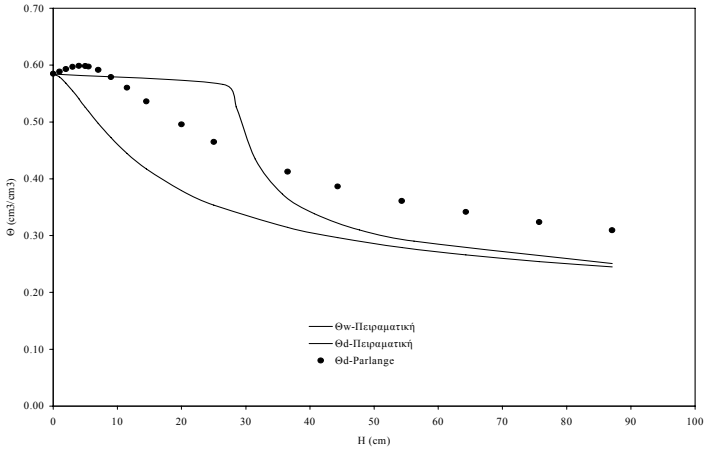
Στο πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων της εξίσωσης van Genuchten που υπολογίστηκαν από την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων του οριακού κλάδου διαβροχής. Αυτό έγινε για να αποφευχθούν λάθη στον υπολογισμό των κλίσεων στην εύρεση της οριακής καμπύλης στράγγισης από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης διαβροχής.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

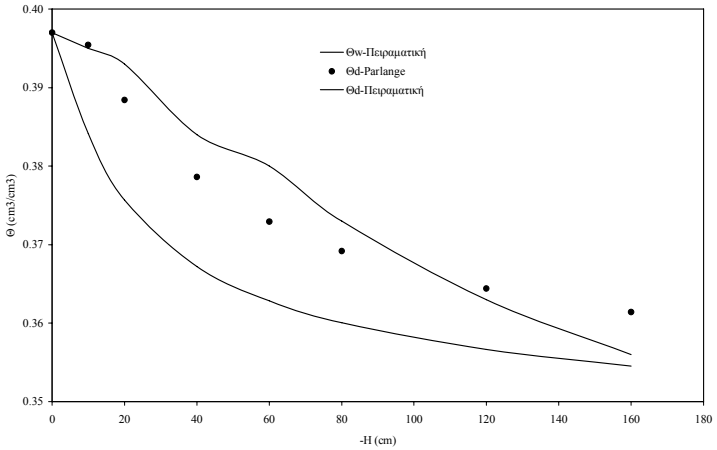
Στα σχήματα 2,3,4 και 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έδωσε το εξεταζόμενο μοντέλο για τις οριακές καμπύλες διαβροχής όταν είναι γνωστές οι οριακές καμπύλες στράγγισης.



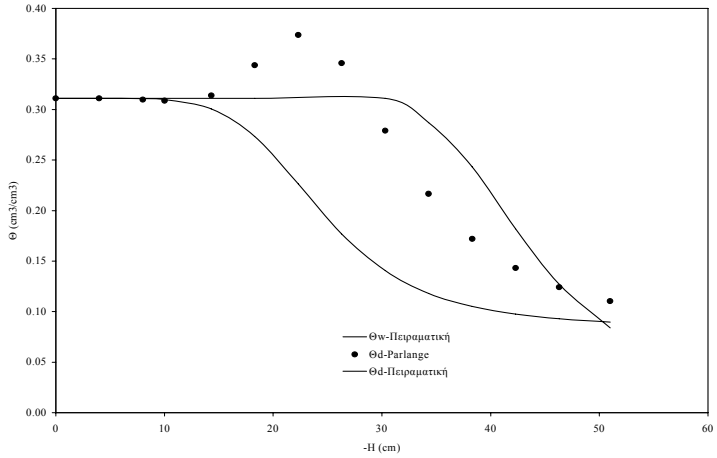
Σχ.2. Σύγκριση μεταξύ μετρούμενης και υπολογιζόμενης οριακής καμπύλης στράγγισης από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης διαβροχής για το σώμα 1.



Σχ.3. Σύγκριση μεταξύ μετρούμενης και υπολογιζόμενης οριακής καμπύλης στράγγισης από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης διαβροχής για το σώμα 2.

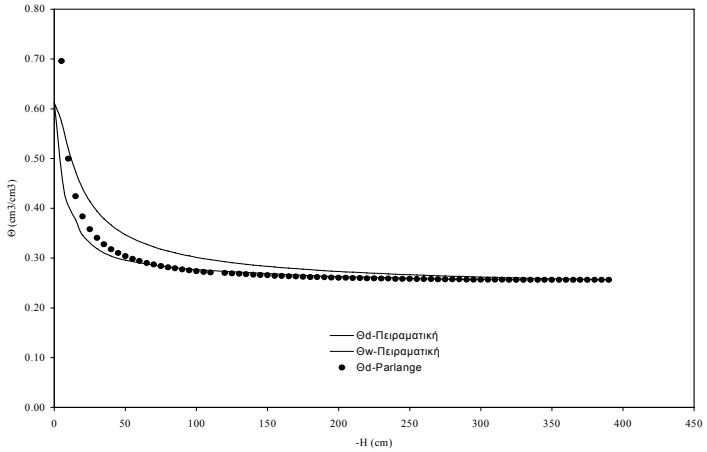


Σχ.4. Σύγκριση μεταξύ μετρούμενης και υπολογιζόμενης οριακής καμπύλης στράγγισης από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης διαβροχής για το σώμα 3.

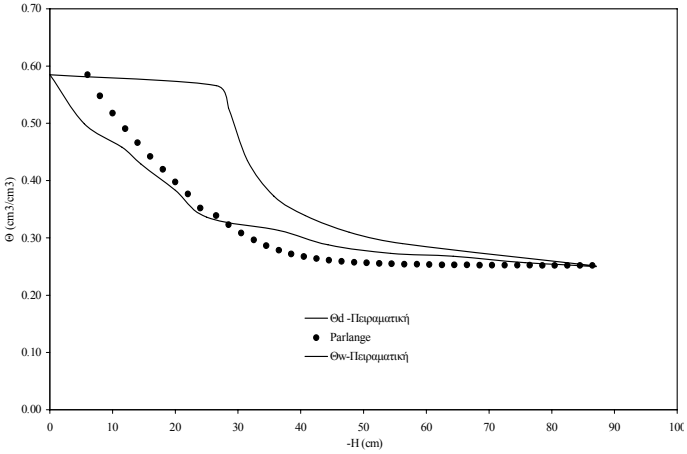


Σχ.5. Σύγκριση μεταξύ μετρούμενης και υπολογιζόμενης οριακής καμπύλης στράγγισης από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης διαβροχής για το σώμα 4.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το μοντέλο προβλέπει σχετικά καλά την οριακή καμπύλη στράγγισης στο σώμα 1 και κάπως αποδεκτά στο σώμα 3. Στα σώματα 2 και 4 αποτυγχάνει πλήρως. Από τις συγκρίσεις επιβεβαιώνονται οι παρατηρήσεις που έγιναν στο θεωρητικό μέρος για τις αδυναμίες του μοντέλου. Στα σώματα 2 και 4 επειδή οι καμπύλες διαβροχής έχουν σχήμα S θα υπάρχει ένα μέρος της περιοχής του φορτίου πίεσης όπου η f είναι αρνητική. Έτσι δικαιολογείται η μορφή της υπολογισμένης οριακής καμπύλης στράγγισης όπου προβλέπονται τιμές μεγαλύτερες και από την υγρασία κορεσμού.
Στα σχήματα 6,7,8 και 9 παρουσιάζονται οι υπολογισμένες οριακές καμπύλες διαβροχής από τα δεδομένα των οριακών καμπύλων στράγγισης.

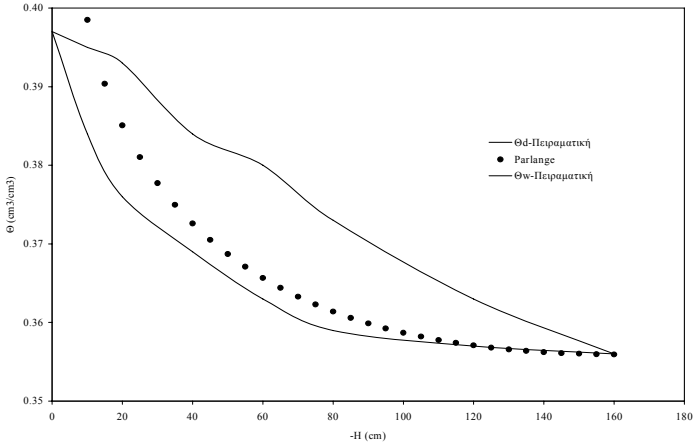


Σχ.6. Σύγκριση μεταξύ μετρούμενης και υπολογιζόμενης οριακής καμπύλης διαβροχής από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης στράγγισηςς για το σώμα 1.

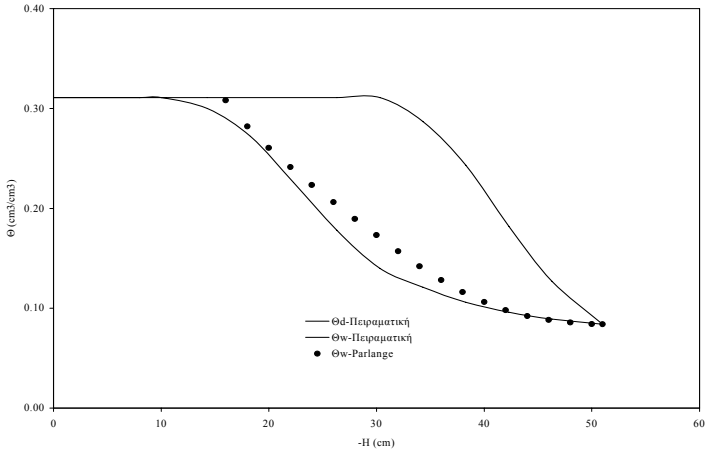


Σχ.7. Σύγκριση μεταξύ μετρούμενης και υπολογιζόμενης οριακής καμπύλης διαβροχής από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης στράγγισηςς για το σώμα 2.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι σ΄όλες τις περιπτώσεις το μοντέλο Parlange δίνει οριακή καμπύλη διαβροχής χωρίς σημείο καμπής και ότι ο βρόχος υστέρησης που προκύπτει είναι γενικά μικρότερος από τον πειραματικό. Επίσης οι προβλέψεις των καμπύλων διαβροχής είναι αρκετά καλύτερες σε σχέση με την πρόβλεψη των οριακών καμπύλων στράγγισης. Οι εμφανιζόμενες αποκλίσεις εντοπίζονται βασικά κοντά στην περιοχή του κορεσμού ενώ σε σχετικά μεγάλες τιμές του φορτίου πίεσης υπάρχει σχεδόν ταύτιση πειραματικών και υπολογισμένων τιμών.



Σχ.8. Σύγκριση μεταξύ μετρούμενης και υπολογιζόμενης οριακής καμπύλης διαβροχής από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης στράγγισηςς για το σώμα 3.



Σχ.9. Σύγκριση μεταξύ μετρούμενης και υπολογιζόμενης οριακής καμπύλης διαβροχής από τα δεδομένα της οριακής καμπύλης στράγγισηςς για το σώμα 9.

Το γεγονός αυτό είναι αρκετά ενθαρρυντικό διότι στις περισσότερες περιπτώσεις πειραματικά προσδιορισμένη είναι η οριακή καμπύλη στράγγισης. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το μοντέλο Parlange μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στην περίπτωση που δεν υπάρχουν επαρκή πειραματικά δεδομένα. Βέβαια για πιο ασφαλή συμπεράσματα χρειάζεται εξέτασή του σε περισσότερα πορώδη μέσα.Για να εκτιμηθεί η βαρύτητα των αποκλίσεων σκόπιμο θεωρείται να γίνει αριθμητική επίλυση της εξίσωσης Richards π.χ στην περίπτωση της κατάκλυσης ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις. Το ζήτημα αυτό βέβαια μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

24. Braddock R.D., et al. 2000. Application of a soil water hysteresis model to simple retention curves, Transport in porous media 44: 407-420.
25. Brooks R.H and Corey, A.J., 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Pap. 3, Colo. State univ., Fort collins, Colo.
26. Hoa, N. T., et. al. 1977. Influence of hysteresis effects on transient flows in saturated-unsaturated porous media, Water. Res.Research., 13: 992-996.
27. Hogarth W. L., et al. 1988. Application of a simple soil-water hysteresis model, Journal of Hydrology, 98:21-29.
28. Κάργας Γ.,2002 Η επίδραση της υστέρησης στην κατανομή των υγρών μέσα σε πορώδη μέσα, Διδακτορική διατριβή,Γ.Π.Α
29. Nielsen, D.R et al., 1986. Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone, Water. Res.Research, 22: 89-108.
30. Mualem, Y. 1973. Modified approach to capillary hysteresis based on a similarity hypothesis, Water Resour. Res., 9 : 1324-1331.
31. Mualem, Y. 1974. A conceptual model of hysteresis, Water Resour. Res., 10: 514-520.

32. Mualem, Y., and G. Dagan. 1975. A dependent domain model of capillary hysteresis, Water Resour. Res., 11 : 452-460.
33. Mualem, Y,1977. Extension of the similarity hypothesis used for modelling the soil water characteristics, Water Resour. Res., 13: 773-780.
34. Mualem, Y and Morel-Seytoux H. J. 1978. Analysis of a capillary hysteresis model based on a one variable distribution function, Water Resour. Res., 14:605-610.
35. Mualem, Y., and Miller,E.E. 1979. A hysteresis model based on an explicit domain-dependence function, Soil Sci. Soc. Am. J., 43: 1067-1073.
36. Mualem, Y. 1984. A modified dependent-domain theory of hysteresis. Soil Sci. Soc. Am. J., 137: 283-291.
37. Parker, J. C., and R. J. Lenhard, 1987. A model of hysteresis constitutive relations governing multiphase flow. 1. Saturation-pressure relations, Water Res. Research., 23:2187-2196.
38. Parlange J.Y., 1976. Capillary hysteresis and relationship between drying and wetting curves, Water Res. Research, 12:224-228.
39. Parlange J.Y.,1980. Water transport in soils, Ann. Rev. Fluid Mec. 12:77-102
40. Philip, J.R. 1964. Similarity hypothesis for capillary hysteresis in porous materials, J.Geophys. Res., 69: 1553-1562.
41. Poulovassilis, A. 1962. Hysteresis of pore water, an application of concept of independent domains, Soil Sci., 93: 405-412.
42. Poulovassilis, A., and Childs, E.E. 1971. The hysteresis of pore water: The non-independence of domains, Soil Sci., 112: 301-312.
43. Poulovassilis, A and G. Kargas, 2000. A Note on calculating hysteretic behaviour, Soil. Sci. Soc. Am. J., 64: 1947-1950.
44. Russo, D. W et al. 1989. Numerical analysis of solute transport during transient irrigation: 1. Effect of hysteresis and profile heterogeneity, Water. Res.Research., 25:2109-2118.
45. Si, B. C. and Kachanoski R.G., 2000. Unified solution for infiltration and drainage with hysteresis: Theory and field test. SSSAJ 64: 30-36.
46. Scott, P. S., et. al. 1983. Hystresis effect on net infiltration , Advances in infiltration, Am. Soc. Agric. Eng., Publ. 11-83, 163-170.
47. van Genuchten, M. Th., 1980. A closed form equation for the predicting the hydraulic conductivities of unsaturated soils, SSSAJ 44:892-898