ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ

(Ε.Γ.Μ.Ε.)

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

3ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Επιμέλεια Έκδοσης

Β. Αντωνόπουλος,

Κ. Ακριτίδης και Κ. Τσατσαρέλης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

29-31 Μαΐου 2003

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (Ε.ΓΜ.Ε.) 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 μέλη της σήμερα φθάνουν τα 140.

Το παρόν τεύχος των πρακτικών περιέχει 60 επιστημονικές ανακοινώσεις που παρουσιάστηκαν στο 3^{ο} Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, το οποίο έλαβε χώρα στη Θεσσαλονίκη από 29-31 Μαΐου 2003. Όλες οι εργασίες κρίθηκαν από μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής και άλλους ειδικούς επιστήμονες. Το συνέδριο οργανώθηκε υπό την αιγίδα του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

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

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 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, την Επιτροπή Ερευνών του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, το Υπουργείο Πολιτισμού, την Asprofos καθώς και τους άλλους χορηγούς και εκθέτες απευθύνονται ειλικρινείς ευχαριστίες για την οικονομική ενίσχυση που προσέφεραν ώστε να πραγματοποιηθεί με επιτυχία το παρόν συνέδριο.

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2003

Καθηγητής, Κων/νος Β. Ακριτίδης
Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή Συνεδρίου

Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., Πρόεδρος ΕΓΜΕ

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Γεωργίου Π., Γεωπόνος Α.Π.Θ.
Γιαννόπουλος Σ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μήτσιου Κ., Γεωπόνος Δημ. Υπ.
Μπαλουκτσής Σ., Πρόεδρος Ε.Κ.Γ.Μ.Β.Ε.
Παυλάτου-Βε Α., Επ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Σακελλαρίου Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., ΔΣ ΕΓΜΕ
Κωνσταντινίδου Μ. γραμματέας συνεδρίου

Επιστημονική Επιτροπή

Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.
Γιαννόπουλος Στ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Ζήσης Θ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Καραμούζης Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.
Κυρίτσης Σ., Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μισοπολινός Ν., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Παναγιωτόπουλος Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παπαδάκης Γ., Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαμιχαήλ Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παρισόπουλος Γ., ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
Παυλάτου-Βε Α., Επ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
Συγριμής Ν., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Τερζίδης Γ., Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κριτές Επιστημονικών Εργασιών

Ακριτίδης Κων/νος, Αντωνόπουλος Βασίλης, Βουγιούκας Σταύρος, Γαλανοπούλου Στέλλα, Γέμτος Θεοφάνης, Γεωργακάκης Δημήτριος, Γιαννόπουλος Σταύρος, Δαλέζιος Νικόλαος, Δαναλάτος Νικόλαος, Ζήσης Θωμάς, Καραμούζης Διαμαντής, Κερκίδης Πέτρος, Κίττας Κων/νος, Κυρίτσης Σπύρος, Κωστοπούλου Σοφία, Ελευθεροχωρινός Ηλίας, Λαζαρίδης Χαράλαμπος, Λαμπρινός Γεώργιος, Μαρτζόπουλος Γεράσιμος, Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος, Μαντόγλου Αριστοτέλης, Μισοπολινός Νικόλαος, Μπαλτάς Ευάγγελος, Μπαμπατζιμόπουλος Χρήστος, Μπαρμπαγιάννης Νικόλαος, Μπριασούλης Δημήτρης, Νάνος Γεώργιος, Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χρυσούλα, Οικονόμου Αθανάσιος, Παναγιωτόπουλος Κυριάκος, Πανώρας Αθανάσιος, Παπαδάκης Γεώργιος, Παπαμιχαήλ Δημήτριος, Παπουτσή-Ψυχουδάκη Σοφία, Παυλάτου-Βε Αθηνά, Πιτσικής Ιωάννης, Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μαρία, Συλλαίος Νικόλαος, Σφακιωτάκης Ευάγγελος, Τερζίδης Γεώργιος, Τζιμόπουλος Χρήστος, Τσατσαρέλης Κων/νος, Τσιούρης Σωτήρης, Ψυχουδάκης Ασημάκης

Επικοινωνία - αλληλογραφία – πληροφορίες

Αντωνόπουλος Βασίλης
Καθηγητής Α.Π.Θ.
Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
54124 Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310 998745, 2310 998743, 2310 998744
Fax: 2310 998767
E-mail: vasanton@agro.auth.gr
Internet: www.egme.gr
EurAgEng: www.eurageng

ΧΟΡΗΓΟΙ

(Μέχρι 15 Απριλίου 2003)

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται από μέρους της Οργανωτικής Επιτροπής του Συνεδρίου στους χορηγούς και τους εκθέτες που βοήθησαν στην υλοποίησή του.

- Ασπροφός Α.Ε.
- Υπουργείο Πολιτισμού
- Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσσαλονίκης – Επιτροπή Ερευνών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Υδατικοί Πόροι - Υδρολογία

Σελ

«Η πλήρης ανάκτηση κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος στην οδηγία 2000/60 για τα νερά»
Σ. Γιαννόπουλος, Χ. Τζιμόπουλος 3

«Συγκριτική ανάλυση των εκτιμήσεων των αιχμών απορροής με συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και με εμπειρικές σχέσεις»
Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Δ. Ν. Καραμούζης 11

«Εκτίμηση καμπυλών διάρκειας παροχών στον ποταμό Αλιάκμονα»
Ε.Α. Μπαλτάς 20

«Εμπειρίες από την ανάλυση τεσσάρων ισχυρών επεισοδίων βροχής στην Αττική την περίοδο Μαΐου-Νοεμβρίου 2002»
Ε.Α. Μπαλτάς, 29

«Μοντέλο Νευρωνικού Δικτύου για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδος»
Α. Σπυρίδης, Β. Κουτάλου, Ν. Γκιτσάκης 36

«Δυνατότητες εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα Κρανιάς Ελασσόνας, Θεσσαλία»
Α. Κ. Μανάκος, Γ. Χ. Δημόπουλος 43

Υδατικοί Πόροι - Αρδεύσεις

«Εκτίμηση της ειδικής παροχής άρδευσης σε ένα προτεινόμενο σχέδιο διαχείρισης των ταμιευτήρων Ολυνθίου, Χαβρία και Πετρένια Χαλκιδικής»
Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Ν. Καραμούζης 53

«Επίδραση της συχνότητας άρδευσης με σταγόνες στην απόδοση βιομάζας αραβοσίτου»
Θ. Λέλλης, Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Γ. Μαρτζόπουλος 61

«Παραγωγικότητα καλλιέργειας αραβοσίτου συναρτήσει του εύρους άρδευσης με σύστημα στάγδην»
Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Θ. Λέλλης, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη 69

«Σχέσεις νερού και ποιοτικών χαρακτηριστικών βαμβακιού»
Δ. Καλφούντζος, Ι. Αλεξίου, Π. Βύρλας, Σ. Κωτσόπουλος, Γ. Ζέρβα 77

Γεωργικά Μηχανήματα

«Ανάπτυξη βαμβακιού κάτω από κατεργασία υπεδαφοκαλλιεργητή με αβαθή στελέχη»
Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Δ. Παπαμιχαήλ, Θ. Γέμτος 87

«Ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας υπεδαφοκαλλιεργητή με προσθήκη υνίων για αβαθή κατεργασία»
Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος 95

«Αυτοκινούμενα οχήματα στη γεωργία»
Σ. Φουντάς, Θ.Γέμτος, S. Blackmore 103

«Πειραματική μελέτη του μηχανικού εξοπλισμού για σπορά βαμβακιού υπό κάλυψη»
Θ. Σταθάκος και Θ. Γέμτος 111

«Επίδραση καλλιεργητικών τεχνικών στην απόδοση και το ενεργειακό κόστος επίσπορου αραβοσίτου»
Α.Σ. Λιθουργίδης, Κ.Α. Τσατσαρέλης 119

«Ελκυστήρες με σύγχρονο εξοπλισμό σε εργασίες κατασκευής δασικών δρόμων και μετατόπισης ξύλου»
Πλ. Καραρίζος, Ε. Καραγιάννης, Π. Εσκίογλου 127

«Μελέτη των φθορών δασικών δρόμων που προκαλούνται από μέσα μεταφοράς»
Π. Εσκίογλου, Ε. Καραγιάννης, Πλ. Καραρίζος 136

«Αριστος χρόνος αντικατάστασης βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών»
Ε. Μυγδάκος, Γ. Κιτσοπανίδης, Θ.Α. Γέμτος 144

Επεξεργασία Γεωργικών Προϊόντων

«Μέτρηση της αναπνοής οπωροκηπευτικών συντηρουμένων με τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Εφαρμογή στο μανιτάρι»
Δ. Γεωργακοπούλου, Π. Δημαρέλη, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος 153

«Επίδραση της θερμοκρασίας και της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην ποιότητα της πιπεριάς»
Σ. Χαρίτση, Ι. Μαρίτσα, Ν. Παυλίκου, Ε. Μανωλοπούλου 159

«Επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στο ρυθμό και στη θερμότητα αναπνοής καλλιεργουμένων μανιταριών»
Π. Δημαρέλη, Γ. Βαρζακάκος, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου 167

«Μεταβολή του ρυθμού και της θερμότητας αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης δύο ποικιλιών μήλων»
Μ. Κανάκη, Γ. Λαμπρινός, Δ. Μητρόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου 174

«Επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην αναπνευστική δραστηριότητα μήλων Pilafa Delicious»
Ι. Καμβύση. Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος 180

«Συγκριτική διερεύνηση της παραγωγικότητας καλλιέργειας τρανταφυλλιάς σε ανοικτό και κλειστό υδροπονικό σύστημα»
Α. Μπιμπή, Χ. Λύκας, Γ. Νάνος, Κ. Κίττας 188

Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργία

«Σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανεμογεννήτρια και Φωτοβολταϊκά»
Ε. Mohamed, Γ. Παπαδάκης 199

«Τεχνική εισαγωγής λάθους στο λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή στροφών των γεωργικών ελκυστήρων
Ι. Γράβαλος 207

«Ανάπτυξη ενός φωτοβολταϊκού αντλητικού συγκροτήματος με κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς συσσωρευτές»
Μ. Predescu, A. Cracinescu, Λ. Καλλιβρούσης, Γ. Παπαδάκης 214

«Γεωργία ακριβείας στο βαμβάκι: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας»
Αθ. Μαρκινός, Θ. Γέμτος, Λ. Τούλιος, Δ. Πατέρας, Γ. Ζέρβα, Μ. Παπαοικονόμου 222

«Γεωργία ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στην Νότια Ευρώπη»
Θ.Α. Γέμτος, Σπ. Φουντάς, Α. Μαρκινός, S. Blackmore 230

«Τράπεζα δοκιμών για τον καθορισμό της ευστάθειας γεωργικών μηχανημάτων»
Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Αγ. Φιλίντας 238

Γεωργία και Περιβάλλον

«Σύγκριση της απόδοσης δεξαμενών σταθεροποίησης και συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων»
Α. Παπαδόπουλος, Γ. Παρισσόπουλος, Φ. Παπαδόπουλος 249

«Ορισμένα στοιχεία της λειτουργίας του συστήματος Remos στο Δέλτα του Νέστου για τον ποσοτικό και ποιοτικό έλεγχο των υδατικών πόρων μετά τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών έργων»
Α. Ψιλοβίκος, Κ. Αλμπανάκης, Σ. Μαργώνη, Αρ. Ψιλοβίκος, Χ. Μακρυγιώργος 257

«Αρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα»
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Ι. Τέντας, Α. Κολιού, Δ. Καλφούντζος, Ν. Παπανίκος. 265

«Παράμετροι ποιότητας νερού των υγροτόπων Ν. Φώκαιας Χαλκιδικής»
Σ. Καλπάκης, Σ.Ε. Τσιούρης 273

«Η επίδραση κομπόστας (φυτικής προέλευσης) στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος καλαμποκιού (Zea mays L)»
Β. Ντούπη, Α. Παυλάτου-Βε, Σ. Σακελλαριάδης 282

«Επίδραση τρόπου – χρόνου κατεργασίας του εδάφους και εφαρμογής ζιζανιοκτόνων στην εμφάνιση των ζιζανίων»
Σ. Δ. Σουΐπας, Π. Χ. Λόλας, Θ. Α. Γέμτος 290

Μαθηματικά μοντέλα στη Γεωργία

«Προσομοίωση του νερού και της θερμοκρασίας με το μοντέλο WANISIM, σε έδαφος με φυτά»
Β.Ζ. Αντωνόπουλος, Δ.Δ. Μιχαηλίδου 301

«Μελέτη ενός εκθετικού μοντέλου πρόσληψης νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών»
Χ. Γεωργούσης, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος 309

«Συμπεριφορά φυτοφαρμάκων μετά την εφαρμογή τους στο έδαφος»
Π. Κερκίδης, Ι. Αργυροκαστρίτης, W.O. Ochola 318

«Διακοπτικός ελεγκτής εδαφικής υγρασίας»
Ι. Γράβαλος 327

Αγροτικές κατασκευές

«Η χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους ευρωκώδικες»
Μ. Θεοχάρης 337

«Μελέτη ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης θερμοκηπίων»
Θ. Κωτσόπουλος, Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου 345

«Επίδραση δύο νέων φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων στο περιβάλλον και στην καλλιέργεια τομάτας»
Χ. Παπαϊωάννου, D. Obeid, Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας 354

«Επίδραση φύλλων κάλυψης θερμοκηπίου απορροφητικών στη UV ακτινοβολία στη δραστηριότητα εντόμων σε καλλιέργεια τομάτας»
Α. Βατσανίδου, Ι. Μαργαριτόπουλος, Χ. Παπαϊωάννου, Ι.Α. Τσιτσιπής, Κ. Κίττας 362

«Αριθμητική και πειραματική διερεύνηση του φυσικού αερισμού θερμοκηπίου»
Θ. Μπαρτζάνας, Κ.Κίττας. 370

«Διερεύνηση της κατανομής θερμοκρασίας και υγρασίας σε μερικά σκιασμένο θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς»
Κ.Κίττας, Α. Κοντές, Θ. Μπαρτζάνας 379

«Επίδραση διάφορων τεχνικών ελέγχου των υπερθερμάνσεων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου»
Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας. 387

«Συγκριτική μελέτη της επίδρασης του αερισμού, της σκίασης και του δροσισμού των θερμοκηπίων σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς»
Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας 395

«Θέρμανση θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια: Επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης»
Ι. Χοτζακιάνης, Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου 403

«Εμπλουτισμός θερμοκηπίων με CO_2 σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών για εξοικονόμηση ενέργειας»
Δ. Βαφειάδης, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου, Γ. Μαρτζόπουλος 413

«Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της αντλίας θερμότητας στο χοιροστάσιο»
Ν. Οικονόμου, Γ. Λαμπρινός 421

Ενέργεια στη Γεωργία

«Δυναμικό μοντέλο και έλεγχος συστήματος ανάκτησης ενέργειας σε διεργασίες ξήρανσης»
Σ. Βουγιούκας, Α. Δημητριάδης, Κ. Ακριτίδης 431

«Υπολείμματα καλλιέργειας βαμβάκος και παραγωγή βιομάζας στο Νομό Καρδίτσας»
Θ. Λέλλης, Γ. Μαρτζόπουλος, Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Αν. Μπλούκα, Μ. Λιναρδοπούλου 441

«Ενεργειακό και θρεπτικό δυναμικό των Ζωϊκών Αποβλήτων στην Ελλάδα»
Μ. Μαρδίκης 449

«Δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων για παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα»
Α. Νικολάου, Ι. Παπαμιχαήλ, Β. Λυχναράς, Κ. Πανούτσου 457

«Ενεργειακό ισοζύγιο συμβατικής και ολοκληρωμένης διαχείρισης της μηλοκαλλιέργειας»

Α. Στραπάτσα, Γ.Δ. Νάνος, Ν. Σκρέτα, Ι. Πέτκου, Η. Παπακωνσταντίνου, Ε.Μ. Σφακιωτάκης, Κ.Α. Τσατσαρέλης 465

«Προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους στο σιτάρι»
Χρ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Ι. Παπαθανασίου, Θ.Α. Γέμτος 473

«Υπολογισμός συνολικών εισροών και εκροών ενέργειας στα ζαχαρότευτλα για 5 μεθόδους κατεργασίας εδάφους»
Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος 481

«Ελαιοκράμβη (Brassica sp.) μία υποσχόμενη καλλιέργεια για την παραγωγή βιοντήζελ στην Ελλάδα»
Ε.Νάματοβ, Α. Νικολάου, Μ. Μαρδίκης, Κ. Πανούτσου 489

«Τα πολυμέσα Η/Υ ως εργαλείο ενίσχυσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας στη γεωργική μηχανική»
Αγ. Φιλίντας, Κ. Δούκας, Θ. Γιαλαμάς, Β. Στανιός 497

«Απλή και ακριβής μέθοδος σταθερής στράγγισης διαστρωμένων εδαφών»

Γ.Τερζίδης 505

Ευρετήριο συγγραφέων 515

Υδατικοί Πόροι Υδρολογία

Η ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΥΔΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ 2000/60 ΓΙΑ ΤΑ ΝΕΡΑ

Στ. Γιαννόπουλος και Χρ. Τζιμόπουλος
Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, 54124 Θεσσαλονίκη, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Οδηγία 2000/60 θεωρεί το νερό «κοινωνικό» και «οικονομικό» αγαθό. Ο σημαντικότερος, ίσως, στόχος της οδηγίας και ο πιο αμφιλεγόμενος, που επηρεάζει, όμως, όλους τους παραγωγικούς στόχους, αλλά και όλες τις χρήσεις νερού είναι η *ανάκτηση του συνολικού κόστους των υπηρεσιών νερού* (άρθρο 9.1). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συνοπτική παρουσίαση των απαραίτητων βημάτων για την υλοποίηση της ανάκτησης του συνολικού κόστους των υπηρεσιών νερού, των διαθέσιμων εργαλείων και μεθόδων για τον αναλυτικό υπολογισμό του διαφόρων κοστών που ορίζει η Οδηγία (οικονομικό, περιβαλλοντικό και φυσικών πόρων) και τέλος, των βασικών αρχών και των απαιτήσεων για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση των πολιτικών τιμολόγησης των υπηρεσιών νερού.

Λέξεις κλειδιά: νερό, πολιτική νερού της Ε.Ε., πλήρης ανάκτησης κόστους νερού, υπηρεσίες ύδατος

THE FULL RECOVERY COST IN WATER SERVICES SECTOR AFTER DIRECTIVE 2000/60/EC

St. Yannopoulos and Ch. Tzimopoulos
Department of Rural and Surveying Engineering, GR 54124, Thessaloniki, Aristotle University, Greece.

ABSTRACT

The 2000/60/EC Water Framework Directive considers water as "social" and "economic" good. Full recovery cost is, perhaps, the most important and the most ambiguous goal of the directive, since it affects all the productive plans and the water uses (article 9.1). The present paper aims to the brief presentation of the necessary steps for the full recovery cost of the water services implementation, the available tools and the processes for the analytical calculation of the different costs according to the directive (economic, environmental and natural resources). Finally, it also aims to the presentation of the basic principles and requirements for the design and the realization of policies concerning water services pricing.

Keywords: water, EU water policy, full cost recovery, water services

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Οδηγία 2000/60 [1] για τα Νερά ορίζει το πλαίσιο για την ποιοτική και την ποσοτική προστασία των υδατικών πόρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης και θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας ενιαίας ευρωπαϊκής υδατικής πολιτικής. Ο βασικός στόχος της οδηγίας είναι η επίτευξη *καλής κατάστασης υδάτων* για όλα τα υδάτινα σώματα των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το έτος 2015 με την εφαρμογή κατάλληλων προγραμμάτων ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Μια εκτεταμένη αναλυτική παρουσίαση της Οδηγίας ως προς τα μέτρα που προβλέπει και τις επιπτώσεις από την εφαρμογή τους δίνεται από τους Kalis and Buttler [4].

Σκοπός της Οδηγίας είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία όλων των υδάτινων σωμάτων (εσωτερικών επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων), ώστε:

α. Να αποτρέπεται η περαιτέρω επιδείνωση, να προστατεύεται και να βελτιώνεται η κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων και των αμέσως εξαρτωμένων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων σε ότι αφορά τις ανάγκες τους σε νερό.
β. Να προωθείται η βιώσιμη διαχείριση του νερού μέσω της μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.
γ. Να προστατεύεται και να βελτιώνεται το υδάτινο περιβάλλον με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, των εκπομπών και των διαρροών ρύπων ή ομάδων ρύπων, που αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για το περιβάλλον.
δ. Να εξασφαλίζεται η προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και να αποτρέπεται η περαιτέρω μόλυνση τους.
ε. Να περιορίζονται οι επιπτώσεις από πλημμύρες και ξηρασίες.
στ. Να βελτιωθεί η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα της πολιτικής επί των υδατικών πόρων με συγκεκριμένους στόχους και μειωμένο κόστος.

Βασικές αρχές της οδηγίας είναι ότι: α) Το νερό δεν αποτελεί εμπορικό προϊόν, αλλά κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης. β) Ο ρυπαίνων πληρώνει. γ) Η ύδρευση είναι υπηρεσία κοινής ωφέλειας. δ) Η διατήρηση της ποιότητας αποτελεί προϋπόθεση για την προφύλαξη και την προληπτική προστασία των υδατικών πόρων. ε) Οι λεκάνες απορροής ποταμού αποτελούν το διαχειριστικό μοντέλο, ενώ στις λεκάνες απορροής που εκτείνονται πέρα από τα σύνορα του κράτους-μέλους καθορίζεται η συνδιαχείριση με τα οικεία τρίτα κράτη.

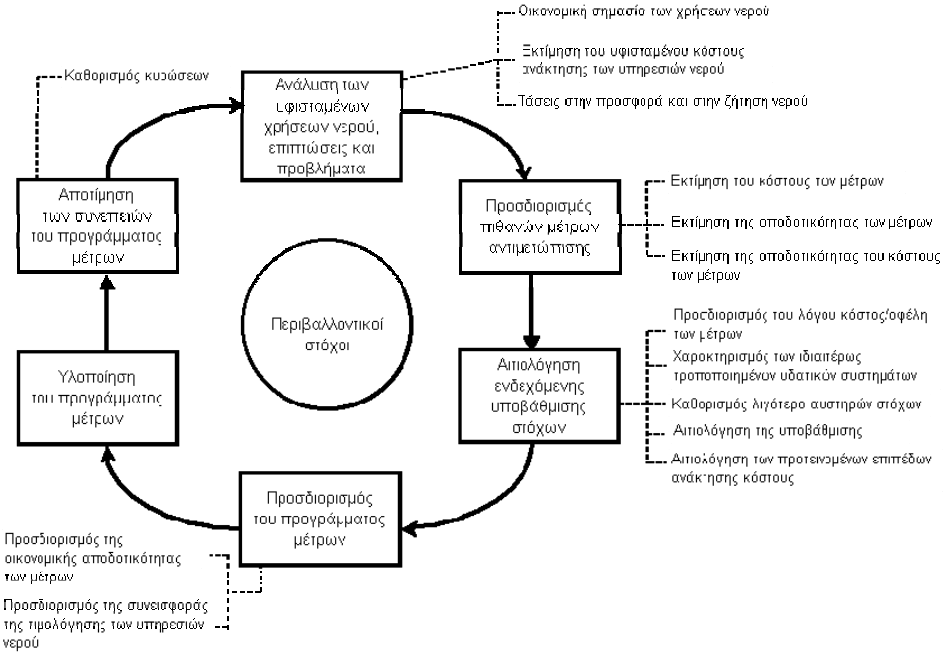
Η άποψη ότι το νερό αποτελεί οικονομικό αγαθό αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ορθολογικής κατανομής των περιορισμένων υδατικών πόρων σε ανταγωνιστικές χρήσεις, όμως, εγκυμονεί κινδύνους για αυτούς που δεν μπορούν να πληρώσουν την αξία του για να το αποκτήσουν. Η Οδηγία συνθέτει μεν το σύνολο των αρχών που διέπουν την ορθολογική και ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων, θέτει, όμως, ένα ιδιαίτερα φιλόδοξο αλλά και αμφιλεγόμενο στόχο δηλαδή να ληφθούν υπόψη στην πολιτική διαχείρισης των υδατικών πόρων τα κόστη για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους.

Επομένως, σύμφωνα με την Οδηγία η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων εξαρτάται όχι μόνο από περιβαλλοντικούς, αλλά και από οικονομικούς και κοινωνικούς περιορισμούς ανεξάρτητα από την κατάσταση των υδατικών πόρων.

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Η Οδηγία αναγνωρίζει την οικονομική διάσταση του νερού και καθιστά λειτουργική την βασική αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», η οποία είναι μια καινοτομία στην νομοθεσία για την προστασία του περιβάλλοντος στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αν και τα θέματα της οικονομικής ανάλυσης είναι διάσπαρτα στην Οδηγία, παρά ταύτα αλληλοσυνδέονται αυτά μεταξύ τους. Στο σχήμα 1 απεικονίζονται τα οικονομικά στοιχεία που καθορίζει η Οδηγία για την εφαρμογή των περιβαλλοντικών στόχων και η μεταξύ τους σύνδεση.



Σχήμα 1. Αλληλοσύνδεση των οικονομικών στοιχείων της Οδηγίας

Για την άσκηση πολιτικής νερού και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης της λεκάνης απορροής ποταμού για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που καθορίζει, η Οδηγία βασίζεται στην εφαρμογή οικονομικών αρχών («ο ρυπαίνων πληρώνει») και στην χρήση οικονομικών μεθόδων και μέσων (ανάλυση αποτελεσματικότητας του κόστους) και οικονομικών μέτρων (τιμολόγηση νερού). Συγκεκριμένα τα κράτη μέλη:

- Οφείλουν να εκπονήσουν μελέτες οικονομικής ανάλυσης των χρήσεων του νερού σε καθεμία λεκάνη απορροής ποταμού, οι οποίες θα οδηγούν στην

εκτίμηση των κατάλληλων μέτρων για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας με το χαμηλότερο κόστος. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης θα αναφέρονται στα σχέδια διαχείρισης της λεκάνης.

- Οφείλουν να προωθήσουν πολιτικές τιμολόγησης, οι οποίες θα παρέχουν ικανοποιητικά κίνητρα για την βιώσιμη χρήση των υδατικών πόρων και θα ενθαρρύνουν τους χρήστες να χρησιμοποιούν λιγότερο νερό και να μειώνουν την ρύπανση.
- Οφείλουν να εξασφαλίζουν ένα ικανοποιητικό κόστος ανάκτησης των υπηρεσιών νερού από τις διάφορες χρήσεις αυτού, το οποίο πρέπει να κατανέμεται τουλάχιστον στην βιομηχανία, στην γεωργία και στα νοικοκυριά.
- Μπορούν να καθορίσουν με οικονομικά κριτήρια τα υδάτινα συστήματα, τα οποία είναι ιδιαιτέρως τροποποιημένα λόγω φυσικών αλλοιώσεων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Μπορούν να δικαιολογήσουν με οικονομικά κριτήρια τον χρόνο για την βελτίωση της κατάστασης υδατικών συστημάτων.

3. Η ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΝΕΡΟΥ

Σύμφωνα με την Οδηγία (άρθρα 4, 5.1, 9.1, 11 και παράρτημα ΙΙΙ) η εκτίμηση της ανάκτησης του συνολικού κόστους των υπηρεσιών ύδατος περιλαμβάνει: α) Τον ορισμό των υπηρεσιών ύδατος, των χρήσεων ύδατος, των φορέων παροχής και των ρυπαντών. β) Την εκτίμηση του συνολικού κόστους των υπηρεσιών ύδατος. γ) Την εκτίμηση του μηχανισμού ανάκτησης του κόστους και της κατανομής του στους χρήστες. δ) Την εκτίμηση του βαθμού ανάκτησης του οικονομικού κόστους.

3.1. Οι υπηρεσίες ύδατος και οι χρήσεις νερού

Στην Οδηγία γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των υπηρεσιών ύδατος και των χρήσεων ύδατος. Συγκεκριμένα, ως «υπηρεσίες ύδατος» (άρθρο 2 παρ. 38) καθορίζονται όλες οι διεργασίες που παρεμβάλλονται μεταξύ των φυσικών υδατικών πόρων και των χρήσεων ύδατος χωρίς να περιλαμβάνεται η κατανάλωση ύδατος, αλλά μόνο η διαφοροποίηση των βασικών χαρακτηριστικών αυτού πριν και μετά την χρήση του. Επομένως, μια υπηρεσία ύδατος δεν καταναλώνει νερό και δεν παράγει ρύπανση, αν και θα μπορούσε να προκαλέσει μορφολογικές μεταβολές στο υδάτινο οικοσύστημα, όπως για παράδειγμα στην χωρική κατανομή του νερού (μεταφορά νερού από την θέση της υδροληψίας σε θέση που θα είναι διαθέσιμο σε όλους τους χρήστες π.χ. δίκτυα ύδρευσης), στην χρονική κατανομή του νερού (αποθήκευση, έλεγχος ροής του νερού π.χ. φράγματα, λιμνοδεξαμενές για άρδευση, ύδρευση κ.λπ.), στο ύψος νερού (μεταβολή της δυναμικής ενέργειας του νερού π.χ. φράγματα, εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας), στην χημική σύσταση του νερού (επεξεργασία αποβλήτων, επεξεργασία νερού για ύδρευση κ.λπ.) και στην

θερμοκρασία του νερού (ψύξη του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πριν από την απόρριψη του στους φυσικούς αποδέκτες).

Κατ΄ αυτή την έννοια, λοιπόν, στην έννοια των υπηρεσιών ύδατος περιλαμβάνονται: α) Η άντληση, η αποθήκευση, η μεταφορά, η επεξεργασία, η διανομή επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. β) Η αποχέτευση, η μεταφορά, η επεξεργασία και η διάθεση των αποβλήτων. γ) Η κατασκευή και η συντήρηση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης νερού, των δικτύων μεταφοράς και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. δ) Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της ποιότητας και της ποσότητας των υδατικών πόρων. ε) Η διαχείριση των πλημμυρών. στ). Η τεχνητή επαναφόρτιση των υπόγειων υδροφορέων.

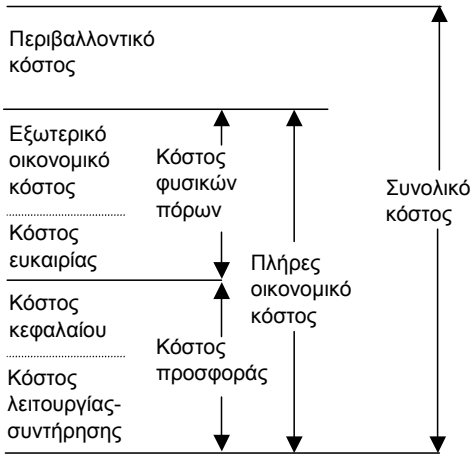
Ο ρόλος των υπηρεσιών ύδατος, σύμφωνα με την Οδηγία, είναι πολύ σημαντικός, αφού πρέπει να εξασφαλίζουν την προμήθεια πόσιμου νερού και την κατάλληλη αποχέτευση, κατά τρόπο τέτοιο που να προστατεύεται το υδάτινο περιβάλλον. Στην πραγματικότητα, οι υπηρεσίες νερού αποτελούν τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των χρηστών νερού, των ρυπαντών και των φυσικών υδάτινων συστημάτων. Συνεπώς, οι υπηρεσίες ύδατος αναλαμβάνουν τεράστιες περιβαλλοντικές ευθύνες για την προστασία των υδάτινων πόρων από την υπερεκμετάλλευση και την ρύπανση.

Ως «χρήσεις ύδατος» (άρθρο 2 παρ. 39) καθορίζονται το σύνολο των υπηρεσιών νερού και των δραστηριοτήτων που έχουν σημαντική επίπτωση στην κατάσταση του νερού. Η έννοια αυτή είναι ευρύτερη και περιλαμβάνει εκτός από τις υπηρεσίες νερού και κάθε άλλη δραστηριότητα που έχει σημαντικές επιπτώσεις στην κατάσταση του νερού. Σε αντίθεση με τις υπηρεσίες νερού, για τις χρήσεις νερού η Οδηγία δεν δίνει μια λίστα με τις χρήσεις νερού που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Με τον ορισμό, όμως, που δίνει η Οδηγία θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι καλύπτονται σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες δηλαδή τα νοικοκυριά, η γεωργία, η βιομηχανία, η ναυσιπλοΐα, η αντιπλημμυρική προστασία, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η αναψυχή. Σημειώνεται, πάντως, ότι μερικές δραστηριότητες μπορούν να μην έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην κατάσταση του νερού, αλλά και να μην είναι υπηρεσίες ή χρήσεις νερού. Για παράδειγμα, η αλιεία σε ένα ποτάμι ή σε μια λίμνη δεν έχει επιπτώσεις στην κατάσταση του νερού, όμως, μπορεί η υπεραλιεία να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις στην οικολογία του ποταμού ή της λίμνης και στην κατάσταση της ποιότητας του νερού τους.

3.2. Η τιμολόγηση του πλήρους κόστους των υπηρεσιών νερού

Η οικονομική αξία του νερού έχει συστηματικά υποβαθμιστεί σχεδόν σε όλο τον κόσμο με αποτέλεσμα την υποτιμολόγηση του ή ακόμη και την δωρεάν παροχή του. Αυτό έχει προκαλέσει όχι μόνο μεγάλα οικονομικά ελλείμματα στους φορείς διαχείρισης των υδατικών πόρων, αλλά έδωσε στους χρήστες το δικαίωμα να υποτιμούν την πραγματική αξία του νερού και να το κατασπαταλούν με άμεση συνέπεια την καταστροφική διαχείριση του. Η Οδηγία αναφέρεται στην ανάκτηση του συνολικού κόστους των υπηρεσιών ύδατος και στην εκτίμηση όλων των συνιστωσών του. Όπως αναφέρουν οι Rogers et al. [6]

δεν υπάρχει ένας ακριβής ορισμός της έννοιας της «τιμολόγησης του πλήρους κόστους του νερού». Οι επιστήμονες είχαν προσπαθήσει, κατά το παρελθόν, να ερμηνεύσουν τον όρο αυτό, πλην όμως, δεν κατάφεραν να καταλήξουν σε ένα κοινά αποδεκτό ορισμό. Έτσι, ανάλογα με τις συνεπαγόμενες επιδιώξεις σε καθεμία περίπτωση, οι ορισμοί που δινόντουσαν ήταν εντελώς διαφορετικοί και κανένας από αυτούς δεν ήταν πραγματικά πλήρης [7]. Το *πλήρες κόστος προσφοράς νερού* αποτελείται από το *πλήρες οικονομικό κόστος* και το *περιβαλλοντικό κόστος* που αφορά στην δημόσια υγεία, στην ποιότητα, στην βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων και στις ζημιές που προκαλούνται από την χρήση του νερού στο περιβάλλον και στα υδατικά συστήματα [3],[6]. Το *πλήρες οικονομικό κόστος προσφοράς* αποτελείται από το *κόστος προσφοράς* που είναι το *κόστος κεφαλαίου* και το *κόστος λειτουργίας και συντήρησης*, το *κόστος ευκαιρίας* που προέρχεται από τις εναλλακτικές χρήσεις ύδατος και το *εξωτερικό οικονομικό κόστος* που προκαλείται από μεταβολές των οικονομικών δραστηριοτήτων των έμμεσα επηρεαζόμενων τομέων (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Συνιστώσες του συνολικού κόστους των υπηρεσιών νερού.

3.3. Ο επιμερισμός του συνολικού κόστους στους χρήστες νερού

Η Οδηγία (άρθρο 9.1και παράρτημα ΙΙΙ) καθορίζει τον επιμερισμό του κόστους των υπηρεσιών νερού στους διάφορους τομείς με βάση την οικονομική ανάλυση των χρήσεων νερού και την αρχή ο «ρυπαίνων πληρώνει». Ο επιμερισμός αυτός θα πρέπει να γίνει στους χρήστες και στους ρυπαντές ανάλογα με την ποσότητα των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν και το κόστος που προκαλούν. Η συμμετοχή των χρηστών νερού στο κόστος των υπηρεσιών μειώνεται από τις επιχορηγήσεις που παρέχονται είτε στους παροχείς των υπηρεσιών είτε στους χρήστες. Οι επιχορηγήσεις αυτές δρουν ανασταλτικά στην βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων, που αποτελεί το βασικό στόχο της Οδηγίας. Οι επιχορηγήσεις μπορούν να είναι είτε άμεσες κρατικές, όπως π.χ. συμμετοχή στις επενδύσεις των παροχών νερού (επιδοτήσεις δανείων,

κεφαλαίου κ.λπ.), επιδότηση των τιμών και των τελών που πληρώνουν οι χρήστες, επιχορήγηση του κόστους λειτουργίας κ.λπ., είτε έμμεσες επιχορηγήσεις με την κάλυψη μέρους του κόστους των υπηρεσιών που προκαλείται από άλλους χρήστες. Τέτοιου είδους επιχορηγήσεις μπορούν να προκληθούν ανάμεσα σε διαφορετικούς χρήστες υπηρεσιών νερού (νοικοκυριά, γεωργία, βιομηχανία), σε περιοχές με επαρκείς και περιορισμένους υδατικούς πόρους και σε μικρούς και μεγάλους καταναλωτές.

Σημειώνεται ότι στην κατανομή του κόστους των υπηρεσιών νερού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι επιχορηγήσεις, των οποίων, όμως, η κατανομή στους χρήστες δεν είναι μια εύκολη υπόθεση [5]. Συγκεκριμένα, σε μια περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού συνήθως υπάρχουν διάφορες υπηρεσίες ύδατος, που μπορούν να εξυπηρετούν μια σειρά οικονομικών στόχων. Για παράδειγμα, μπορεί να κατασκευαστεί μια σειρά από φράγματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία, όμως, συγχρόνως ρυθμίζουν τις απορροές του ποταμού, ώστε να αποφεύγονται οι καταστροφικές πλημμύρες, ενώ το νερό των ταμιευτήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθήκη νερού για την κάλυψη των αναγκών της ύδρευσης, της άρδευσης, της βιομηχανίας κ.λπ. Η οικονομική επιχορήγηση σε μια από τις ανωτέρω υπηρεσίες νερού θα διευκόλυνε τις δραστηριότητες της, πλην όμως από πρακτική άποψη θα μπορούσε να ωφελήσει και τις υπόλοιπες. Για την επιχορήγηση αυτή, που θα πρέπει να κατανεμηθεί και στις άλλες υπηρεσίες νερού, το ερώτημα που τίθεται είναι: «Ποια είναι ωφέλεια για καθεμία υπηρεσία νερού και πόσο θα πρέπει να είναι το μερίδιο της από την οικονομική επιχορήγηση;».

3.4. Τιμολόγηση του νερού και περιβαλλοντικοί στόχοι

Η Οδηγία (άρθρο 9.1) ορίζει ότι οι πολιτικές τιμολόγησης πρέπει να παρέχουν στους χρήστες τα κατάλληλα κίνητρα για να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους υδάτινους πόρους και κατά συνέπεια να συμβάλλουν στους περιβαλλοντικούς στόχους αυτής. Μια συνετή τιμολόγηση του νερού θα αποσκοπούσε στην ανάκτηση μεν του πλήρους κόστους, συμπεριλαμβανομένων του κόστους των φυσικών πόρων και του περιβαλλοντικού κόστους, συγχρόνως, όμως θα λάμβανε υπόψη της και το κοινωνικό συμφέρον.

Τέλη για το νερό θα μπορούσαν να επιβληθούν για λόγους βιωσιμότητας των υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος. [2]. Για τις υπηρεσίες ύδατος και αποχέτευσης, λοιπόν, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν οι εξής αρχές: α) Οι επιβαρύνσεις να είναι κοινωνικά αποδεκτές. β) Οι τιμές, σε γενικές γραμμές, να αντικατοπτρίζουν το πραγματικό κόστος συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους χωρίς άλλες πρόσθετες επιβαρύνσεις. γ) Να μειώνεται το κόστος με την αύξηση της αποτελεσματικότητας, αλλά χωρίς συμβιβασμούς ως προς την προστασία και την ποιότητα του περιβάλλοντος και χωρίς υπέρβαση των αποδεκτών επιπέδων κινδύνου (risk). δ) Οι επιδοτήσεις μεταξύ χαμηλών και υψηλού εισοδήματος νοικοκυριών είναι αναπόφευκτη και αναγκαία, ώστε να καταστεί το νερό οικονομικά αποδεκτό από όλους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Οδηγία 2000/60 εισάγει νέα πρότυπα, κριτήρια, θεσμούς και διαδικασίες για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, ώστε να επιτευχθεί καλή κατάσταση για όλα τα ύδατα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το έτος 2015. Για τον σκοπό αυτό θέτει σημαντικούς όρους για την προστασία της ποιότητας και της ποσότητας των υδατικών πόρων, υπόγειων και επιφανειακών, εισάγει την πολιτική της τιμολόγησης του νερού, την ολοκληρωμένη διαχείριση της λεκάνης απορροής ποταμού και την ενίσχυση της ενεργούς συμμετοχής όλων των φορέων, συμπεριλαμβανομένων των μη κυβερνητικών οργανισμών και των τοπικών κοινοτήτων στις δραστηριότητες διαχείρισης των υδάτων. Η υλοποίηση της Οδηγίας απαιτεί την τήρηση αυστηρών χρονοδιαγραμμάτων και την ενσωμάτωση της στις εθνικές νομοθεσίες. Η εμπειρία και η ικανότητα στην ανάπτυξη οικονομικής ανάλυσης για την υποστήριξη οικονομικών αποφάσεων σε κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού είναι περιορισμένη όχι μόνο στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και στις υποψήφιες προς ένταξη χώρες. Βασικοί περιορισμοί στην οικονομική ανάλυση είναι μια μέτρια βάση σχετικών πληροφοριών, περιορισμένη ικανότητα και όγκος πληροφοριών, περιορισμένη ενημέρωση μεταξύ των εμπειρογνωμόνων νερού και των οικονομολόγων γύρω από τον ρόλο της οικονομίας στην διαχείριση και στην πολιτική των υδατικών πόρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. EC, 2000. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. L327/1 Official Journal of the European Communities.
2. European Environmental Bureau (EEB), 2002. *Environmental Principles for Water Services in the EU*. EEB Position Paper on Private Versus Public Water Services. EEB Publ. No: 2002/006.
3. Global Water Partnership (GWP), 2000. *Integrated water resources management*. SE-105 25. Stockholm, Sweden.
4. Kallis, G. and Butler, D., 2001. The EU water framework directive: measures and implications. *Water Policy*. 3:125-142.
5. OECD, 1997. *Water subsidies and the environment*. OECD. Paris
6. Rogers, P., Radhika de Silva and Bhatia, R., 2002. Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy*. 4: 1-17
7. Roth, W., 2001. *Water pricing in the EU. A review*. European Environmental Bureau. Publ. No. 2001/002.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΙΧΜΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

Π.Ε. Γεωργίου*, Δ.Μ. Παπαμιχαήλ και Δ.Ν. Καραμούζης
Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων
Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, * e-mail: pantaz@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και εμπειρικοί τύποι χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των αιχμών απορροής, σε υπό σχεδιασμό θέσεις φραγμάτων, σε τέσσερα υδατορεύματα της Χαλκιδικής. Οι αιχμές της απορροής για τις τέσσερις θέσεις των φραγμάτων υπολογίσθηκαν χρησιμοποιώντας την απορροϊκή βροχή μέγιστων βροχοπτώσεων συγκεκριμένης διάρκειας και διαφόρων περιόδων επαναφοράς. Οι μέγιστες απορροϊκές βροχές για τις βροχοπτώσεις σχεδιασμού εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τις καμπύλες έντασης – διάρκειας – συχνότητας γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών, τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) και την κατανομή τους με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής. Με τη βοήθεια των εκτιμήσεων των παραπάνω πλημμυρικών αιχμών έγινε η συγκριτική ανάλυση των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων και των εμπειρικών τύπων.

Λέξεις κλειδιά: Πλημμυρική αιχμή, εμπειρικές σχέσεις, συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PEAK FLOWS ESTIMATES WITH SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPHS PROCEDURES AND EMPIRICAL FORMULAS

P.E. Georgiou, D.M. Papamichail and D.N. Karamouzis
Laboratory of General and Agricultural Hydraulics and Land Reclamation
School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

In this paper, synthetic unit hydrograph procedures and empirical formulas were used to estimate the peak flows for suggested dam locations on the four streams in Halkidiki. Peak flows for the four dam locations were computed by using maximum effective rainfall for given duration and return period design storms. The maximum effective rainfall for the design storms was estimated by using the intensity-duration-frequency curves of neighboring meteorological stations, the Curve Number infiltration loss rates and its distribution with alternating block method. By using the peak flow estimates it was done the comparative analysis of the synthetic unit hydrographs procedures and the empirical formulas.

Keywords: Peak flows, empirical formulas, synthetic unit hydrographs

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πιο σημαντικό στοιχείο ενός υδρογραφήματος, που είναι βασικό στις υδρολογικές μελέτες αλλά και στις μελέτες υδραυλικών κατασκευών, που ως σκοπό έχουν την αντιπλημμυρική προστασία, είναι η εκτίμηση του μεγέθους της αιχμής του. Η ιστορία είναι γεμάτη από περιστατικά πλημμυρών τα οποία προκάλεσαν και προκαλούν μεγάλες υλικές ζημιές και ανθρώπινα θύματα. Για το λόγο αυτό προκύπτει η ανάγκη διαστασιολόγησης νέων έργων ή επαναδιαστασιολόγησης ήδη υπαρχόντων έργων. Για να γίνει αυτό πρέπει να εκτιμηθούν οι αιχμές πλημμυρικών απορροών που προέρχονται από βροχοπτώσεις διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς. Οι πρώτες μέθοδοι που διερευνήθηκαν για το σκοπό αυτό ήταν εμπειρικές, ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και τα μοντέλα βροχής–απορροής. Στην εργασία αυτή, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των αιχμών απορροής που εκτιμώνται με δύο εμπειρικούς τύπους (ορθολογική μέθοδος και τύπος του Fuller) [1,2], που προτείνονται από το Π.Δ. 696/8-10-1974 για την εκτίμηση πλημμυρικών παροχών κατά την μελέτη υδραυλικών έργων και με δύο συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα (Sierra Nevada και S.C.S.) [1,3,4]. Η εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών γίνεται σε τέσσερις υδρολογικές λεκάνες του Ν. Χαλκιδικής (λεκάνη του χειμάρρου των Σημάντρων, λεκάνη του χειμάρρου της Ν. Τρίγλιας, λεκάνη του χειμάρρου Πετρένια και λεκάνη του Βατόνια) των οποίων η έκταση ποικίλλει και αφορά βροχοπτώσεις συγκεκριμένης διάρκειας ίσης με τον χρόνο συγκέντρωσης t_c και διαφόρων περιόδων επαναφοράς, που υπολογίζονται από καμπύλες έντασης – διάρκειας – συχνότητας γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών. Η εκτίμηση της απορροϊκής βροχής γίνεται με τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) [1] και η κατανομή της βροχόπτωσης γίνεται με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής [1,5].

2. ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης

Η μέγιστη απορροή εμφανίζεται όταν το νερό από όλα τα σημεία της λεκάνης φθάσει στην έξοδό της δηλαδή η διάρκεια της βροχής πρέπει να είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης t_c της υδρολογικής λεκάνης. Ο χρόνος συγκέντρωσης σύμφωνα με το Π.Δ. 696/8-10-1974 [2] υπολογίζεται με τη σχέση του Giandotti που έχει τη μορφή:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1{,}5L}{0{,}8\sqrt{H_m - H_{min}}} \qquad (1)$$

όπου: t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής σε hrs, A είναι η έκταση της λεκάνης σε km^2, L είναι το μέγιστο μήκος διαδρομής της λεκάνης σε km, H_m είναι το μέσο υψόμετρο της λεκάνης σε m και H_{min} είναι το υψόμετρο της εξόδου της λεκάνης σε m.

2.2. Εμπειρικοί τύποι εκτίμησης των αιχμών απορροής

2.2.1. Ορθολογική μέθοδος

Η αιχμή της απορροής σύμφωνα με το Π.Δ. 696/8-10-1974 [2] υπολογίζεται από τον εμπειρικό τύπο της ορθολογικής μεθόδου που έχει τη μορφή [1,2]:

$$Q_p = 0{,}278CIA \qquad (2)$$

όπου: Q_p είναι η αιχμή της απορροής, C είναι μία παράμετρος γνωστή σαν συντελεστής απορροής [2], I είναι η ένταση της βροχής και A είναι η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης. Αν το I εκφράζεται σε mm/hr και το A σε στρέμματα το Q_p εκφράζεται σε l/sec, ενώ, αν το A είναι σε km^2, το Q_p θα είναι σε m^3/sec. Η μέθοδος έχει δώσει αξιόπιστες εκτιμήσεις αιχμών απορροής για υδρολογικές λεκάνες της Αυστραλίας με έκταση μέχρι 250 km^2.

2.2.2. Τύπος του Fuller

Μία άλλη μέθοδος εκτίμησης της αιχμής των απορροών είναι ο εμπειρικός τύπος του Fuller που επίσης προτείνεται από το Π.Δ. 696/8-10-1974 [2] και έχει τη μορφή:

$$Q_p = Q_1\left(1+\beta * \log T\right)\left(1+\frac{2{,}66}{A^{0{,}30}}\right) \qquad (3)$$

όπου: Q_p είναι η αιχμή της απορροής (m^3/sec), Q_1 είναι η μέση ημερήσια παροχή της μέγιστης πλημμύρας με περίοδο επαναφοράς ενός έτους (m^3/sec), β είναι συντελεστής ο οποίος ισούται με 0,80, T είναι η περίοδος επαναφοράς σε έτη και A είναι η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης (km^2). Το Q_1 μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$Q_1 = 1{,}80A^{0{,}80} \qquad (4)$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση (4) στη σχέση (3) προκύπτει η σχέση:

$$Q_p = 1{,}80A^{0{,}80}\left(1+0{,}8 * \log T\right)\left(1+\frac{2{,}66}{A^{0{,}30}}\right) \qquad (5)$$

2.3. Συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα

2.3.1. 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 και βασίζεται στο αδιάστατο Μ.Υ. της Sierra Nevada [3]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο χρόνος υστέρησης του Σ.Μ.Υ. υπολογίζεται με τη σχέση:

$$L_g = 0{,}1776C\left[LL_c/\sqrt{S}\right]^N \quad \text{ή} \quad L_g = 0{,}5541\left[LL_c/\sqrt{S}\right]^{0{,}33} \qquad (6)$$

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 τη θέση του φράγματος 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

$$D = L_g / 5{,}5 \quad (7)$$

Η τετμημένη του Σ.Μ.Υ. (χρόνος), η οποία προέρχεται από απορροϊκή βροχή 1 mm υπολογίζεται με τη σχέση

$$t_m = T/100 * (L_g + D/2) \quad (8)$$

όπου: t_m = χρόνος του Σ.Μ.Υ. σε ώρες, T = παίρνεται από τον Πίνακα του αδιάστατου Μ.Υ. της Sierra Nevada [3], L_g και D όπως υπολογίζονται από τις σχέσεις (6) και (7), αντίστοιχα.

Η τεταγμένη του Σ.Μ.Υ. (παροχή), η οποία προέρχεται από απορροϊκή βροχή 1 mm υπολογίζεται με τη σχέση:

$$Q = 0{,}01157 * \left\{ (A * q) \Big/ \left(L_g + D/2 \right) \right\} \quad (9)$$

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 [3].

2.3.2. 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]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η παροχή αιχμής ενός υδρογραφήματος που προέρχεται από βροχή διάρκειας D ωρών δίνεται από τη σχέση:

$$Q_p = (0{,}75 A P_r) / (3600 t_p) \quad (10)$$

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 [1]:

$$t_p = L_g + D/2 \quad (11)$$

Οι τεταγμένες του Μ.Υ. υπολογίζονται με τις σχέσεις:

$$Q = Q_d * Q_p \quad (12)$$

$$t = t_d * t_p \quad (13)$$

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, Q_d = αδιάστατη παροχή και t_d = αδιάστατος χρόνος που παίρνονται από Πίνακα [1].

2.4. Εκτίμηση απορροϊκής βροχής και κατανομή της

Τα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών και διαφόρων περιόδων επαναφοράς, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων, υπολογίζονται με τη βοήθεια των σχέσεων έντασης-διάρκειας-συχνότητας. 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.[1] η απορροϊκή βροχή Pe δίνεται από τη σχέση :

$$Pe = (P - 0{,}2S)^2 / (P + 0{,}8S) \quad (14)$$

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 [1]:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (15)$$

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 III και υπολογίζεται ως συνάρτηση του CN_{II}, με την παρακάτω σχέση [1]:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0{,}4036 + 0{,}0059 CN_{II}} \qquad (16)$$

Οι απορροϊκές βροχές διαφόρων διαρκειών και διαφόρων περιόδων επαναφοράς που υπολογίζονται με τις παραπάνω σχέσεις, θεωρούνται ότι κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλη τη διάρκεια της βροχόπτωσης. Για τον υπολογισμό όμως των υδρογραφημάτων πλημμύρας πρέπει η βροχόπτωση αυτή να κατανεμηθεί μέσα στη διάρκειά της με κάποιο τρόπο. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών βροχής (Alternating Block Method) [1,5].

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η εφαρμογή αφορά την εκτίμηση των αιχμών απορροής σε τέσσερις υδρολογικές λεκάνες του Νομού Χαλκιδικής (λεκάνη του χειμάρρου των Σημάντρων, λεκάνη του χειμάρρου της Ν. Τρίγλιας, λεκάνη του χειμάρρου Πετρένια και λεκάνη του Βατόνια). Στις τέσσερις αυτές λεκάνες μελετάται η κατασκευή φραγμάτων είτε αντιπλημμυρικής προστασίας (λεκάνες Σημάντρων και Ν. Τρίγλιας) είτε αποθήκευσης νερού για ύδρευση και άρδευση (λεκάνες Πετρένια και Βατόνια). Σε όλες τις λεκάνες γίνεται η εκτίμηση των αιχμών απορροής για βροχοπτώσεις διάρκειας ίσης περίπου με το χρόνο συγκέντρωσης και περιόδων επαναφοράς 5, 20, 500 και 1000 ετών. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων λεκανών δίνονται στον Πίνακα 1 [6,7,8,9].

Με τη βοήθεια της σχέσης (1) βρέθηκε ο χρόνος συγκέντρωσης και είναι για τις λεκάνες των Σημάντρων, του Πετρένια, της Ν. Τρίγλιας και του Βατόνια 3,62 ώρες, 3,56 ώρες, 4,25 ώρες και 4,99 ώρες, αντίστοιχα, ενώ η διάρκεια της βροχόπτωσης πάρθηκε ίση με 3,50 ώρες, 3,50 ώρες, 4,50 ώρες και 5,00 ώρες, αντίστοιχα.

Με βάση τη διάρκεια βροχόπτωσης υπολογίζονται για διάφορες περιόδους επαναφοράς οι μέγιστες εντάσεις βροχόπτωσης με τις παρακάτω σχέσεις:

$$i = 17{,}1317 T^{0{,}2042} / t^{0{,}65} \qquad (17)$$

και

$$i = 20{,}5069 T^{0{,}1613} / t^{0{,}64} \qquad (18)$$

όπου: i = ένταση βροχής (mm/hr), T = περίοδος επαναφοράς (έτη) και t = η διάρκεια της βροχής (hrs). Η σχέση (17) αναφέρεται στις καμπύλες έντασης-διάρκειας-συχνότητας του σταθμού του Πολυγύρου [6] και χρησιμοποιείται για τις λεκάνες των Σημάντρων, του Βατόνια και της Ν. Τρίγλιας, ενώ η σχέση (18) αναφέρεται στις καμπύλες έντασης-διάρκειας-συχνότητας του σταθμού της Μ. Παναγιάς [8] και χρησιμοποιείται για τη λεκάνη του Πετρένια. Τα μέγιστα ύψη

βροχόπτωσης για περιόδους επαναφοράς 5, 20, 500 και 1000 ετών και διάρκεια βροχόπτωσης την αντίστοιχη κάθε λεκάνης δίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Μορφολογικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων υδρολογικών λεκανών της Χαλκιδικής

Λεκάνη απορροής	**Εμβαδόν (km^2)**	**Μέγιστο μήκος διαδρομής (km)**	**Μήκος από προβολή Κ.Β. L_c (km)**	**Μέσο υψόμετρο (m)**	**Ελάχιστο υψόμετρο (m)**	**Κλίση του κυρίως ρεύματος (m/m)**
(1)	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**	**(6)**	**(7)**
Σημάντρων	18,33	12,97	6,62	221,27	61,65	0,07
Πετρένια	41,45	13,88	7,75	296,77	29,00	0,06
Ν. Τρίγλια	54,50	17,60	9,32	330,89	60,00	0,02
Βατόνια	131,50	21,00	6,45	611,60	236,00	0,03

Πίνακας 2. Μέγιστα ύψη βροχόπτωσης για διάφορες περιόδους επαναφοράς των τεσσάρων λεκανών της Χαλκιδικής

	Υδρολογική Λεκάνη			
Περίοδος Επαναφοράς	**Σημάντρων**	**Πετρένια**	**Ν. Τρίγλιας**	**Βατόνια**
5	36,89	41,74	40,29	41,80
20	48,97	52,19	53,47	55,48
500	94,48	87,72	103,17	107,05
1000	108,85	98,10	118,86	123,32

Οι αντίστοιχες μέγιστες απορροϊκές βροχές εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια της διαδικασίας του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) της S.C.S., που περιγράφηκε στην Παράγραφο 2.4. Ο απορροϊκός συντελεστής (CN), για υγρασιακή κατάσταση τύπου ΙΙ, εκτιμήθηκε με τη βοήθεια της διαπερατότητας των εδαφών και της φυτοκάλυψης και βρέθηκε για τη λεκάνη των Σημάντρων ίσος με 74 [6], για τη λεκάνη του Πετρένια ίσος με 57 [8], για τη λεκάνη της Ν.Τρίγλιας ίσος με 66 [9] και για τη λεκάνη του Βατόνια ίσος με 65 [7]. Κατόπιν υπολογίσθηκε το CN_{III} με τη σχέση (16). Στη συνέχεια με την εφαρμογή της σχέσης (15) για $CN=CN_{III}$ βρέθηκε η αποθήκευση S για τις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών. Στον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, στις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών, για την εκτίμηση της αποθήκευσης χρησιμοποιείται η υγρασιακή κατάσταση τύπου ΙΙΙ δηλαδή το CN_{III}, είτε αυτές αναφέρονται σε χειμερινή περίοδο, οπότε η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι αρκετά ικανοποιημένη, είτε σε θερινή περίοδο, οπότε λόγω της ραγδαιότητας των θερινών βροχών δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους, στο σύνολό της. Με τη βοήθεια της αποθήκευσης S, των μέγιστων υψών βροχής (P) του Πίνακα 2 και της σχέσης (14) υπολογίζεται η απορροϊκή βροχή των βροχοπτώσεων του Πίνακα 2, για κάθε λεκάνη τα ύψη της οποίας κατανεμήθηκαν μέσα στη διάρκεια της βροχόπτωσης με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής (Alternating Block Method).

Με τη βοήθεια των κατανεμημένων απορροϊκών βροχών και των στοιχείων των Πινάκων 1 και 2, με τις διαδικασίες των Συνθετικών Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων που περιγράφηκαν στην παράγραφο 2.3, υπολογίζονται τα στοιχεία των συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων και τα πλημμυρογραφήματα των αντίστοιχων απορροϊκών βροχών των διαφόρων περιόδων επαναφοράς. Από τα πλημμυρογραφήματα αυτά βρίσκεται η μέγιστη πλημμυρική αιχμή. Για την εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών κάθε λεκάνης και για όλες τις περιόδους επαναφοράς, στη σχέση (2) της ορθολογικής μεθόδου χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη μέγιστη ένταση βροχής I που προκύπτει είτε από τη σχέση (17) είτε από τη σχέση (18) (Πίνακας 2) και ο συντελεστής απορροής C πάρθηκε ίσος με 0,5 για όλες τις λεκάνες. Τέλος, η εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών κάθε λεκάνης, για όλες τις περιόδους επαναφοράς έγινε με την εφαρμογή του εμπειρικού τύπου (5) του Fuller. Στον Πίνακα 3 δίνονται οι πλημμυρικές αιχμές κάθε λεκάνης, για διάφορες περιόδους επαναφοράς, που υπολογίσθηκαν με την ορθολογική μέθοδο, τον τύπο του Fuller, το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της Sierra Nevada και το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της S.C.S..

Πίνακας 3. Πλημμυρικές αιχμές των τεσσάρων λεκανών της Χαλκιδικής υπολογισμένες με την ορθολογική μέθοδο, τον τύπο του Fuller, το Σ.Μ.Υ. της S.N. και το Σ.Μ.Υ. της S.C.S.

T (έτη)	**Ορθολογική (m^3/sec)**	**Fuller (m^3/sec)**	**S.N. (m^3/sec)**	**S.C.S. (m^3/sec)**	**Σφάλμα (S.N.-S.C.S.)/S.N.**	**Σφάλμα (S.N.-Ορθολ.)/S.N.**	**Σφάλμα (S.N.-Fuller)/S.N.**
Σήμαντρα							
5	26,86	60,72	13,22	12,22	7,56%	-103,16%	-359,27%
20	35,65	79,47	22,02	20,31	7,77%	-61,88%	-260,91%
500	68,78	123,02	59,89	55,30	7,66%	-14,84%	-105,41%
1000	79,24	132,40	72,51	67,02	7,57%	-9,28%	-82,59%
Πετρένιας							
5	68,70	103,29	13,78	12,92	6,24%	-398,57%	-649,60%
20	85,92	135,20	24,12	22,63	6,18%	-256,22%	-460,55%
500	144,40	209,29	70,34	65,52	6,85%	-105,29%	-197,55%
1000	161,49	225,25	86,09	79,88	7,21%	-87,58%	-161,64%
Ν. Τρίγλια							
5	67,82	123,86	20,40	18,53	9,17%	-232,45%	-507,18%
20	90,01	162,13	36,43	33,11	9,11%	-147,08%	-345,04%
500	173,68	250,97	111,39	101,01	9,32%	-55,92%	-125,31%
1000	200,09	270,10	137,42	124,61	9,32%	-45,60%	-96,55%
Βατόνιας							
5	152,81	224,70	55,92	52,35	6,38%	-173,26%	-301,83%
20	202,81	294,11	102,08	94,30	7,62%	-98,67%	-188,12%
500	391,33	455,29	316,92	289,53	8,64%	-23,48%	-43,66%
1000	450,83	489,99	391,31	357,89	8,54%	-15,21%	-25,22%

Από τα στοιχεία του Πίνακα 3, προκύπτει ότι οι πλημμυρικές αιχμές που υπολογίζονται με τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα έχουν παραπλήσιες τιμές για όλες τις περιόδους επαναφοράς, με απόκλιση γύρω στο 8%, με τις τιμές της S.C.S. να είναι μικρότερες από αυτές τη S.N. Η ορθολογική μέθοδος συγκρινόμενη με το Σ.Μ.Υ. της S.N. και κατά συνέπεια και της S.C.S. υπερεκτιμά τις αιχμές σε όλες τις περιόδους επαναφοράς με μικρότερη την υπερεκτίμηση στις μεγάλους περιόδους επαναφοράς. Ο εμπειρικός τύπος του Fuller υπερεκτιμά υπερβολικά τις πλημμυρικές αιχμές για όλες τις περιόδους επαναφοράς και οι πιθανοί λόγοι αυτής της υπερεκτίμησης είναι το ότι δεν παίρνει υπόψη της την ένταση της βροχής, τη διάρκειά της και την κατανομή της στο χρόνο. Επίσης, οι σημαντικές υπερεκτιμήσεις των πλημμυρικών αιχμών στην περίπτωση της ορθολογικής μεθόδου πιθανόν να οφείλονται στο ότι ο υπολογισμός του συντελεστή απορροής είναι αρκετά δύσκολος και εμπειρικός και η βροχόπτωση δεν κατανέμεται στο χρόνο αλλά παίρνεται ολόκληρη.

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι οι εμπειρικοί τύποι υπολογισμού των αιχμών απορροής πρέπει να χρησιμοποιούνται με πολύ μεγάλη επιφύλαξη μιας και παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα σε σχέση με τα Σ.Μ.Υ. τα οποία εκτός από τις αιχμές εκτιμούν όλο το υδρογράφημα πλημμύρας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε η εκτίμηση των αιχμών απορροής με τους εμπειρικούς τύπους της ορθολογικής μεθόδου και του Fuller και τα Σ.Μ.Υ. της S.N. και της S.C.S. σε τέσσερις λεκάνες του Νομού Χαλκιδικής για βροχοπτώσεις διάρκειας ίσης περίπου με το χρόνο συγκέντρωσης κάθε λεκάνης και περιόδους επαναφοράς 5, 20, 500 και 1000 ετών. Στις τέσσερις αυτές λεκάνες μελετάται η κατασκευή φραγμάτων είτε αντιπλημμυρικής προστασίας (λεκάνες Σημάντρων και Ν. Τρίγλιας) είτε αποθήκευσης νερού για ύδρευση και άρδευση (λεκάνες Πετρένια και Βατόνια).Οι μέγιστες απορροϊκές βροχές για τις βροχοπτώσεις σχεδιασμού εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας τις καμπύλες έντασης – διάρκειας – συχνότητας γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών, τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) και την κατανομή τους με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής. Από την ανάλυση προκύπτει ότι οι πλημμυρικές αιχμές που υπολογίζονται με τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα έχουν παραπλήσιες τιμές για όλες τις περιόδους επαναφοράς, με απόκλιση γύρω στο 8%, με τις τιμές της S.C.S. να είναι μικρότερες από αυτές τη S.N. Η ορθολογική μέθοδος συγκρινόμενη με το Σ.Μ.Υ. της S.N. και κατά συνέπεια και της S.C.S. υπερεκτιμά τις αιχμές σε όλες τις περιόδους επαναφοράς με μικρότερη την υπερεκτίμηση στις μεγάλους περιόδους επαναφοράς. Ο εμπειρικός τύπος του Fuller υπερεκτιμά υπερβολικά τις πλημμυρικές αιχμές για όλες τις περιόδους επαναφοράς και οι πιθανοί λόγοι αυτής της υπερεκτίμησης είναι το ότι δεν παίρνει υπόψη της την ένταση της βροχής, τη διάρκειά της και την κατανομή της στο χρόνο. Επίσης, οι σημαντικές υπερεκτιμήσεις των πλημμυρικών αιχμών στην περίπτωση της ορθολογικής μεθόδου πιθανόν να οφείλονται στο ότι ο υπολογισμός του συντελεστή απορροής είναι αρκετά δύσκολος και εμπειρικός και η βροχόπτωση δεν

κατανέμεται στο χρόνο αλλά παίρνεται ολόκληρη. Τέλος, προκύπτει ότι οι εμπειρικοί τύποι υπολογισμού των αιχμών απορροής πρέπει να χρησιμοποιούνται με πολύ μεγάλη επιφύλαξη μιας και παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα σε σχέση με τα Σ.Μ.Υ. τα οποία εκτός από τις αιχμές εκτιμούν όλο το υδρογράφημα πλημμύρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 2001. *Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων*. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, 394 σελ.
2. Π.Δ. 696/8-10-1974. *Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, επίβλεψιν, παραλαβή κ.λ.π. Συγκοινωνιακών, Υδραυλικών και Κτιριακών Έργων, ως και Τοπογραφικών, Κτηματογραφικών και Χαρτογραφικών Εργασιών και σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών*.
3. U.S.D.I., 1987. *Design of small dams*. A Water Resources Technical Publication, pp. 23-57.
4. 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.
5. Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. *Applied hydrology*. Mc-Graw-Hill, 572 pp.
6. Καραμούζης, Δ.Ν., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε., 2002. *Υδρολογική μελέτη*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Φράγμα Ανάσχεσης Ροής και Συγκράτησης Φερτών Υλών Χειμάρρου Σημάντρων-Πορταριάς Ν. Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.
7. Καραμούζης, Δ., Παρισόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε., 2001. *Χωροθέτηση και προκαταρκτική διερεύνηση φράγματος Βατόνια (Ολυνθίου) Χαλκιδικής*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Ολυνθίου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.
8. 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.
9. Καραμούζης, Δ., Παρισόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., Παπουτσή-Ψυχουδάκη, Σ., Γεωργίου, Π.Ε. και Τρανός, Μ., 2001. *Χωροθέτηση και Προκαταρκτική Διερεύνηση Φράγματος Ν. Τρίγλιας Χαλκιδικής (Αντιπλημμυρικό, Προστασίας από Ρύπανση της Θάλασσας, Ταμίευσης Νερού)*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Ολυνθίου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΠΑΡΟΧΩΝ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ

Ε. Α. Μπαλτάς
Ηρακλείτου 20, Αγία Παρασκευή, 15343

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι καμπύλες διάρκειας παροχών σε μία θέση ποταμού είναι πολύ χρήσιμο στοιχείο για τον υδρολογικό σχεδιασμό των υδροενεργειακών έργων, ιδιαίτερα μάλιστα για τα έργα με μικρό ή χωρίς ταμιευτήρα. Στην εργασία αυτή αναπτύχθηκε ένα εντοπικό μοντέλο μέσω της ανάλυσης πολλαπλής συσχέτισης με μορφοκλιματικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής του ποταμού Αλιάκμονα στις θέσεις των υδρομετρικών σταθμών για την εκτίμηση ημερήσιων καμπυλών διάρκειας παροχών. Οι σχέσεις που προσαρμόστηκαν στα δεδομένα διάρκειας και παροχών είναι η εκθετική, υπερβολική, λογαριθμική, πολυωνυμική 2^{ου} βαθμού και πολυωνυμική 3^{ου} βαθμού.

Λέξεις κλειδιά: καμπύλες διάρκειας παροχών, ταμιευτήρας, υδρομετρικός σταθμός, βελτιστοποίηση.

ESTIMATION OF DURATION DISCHARGE CURVES FOR THE ALIAKMON RIVER

E.A. Baltas
Irakleitou 20, Agia Paraskevi, 15343

ABSTRACT

The duration discharge curves in a river are important for the hydrological design of hydroelectric production projects especially for hydraulic works with small or without reservoir. In this paper a regional model was developed using multiple regression analysis with the geomorphologic and climatic characteristics of the Aliakmon river subbasins in the hydrometric stations for the estimation of daily duration discharge curves. The relationships adjusted in the data of duration and discharge, are the exponential, hyperbolic, logarithmic, polynomial 2nd degree and polynomial 3rd degree.

Key words: duration discharge curves, reservoir, hydrometric station, optimization.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

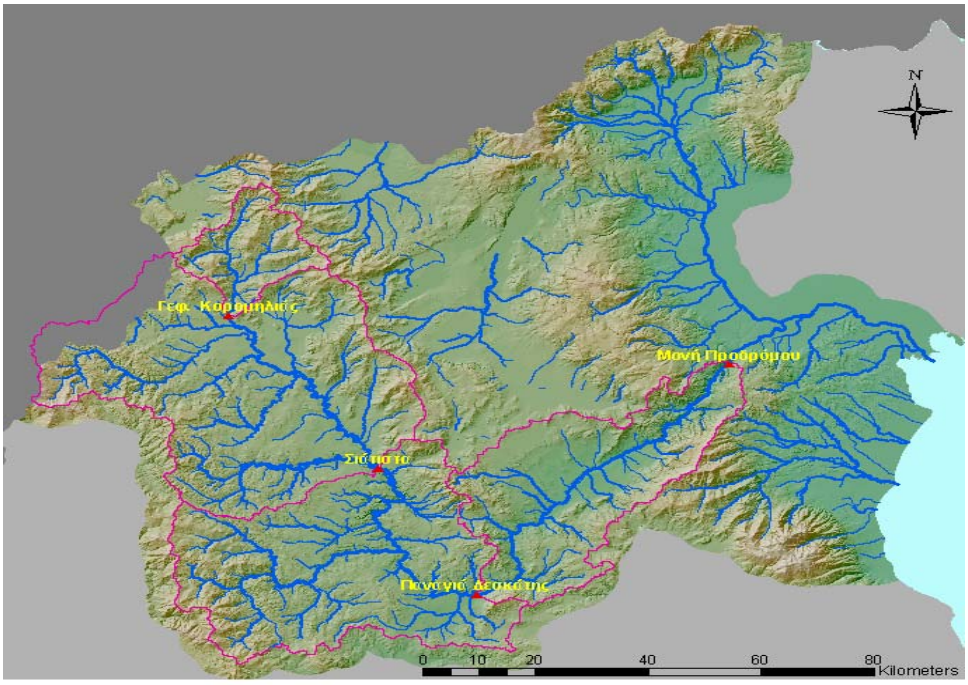
Ένα από τα προβλήματα που συχνά συναντούνται είναι η έλλειψη μετρήσεων παροχής στη θέση υδρολογικού ενδιαφέροντος άρα και η έλλειψη της καμπύλης διάρκειας – παροχής. Η καμπύλη διάρκειας - παροχής που ορίζεται ως η σχεδίαση της παροχής Q προς το ποσοστό του χρόνου D κατά τη διάρκεια της περιόδου παρατηρήσεων όπου εμφανίζονται παροχές που είναι ίσες ή υπερβαίνουν την Q σε μία θέση ποταμού, είναι πολύ χρήσιμο στοιχείο για τον υδρολογικό σχεδιασμό υδροηλεκτρικών έργων ιδιαίτερα για τα έργα με μικρό ή χωρίς καθόλου ταμιευτήρα. Η έλλειψη μετρήσεων παροχής είναι συχνή, αφού οι θέσεις για αξιοποίηση είναι είτε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες είτε για τα μικρά ΥΗΕ βρίσκονται σε δευτερεύοντες κλάδους ποταμών ή σε μικρά ποτάμια όπου δεν υπάρχει δίκτυο μέτρησης της παροχής. Ως εκ τούτου γεννάται πολλές φορές η ανάγκη μεταφοράς της πληροφορίας της καμπύλης διάρκειας παροχών από άλλη θέση όπου υπάρχουν μετρήσεις μέσα στην ίδια υδρολογικά ομοιογενή περιοχή. Ο ασφαλέστερος και καλύτερος τρόπος για να γίνει αυτή η μεταφορά είναι η εντοπική ανάλυση, δηλαδή η ανάπτυξη μέσα σε μία υδρολογικά ομοιογενή περιοχή εντοπικής μεταβολής των παραμέτρων της καμπύλης διάρκειας χρησιμοποιώντας ως στοιχεία εισόδου κλιματικά, μορφολογικά κλπ χαρακτηριστικά της περιοχής τα οποία εύκολα μπορούν να εξαχθούν από χάρτες. Με την εντοπική ανάλυση διασφαλίζεται η μεταφορά της πληροφορίας ακόμα και σε σημαντικά απομακρυσμένες περιοχές ενώ λαμβάνονται υπόψη και τα χαρακτηριστικά της κάθε θέσης στο βαθμό που επηρεάζουν την καμπύλη διάρκειας παροχών. Τόσο στο διεθνή χώρο [4,5], όσο και στον Ελληνικό [2,3], έχουν αναπτυχθεί εντοπικά μοντέλα μεταφοράς της καμπύλης διάρκειας παροχών από θέση μέτρησης σε άλλη θέση χωρίς μετρήσεις.

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα εντοπικό μοντέλο εκτίμησης καμπυλών διάρκειας παροχών στον ποταμό Αλιάκμονα στη Δυτική Μακεδονία. Αρχικά υπολογίστηκαν οι ημερήσιες παροχές για τις θέσεις με διαθέσιμα υδρομετρικά δεδομένα. Για την εκτίμηση των ημερησίων παροχών καταρτίστηκαν οι καμπύλες στάθμης παροχής στις αντίστοιχες θέσεις για την μετατροπή της στάθμης σε παροχή. Επίσης εκτιμήθηκαν οι επιφανειακές βροχοπτώσεις για κάθε λεκάνη απορροής. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής εξήχθησαν από ψηφιοποίηση χαρτών ΓΥΣ κλίμακας 1:50000. Οι θέσεις που εξετάστηκαν βρίσκονται στη Γέφυρα Κορομηλιάς, στην Παναγιά Δεσκάτης, στη Μονή Προδρόμου και στη Σιάτιστα.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η περιοχή μελέτης αφορά το υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας και ειδικότερα τις θέσεις υδρομέτρησης στον ποταμό Αλιάκμονα, η οποία βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα μεταξύ των παραλλήλων 39^{o} 30’ Νότια έως 40^{o} 30’ Βόρεια και 20^{o} 30’ Δυτικά έως 22^{o} Ανατολικά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Το σύνολο των δεδομένων που απαιτήθηκαν είναι οι υδρομετρήσεις που

γίνονται περιοδικά σε επιλεγμένες θέσεις του ποταμού καθώς και οι χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:50000 για τον υπολογισμό των γεωγραφικών χαρακτηριστικών των επιμέρους λεκανών απορροής.



Σχήμα 1. Οι θέσεις υδρομέτρησης στο Υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας.

Οι ημερήσιες παροχές σε m^3/sec για 4 θέσεις προέκυψαν από επεξεργασία σταθμημετρικών/σταθμηγραφικών δεδομένων και καμπυλών στάθμης-παροχής. Τα ονόματα των σταθμών μαζί με τα μορφοκλιματικά τους χαρακτηριστικά (περίμετρος, υψομετρική διαφορά της θέσης υδρομέτρησης από το μέγιστο υψόμετρο, μήκος του κυρίως ρεύματος και ετήσια βροχόπτωση) των 4 θέσεων δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και η ετήσια βροχόπτωση.

Σταθμός	Περίμετρος (km)	Ετήσιο ύψος βροχής (mm)	Υψομετρική διαφορά (m)	Μήκος κύριου υδατορεύματος (km)
Γεφ. Κορομηλιάς	137.60	627	1437.1	38.90
Παναγία Δεσκάτης	558.00	767	2152.6	175.90
Μονή Προδρόμου	710.80	733	2459	268.30
Σιάτιστα	368.00	724	2007.7	123.50

3. ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Για τη ρύθμιση των καμπυλών διάρκειας παροχής χρησιμοποιήθηκαν τρεις θέσεις (Γεφ. Κορομηλιάς, Παναγία Δεσκάτης, Μονή Προδρόμου) που γίνονται υδρομετρήσεις στη Δυτική Μακεδονία στον ποταμό Αλιάκμονα. Τα μοντέλα που εξετάστηκαν για την καλύτερη περιγραφή των ημερήσιων καμπύλων διάρκειας – παροχής είναι τα εξής:

$Q=a \exp(-bD)$ (1)

$Q=aD^{-b}$ (2)

$Q=a-b\ln D$ (3)

$Q=a-bD+cD^2$ (4)

$Q=a-bD+ cD^2-dD^3$ (5)

όπου: Q η παροχή,

D το ποσοστό του χρόνου που οι παροχές είναι ίσες ή μεγαλύτερες από την παροχή Q και

a, b, c, d σταθερές.

Η εκτίμηση των παραμέτρων a, b, c και d έγινε με μεθόδους βελτιστοποίησης [1] χρησιμοποιώντας τις 3 θέσεις (ρύθμιση του μοντέλου), ενώ η τέταρτη θέση (Σιάτιστα) χρησιμοποιήθηκε για επαλήθευση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τους σταθμούς Γέφυρα Κορομηλιάς, Παναγιά Δεσκάτης, Μονή Προδρόμου και Σιάτιστας κυμαίνονται από το 1979-1993, 1985-1994, 1962-1973 και 1964-1996 αντίστοιχα. Το κριτήριο που επιλέγεται για τη βελτιστοποίηση του συστήματος, είναι το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης (R^2) και η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς (Root Mean Square Error), που είναι ένας δείκτης της απόκλισης της υπολογισμένης χρονοσειράς από την πραγματική, αυτή δηλαδή που υπολογίστηκε με χρήση καμπυλών στάθμης-παροχής. Το RMSE δίνεται από την εξίσωση:

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{n}\sum \left(Q_{πραγμ} - Q_{υπολ}\right)^2} \quad (6)$$

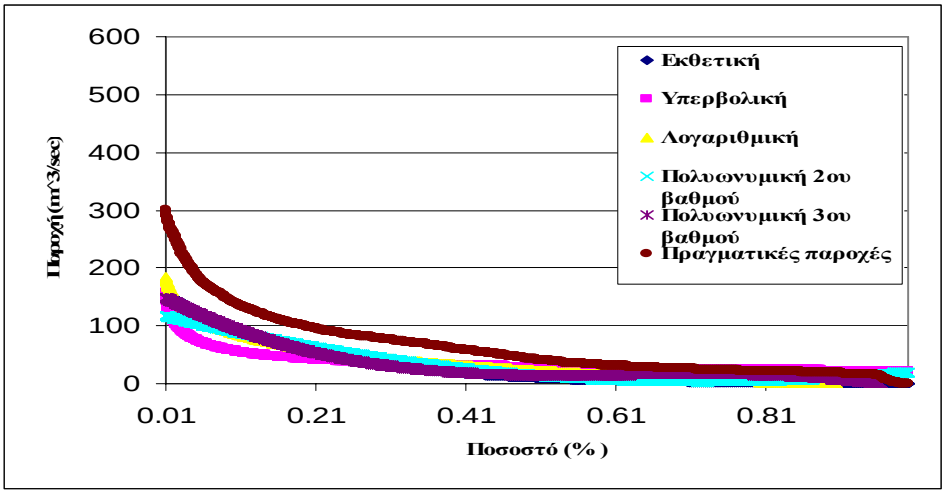
όπου: n το πλήθος των τιμών κάθε χρονοσειράς και $Q_{πραγμ}$, $Q_{υπολ}$, οι πραγματικές και υπολογισμένες τιμές της παροχής αντίστοιχα.

Αρχικά εκτιμήθηκαν οι τιμές των συντελεστών a, b, c και d, όπως προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση καθεμίας από τις 3 θέσεις ξεχωριστά (Γεφ. Κορομηλιάς, Παναγία Δεσκάτης, Μονή Προδρόμου) και κατόπιν εκτιμήθηκαν συνδυάζοντας και τις 3 θέσεις, επιδιώκοντας σε αυτήν την περίπτωση την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τριών RMSE. Η τελευταία είναι και η βέλτιστη λύση του συστήματος και οι παράμετροι της λύσης χρησιμοποιούνται στην τέταρτη θέση (Σιάτιστα) όπου και πάλι δίνονται οι δείκτες ταύτισης των χρονοσειρών. Σε κάθε περίπτωση εξετάζονται και τα 5 μοντέλα (Εκθετικό, Υπερβολικό, Λογαριθμικό Πολυωνυμικό $2^{ου}$ βαθμού και Πολυωνυμικό $3^{ου}$ βαθμού). Ενδεικτικά στον Πίνακα 2 και στο Σχήμα 2, δίνεται το γράφημα προσαρμογής των 5 μοντέλων στα δεδομένα διάρκειας-παροχής της Μονής Προδρόμου. Ανάλογα είναι και τα γραφήματα και για τις άλλες θέσεις. Στον

Πίνακα 3 δίνονται οι τιμές βελτιστοποίησης χρησιμοποιώντας και τις τρεις θέσεις ταυτόχρονα, ενώ στον Πίνακα 4 δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη θέση Σιάτιστα.

Πίνακας 2. Βελτιστοποίηση παραμέτρων για τη Μονή Προδρόμου.

	a	b	c	d	R^2	RMSE
Εκθετική	212.75	3.1595			0.7483	19.45937
Υπερβολική	19.349	0.8183			0.6251	373.3012
Λογαριθμική	4.0831	61.554			0.9937	4.860051
Πολυων 2	211.37	517.99	339.61		0.8715	22.02835
Πολυων 3	250.56	987.87	1513.9	782.68	0.9294	16.3238



Σχήμα 2. Προσαρμογή των 5 μοντέλων στη Μονή Προδρόμου.

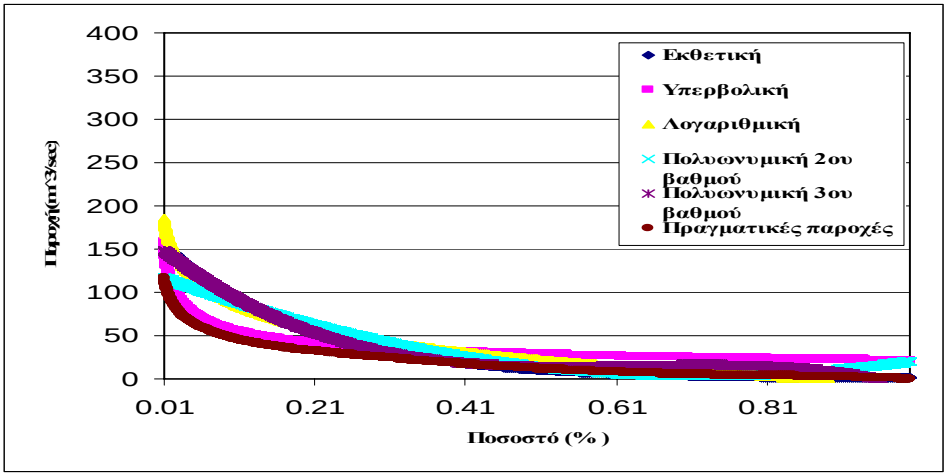
Πίνακας 3. Βελτιστοποίηση παραμέτρων για τις 3 θέσεις συγχρόνως.

	a	**b**	**c**	**d**	**R^2**	**ΣRMSE**
Εκθετική	164.4985	5.408917			0.92167	102.47
Υπερβολική	21.56509	0.421141			0.78484	108.03
Λογαριθμική	-5.30839	40.352			0.97355	94.68
Πολυων 2	119.8676	320.5672	220.92		0.83580	108.21
Πολυων 3	154.8655	693.5125	1123.775	593.6365	0.90463	102.52

Πίνακας 4. Αποτελέσματα προσομοίωσης θέσης Σιάτιστα με βάση τις παραμέτρους βελτιστοποίησης του συστήματος.

	a	b	c	d	R^2	RMSE
Εκθετική	164.4985	5.408917			0.90836	21.242
Υπερβολική	21.56509	0.421141			0.77207	22.480
Λογαριθμική	-5.30839	40.352			0.98653	22.507
Πολυων 2	119.8676	320.5672	220.92		0.83172	19.770
Πολυων 3	154.8655	693.5125	1123.775	593.6365	0.88393	21.461

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι τα μοντέλα που προσομοιώνουν καλύτερα τις απορροές στις συγκεκριμένες θέσεις είναι το Λογαριθμικό, η δε βελτιστοποίηση του συστήματος επιτυγχάνεται με το λογαριθμικό μοντέλο και τέλος η χρησιμοποίηση των παραμέτρων βελτιστοποίησης στη θέση Σιάτιστα έδωσε αρκετά καλή προσομοίωση, με παραπλήσιους δείκτες RMSE για όλα τα μοντέλα. Η προσαρμογή των πέντε μοντέλων στη θέση Σιάτιστα η οποία αποτελεί τη θέση για την επαλήθευση των μοντέλου, με χρήση των παραμέτρων βελτιστοποίησης, δίνονται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Προσομοίωση για τα 5 μοντέλα στη θέση Σιάτιστα.

4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ a, b, c ΚΑΙ d

Η εντοπική (γεωγραφική) μεταβολή των τεσσάρων παραμέτρων a,b,c και d των πέντε μοντέλων από θέση σε θέση περιγράφεται μέσα από ένα εντοπικό μοντέλο που προκύπτει από την ανάλυση πολλαπλής συσχέτισης της κάθε παραμέτρου (εξαρτημένη μεταβλητή) με μορφοκλιματικά χαρακτηριστικά (ανεξάρτητες μεταβλητές) των λεκανών απορροής στις θέσεις των σταθμών μέτρησης. Η σχέση που συνδέει τις σταθερές a, b, c, d με τα μορφολογικά και

κλιματικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των σταθερών είναι η εξής:

$V=b_0P^{b1}A^{b2}H^{b3}L^{b4}$ (7)

όπου: b_0, b_1, b_2, b_3, και b_4 είναι σταθερές

V είναι η εξαρτημένη μεταβλητή που παριστάνει τα a, b, c, d

P το ετήσιο ύψος βροχής,

A η περίμετρος της λεκάνης απορροής,

H η υψομετρική διαφορά στην έξοδο της λεκάνης από το μέγιστο υψόμετρο και

L το μήκος του κυρίως ρεύματος.

Με μεθόδους βελτιστοποίησης [1] έγινε ο υπολογισμός των παραμέτρων της σχέσης (7) για τα πέντε μοντέλα προσαρμογής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 5,6,7,8 και 9.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a και b του Εκθετικού μοντέλου.

Εκθετική						
V	**RMSE**	**b0**	**b1**	**b2**	**b3**	**b4**
a	0.1123	9.674508	1.131024	-1.243101	-1.587873	2.843239
b	0.0009	9.668057	2.743183	-0.015015	-3.077689	0.877482
Άθροισμα	**0.1132**					

Πίνακας 6. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a και b του Υπερβολικού μοντέλου.

Υπερβολική						
V	**RMSE**	**b0**	**b1**	**b2**	**b3**	**b4**
a	1.8050	9.532230	2.790628	6.009322	-8.498240	1.8855548
b	0.0001	9.613711	2.863316	0.068876	-3.393202	0.8406383
Άθροισμα	**1.8051**					

Πίνακας 7. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a και b του Λογαριθμικού μοντέλου.

Λογαριθμική						
V	**RMSE**	**b0**	**b1**	**b2**	**b3**	**b4**
a	0.0044	9.57880	5.83906	4.52396	-7.24862	-2.04829
b	0.0508	10.30275	2.872262	-0.69907	-3.595250	2.742123
Άθροισμα	**0.0552**					

Πίνακας 8. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a, b και c του Πολυωνυμικού μοντέλου $2^{ου}$ βαθμού.

Πολυωνυμική $2^{ου}$ βαθμού						
V	**RMSE**	**b0**	**b1**	**b2**	**b3**	**b4**
a	0.03802	9.03058	0.67083	0.14266	-1.34832	1.49241

b	0.02689	9.47780	2.12309	0.54355	-2.77289	1.46533
c	0.02160	9.61234	2.62074	0.87731	-3.41042	1.31202
Άθροισμα	**0.08650**					

Πίνακας 9. Αποτελέσματα βελτιστοποίησης για τις παραμέτρους a, b, c και d του Πολυωνυμικού μοντέλου 3^{ου} βαθμού.

Πολυωνυμική 3^{ου} βαθμού						
V	**RMSE**	**b_0**	**b_1**	**b_2**	**b_3**	**b_4**
a	0.1137	10.348	2.753	-0.911	-3.160	2.766
b	0.2264	8.812	0.206	3.291	-1.404	-1.170
c	0.5951	8.769	1.398	3.111	-2.486	-0.785
d	0.0430	8.974	2.010	2.855	-3.129	-0.439
Άθροισμα	**0.9782**					

Οι τιμές των παραμέτρων a και b του λογαριθμικού μοντέλου φάνηκαν να προσομοιώνονται καλύτερα από το αντίστοιχο σετ παραμέτρων b_0 έως b_4 (μικρότερο άθροισμα διαφοράς τετραγώνων). Χρησιμοποιώντας αυτήν την ομάδα παραμέτρων b_0 έως b_4 (Πίνακας 7) έγινε και επαλήθευσή του χρησιμοποιώντας στοιχεία της θέσης Σιάτιστα που δεν είχε χρησιμοποιηθεί στη ρύθμιση του μοντέλου, εκτιμώντας ως εκ τούτου τις τιμές των παραμέτρων a και b που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιαδήποτε άλλη θέση χωρίς μετρήσεις παροχής μέσα στην υδρολογικά ομοιογενή περιοχή ανάλυσης στη Δυτική Μακεδονία. Οι όποιες αποκλίσεις ανάμεσα στις τιμές των παραμέτρων οφείλονται αποκλειστικά στην διαφορετική μορφή του μοντέλου (εκθετικό, υπερβολικό, λογαριθμικό, πολυωνυμικό 2^{ου} και πολυωνυμικό 3^{ου} βαθμού) που κάθε φορά χρησιμοποιείται.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής επικεντρώνονται στα εξής:

- Το μοντέλο που προσομοιώνει καλύτερα τις απορροές στις συγκεκριμένες θέσεις είναι το Λογαριθμικό.
- Η βελτιστοποίηση του συστήματος επιτυγχάνεται με το Λογαριθμικό μοντέλο.
- Η χρησιμοποίηση των παραμέτρων βελτιστοποίησης στη θέση Σιάτιστα έδωσε αρκετά καλή προσομοίωση, με παραπλήσιους δείκτες RMSE για όλα τα μοντέλα.
- Το εντοπικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για οποιαδήποτε άλλη θέση χωρίς μετρήσεις παροχής μέσα στην υδρολογικά ομοιογενή περιοχή ανάλυσης στη Δυτική Μακεδονία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Haan, T. C., 1977. Statistical methods in Hydrology. The Iowa State University Press,Ames, Iowa, USA.
2. Mimikou, A.M. and Kaemaki, S., 1985. Regionalization of flow duration characteristics. Journal of Hydrology. No 82, 77-91.
3. Μιμίκου Α.Μ., 1990. Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
4. Quimbo, R.G., Alejandrino, A.A., and Mc Nally, T.A., 1983. Regionalized Flow Duration for Philippines. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 19, No 4 , 320-330.
5. Singh, K.P., 1971. Model for flow duration and stream flow variability. Water Resources Research. Vol. 7, No 4, 1031-1036.

ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΜΑΙΟΥ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2002

Ε. Α. Μπαλτάς
Ηρακλείτου 20, Αγία Παρασκευή, 15343

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την περίοδο Μαίου – Νοεμβρίου του 2002 στην Αττική κατεγράφησαν και αναλύθηκαν τέσσερα επεισόδια βροχής τα οποία σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό προκάλεσαν πλημμύρες στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Τρία από τα επεισόδια είχαν μικρή σχετικά διάρκεια και οι περίοδοι επαναφοράς αυτών για διαφορετικές διάρκειες βροχής κυμάνθηκαν από 3 έως 44 χρόνια. Το χρονικό βήμα ανάλυσης των επεισοδίων βροχής είναι 10 λεπτά. Ο μετεωρολογικός σταθμός που μέτρησε τα τέσσερα επεισόδια βροχής βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου με συντεταγμένες 37^o 58’ 47.4’’ N 23^o 46’ 46.6’’ Ε και υψόμετρο 200 m. Από την ανάλυση των τεσσάρων επεισοδίων διαπιστώθηκε ότι η βροχή και ιδιαίτερα εκείνη, που η διάρκεια της είναι μικρή, έχει έντονη χωρική και χρονική διαφοροποίηση με συνέπεια την πρόκληση ζημιών σε διαφορετικές κάθε φορά περιοχές. Οι μεγαλύτερες ζημιές διαπιστώθηκαν στην περιοχή του Κηφισού κατά το επεισόδιο με την μικρότερη περίοδο επαναφοράς και τη μεγαλύτερη διάρκεια.

Λέξεις κλειδιά: επεισόδια βροχής, περίοδος επαναφοράς, ένταση και διάρκεια βροχής, όμβριες καμπύλες.

EXPERIENCE FROM THE ANALYSIS OF FOUR RAINFALL EVENTS IN ATTIKA FROM MAY TO NOVEMBER 2002

E.A. Baltas
Irakleitou 20, Agia Paraskevi, 15343

ABSTRACT

During the period May-November of 2002 four rainfall events which created severe problems in the Attiki region were recorded and analysed. Three of the events had short duration and the return periods for different rainfall durations range from 3 to 44 years. The time resolution is 10 minutes. The meteorological station which recorded the events is located in the campus of the NTUA with coordinates 37^o 58’ 47.4’’ N 23^o 46’ 46.6’’ E and elevation 200 m. Based on the analysis, it was found that the events with short duration rainfall presented intense spatial and time variability and created problems in different urban areas. However the most severe problems were recorded in the lowland areas of Kifissos for the event of smaller return period and the longest duration.

Key words: rainfall events, return period, rainfall intensity and duration, idf curves.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλημμύρες στην Ελλάδα τα τελευταία 100 χρόνια έχουν προκαλέσει τις μεγαλύτερες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες από κάθε άλλη φυσικό φαινόμενο (π.χ. σεισμοί, κατολισθήσεις κλπ). Ο κυριότερος παράγοντας στη γένεση πλημμυρών είναι οι ισχυρές καταιγίδες που δημιουργούνται από μέτωπα που προσεγγίζουν από Δυτικά, Βορειοδυτικά ή Νοτιοδυτικά [3]. Κατά τη θερινή περίοδο κρύες μάζες αερίων παράγουν δυναμική αστάθεια που είναι υπεύθυνη για αρκετές ισχυρές καταιγίδες. Αρκετές αστικές περιοχές στην Ελλάδα και κυρίως η Αττική υποφέρουν συχνά από πλημμύρες καθώς η αστικοποίηση δεν συνδυάστηκε με τα κατάλληλα προστατευτικά μέτρα όπως επέκταση και βελτίωση του υφιστάμενου αποχετευτικού δικτύου κλπ [5].

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή της Αττικής είναι η πλέον αστικοποιημένη περιοχή στην Ελλάδα με πληθυσμό περίπου τεσσάρων εκατομμυρίων. Η Αττική βρίσκεται στην Ανατολική πλευρά της χώρας και είναι επιρρεπής σε δημιουργία πλημμυρών εξαιτίας κλιματικών, ανθρωπογενών και γεωμορφολογικών παραγόντων. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην Αττική είναι περίπου 300 mm η οποία θεωρείται χαμηλή σε σχέση με τη βροχή στα Δυτικά της χώρας που ξεπερνά τα 1800 mm. Ωστόσο το ύψος βροχής για διάρκεια 24 ώρες και περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια δεν διαφέρει σημαντικά για τις δύο περιοχές και όσο η διάρκεια της βροχής μικραίνει τόσο η διαφορά εξαλείφεται [2].

Οι γεωμορφολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη γένεση πλημμυρών στην Αττική σχετίζονται με την απουσία ικανοποιητικού δικτύου αποχέτευσης και την ανεπάρκεια των διατομών στις πλημμυρικές απορροές του υφιστάμενου δικτύου. Οι πλέον βασικοί παράγοντες είναι ανθρωπογενείς όπου τα τελευταία 50 χρόνια η περιοχή της Αττικής αστικοποιήθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό. Οι πλημμυρικές παροχές αυξήθηκαν εξαιτίας της αύξησης της κατοικημένης και βιομηχανικής περιοχής με ταυτόχρονη μείωση της αγροτικής περιοχής. Το δίκτυο αποχέτευσης μειώθηκε και πολλά ρέμματα καλύφθηκαν ή μετατράπηκαν σε δρόμους. Έργα αντιπλημμυρικής προστασίας δεν σχεδιάστηκαν και το υφιστάμενο δίκτυο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε για άλλες συνθήκες.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΒΡΟΧΗΣ

Τέσσερα αξιοσημείωτα επεισόδια βροχόπτωσης σημαντικού ύψους, που παρατηρήθηκαν το έτος 2002 στην περιοχή της Αττικής, είναι αυτά της 21/05, της 08/07, της 18/08 και της 07/11.

Ξεκινώντας από το παλαιότερο, η βροχόπτωση της 21/05 είχε διάρκεια ογδόντα λεπτών, με ώρα έναρξης στις 12:16 και ώρα λήξης στις 13:36. Το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ήταν 47 mm. Το μέγιστο ύψος βροχής δεκαλέπτου ήταν 17.6 mm και παρατηρήθηκε στο δεύτερο μισάωρο, στο δεκάλεπτο 12:46 – 12:56. Ο κύριος όγκος της βροχής (42.8 mm) σε σύνολο 47 mm, έπεσε μισή ώρα μετά την έναρξη της βροχόπτωσης, μόλις σε σαράντα λεπτά (12:46 - 13:26).

Το δεύτερο επεισόδιο βροχόπτωσης είναι αυτό της 08/07, το οποίο είχε διάρκεια σχεδόν πέντε ώρες (12:16 – 17:06). Το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ανήλθε στα 52.6 mm, με μέγιστο ύψος δεκαλέπτου 8.6 mm, που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της τρίτης ώρας της βροχόπτωσης (15:06 – 15:16). Ο κύριος όγκος της βροχής (30.4 mm) από τα συνολικά 52.6 mm, έπεσε κατά τη διάρκεια της τρίτης ώρας (14:16 – 15:16).

Το επόμενο επεισόδιο βροχόπτωσης συνέβη στις 18/08 και είχε διάρκεια 100 λεπτά (12:20 - 14:00). Το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ήταν 41.2 mm. Το μέγιστο ύψος βροχής δεκαλέπτου ήταν 9 mm και παρατηρήθηκε στο δεκάλεπτο 12:30 – 12:40, που ανήκει στο πρώτο μισάωρο του επεισοδίου όπου έπεσε η μεγαλύτερη ποσότητα βροχής 23 mm, σε σύνολο 41.2 mm.

Το τέταρτο και πιο πρόσφατο επεισόδιο βροχόπτωσης ήταν αυτό της 07/11 και είχε διάρκεια δέκα ώρες και είκοσι λεπτά (13:59 – 00:19). Το συνολικό ύψος βροχής του επεισοδίου ανήλθε στα 65.2 mm, με μέγιστο ύψος δεκαλέπτου 6.8 mm, που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του πρώτου δίωρου της βροχόπτωσης, στο δεκάλεπτο 15:19 – 15:29. Ο κύριος όγκος της βροχής, δηλαδή 35.4 mm από τα συνολικά 65.2 mm, έπεσε κατά τη διάρκεια του πρώτου δίωρου (13:59 – 15:59). Το επεισόδιο αυτό μολονότι είχε το μικρότερο ύψος βροχής δεκαλέπτου προκάλεσε συγκριτικά τις μεγαλύτερες καταστροφές εξαιτίας της συνεισφοράς στην πλημμυρική απορροή ολόκληρης της λεκάνης απορροής και των μειωμένων απωλειών λόγω προηγούμενων μικρότερων επεισοδίων βροχής με συνέπεια την αύξηση της πλημμυρικής αιχμής και του πλημμυρικού όγκου.

Κάνοντας μια σύγκριση των παραπάνω επεισοδίων βροχής, είναι φανερό ότι το επεισόδιο της 21/05 είναι εκείνο με την μεγαλύτερη ένταση. Ενδεικτικά το μέγιστο δεκάλεπτο έχει ύψος βροχής ίσο με 17.6 mm και 42.8 mm έπεσαν μόλις σε σαράντα λεπτά. Στο εν λόγω επεισόδιο το αποχετευτικό σύστημα της Αττικής άντεξε χωρίς σοβαρά προβλήματα. Τα άλλα τρία επεισόδια προκάλεσαν σημαντικές καταστροφές στις περιοχές Φαλήρου, Μοσχάτου και Ρέντη δίπλα στον Κηφισό με συνέπεια πολλοί κάτοικοι να μετακινηθούν από τα σπίτια τους και η συγκοινωνία να διακοπεί για αρκετές ώρες. Τα επεισόδια αυτά προκάλεσαν προβλήματα ενδεχομένως λόγω της έναρξης των έργων οδοποιίας στον Κηφισό με συνέπεια την μείωση της επάρκειας του ποταμού καθώς και της κατάστασης του δικτύου όπου υπήρχαν συσσωρευμένα σκουπίδια. Να σημειωθεί ότι στα επεισόδια βροχής υπήρχε μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα εξαιτίας του επαγωγικού αιτίου πρόκλησης αυτών.

4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Ο προσδιορισμός της συχνότητας των παραπάνω επεισοδίων επιτεύχθηκε με βάση τη στατιστική ανάλυση ιστορικών επεισοδίων βροχής όπου γίνεται ανάλυση των μεγίστων ετησίων διαφορετικής διάρκειας βροχής. Τα δεδομένα των σταθμών που διαθέτουν αξιόπιστες μετρήσεις αναλύθηκαν για την περίοδο από το 1961 μέχρι το 1995. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάρτιση των επιφανειακών ομβρίων καμπυλών (idf) είναι ο σταθμός της Νέας Φιλαδέλφιας, του Αστεροσκοπείου και του Ελληνικού (Σχήμα 1). Οι όμβριες καμπύλες σχετίζουν την ένταση (i, mm/hr), τη διάρκεια (d, hours) και την περίοδο επαναφοράς (T, έτη) της βροχής υπό την εξής παραμετρική σχέση:

$$i = k\, T^{a}\, d^{-m} \qquad (1)$$

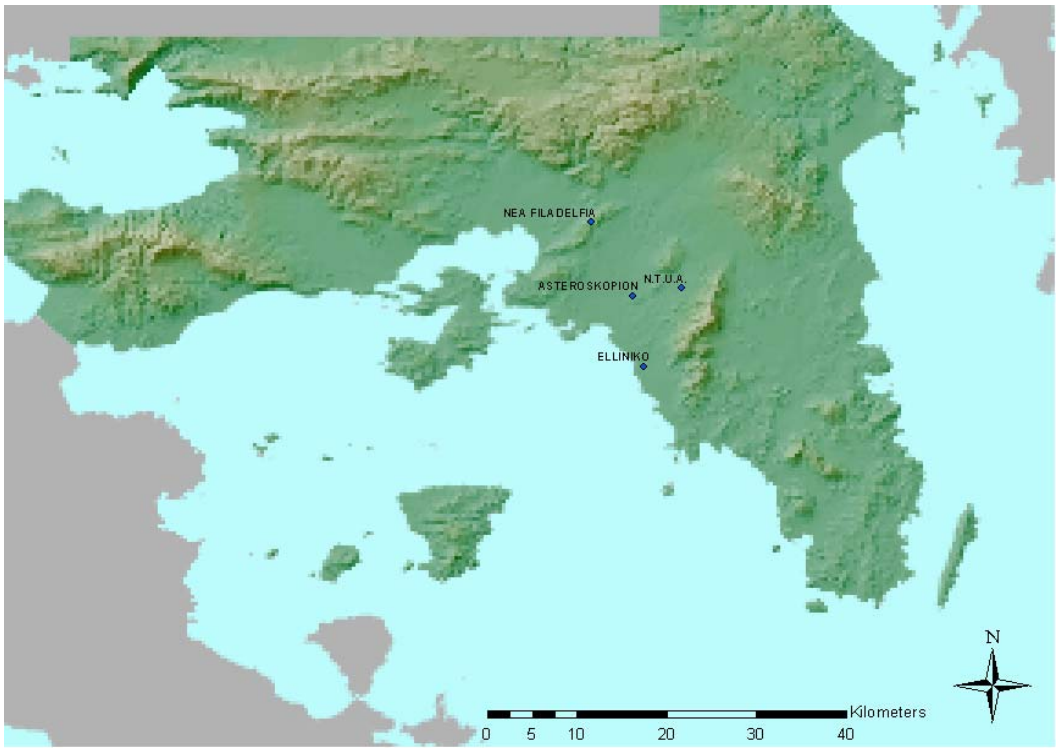
όπου k, m και a είναι σταθερές.

Η κατάρτιση των ομβρίων καμπυλών (idf) βασίζεται στην στατιστική ανάλυση των μεγίστων ετησίων βροχοπτώσεων διαφορετικής διάρκειας για κάθε σταθμό. Η επιφανειακή βροχόπτωση για κάθε διάρκεια υπολογίστηκε με βάση χρήση μεθόδων GIS. Λεπτομερής περιγραφή της εξαγωγής των ομβρίων καμπυλών δίνονται στο βιβλίο «Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» [1].

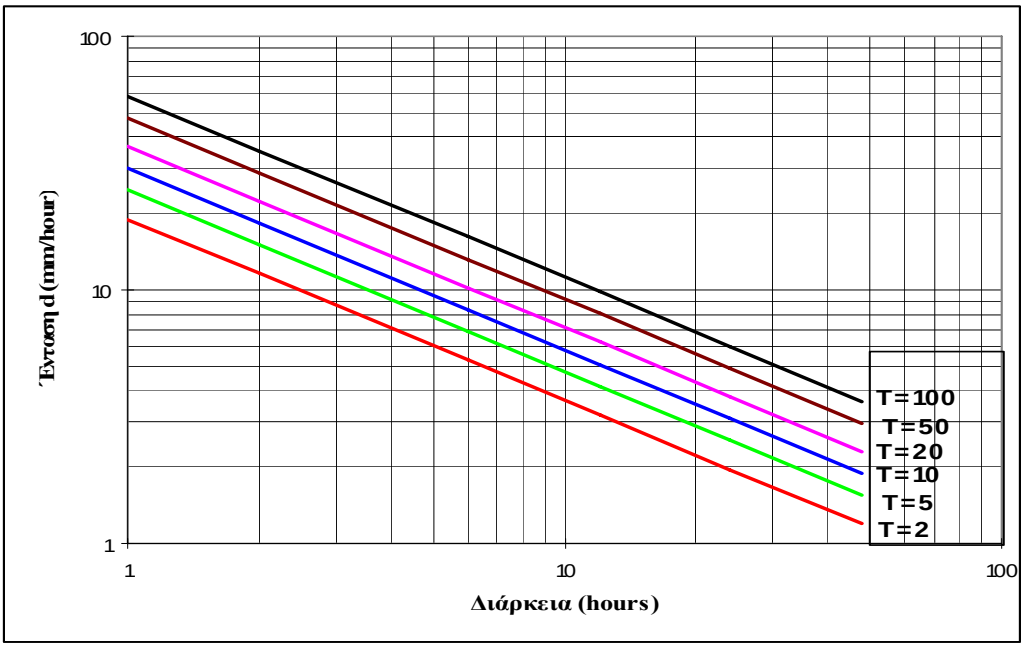
Η αναλυτική έκφραση idf που εξήχθη για την περιοχή της Αττικής δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [4]:

$$i = 15.56\, T^{0.286} d^{-0.715} \qquad (2)$$

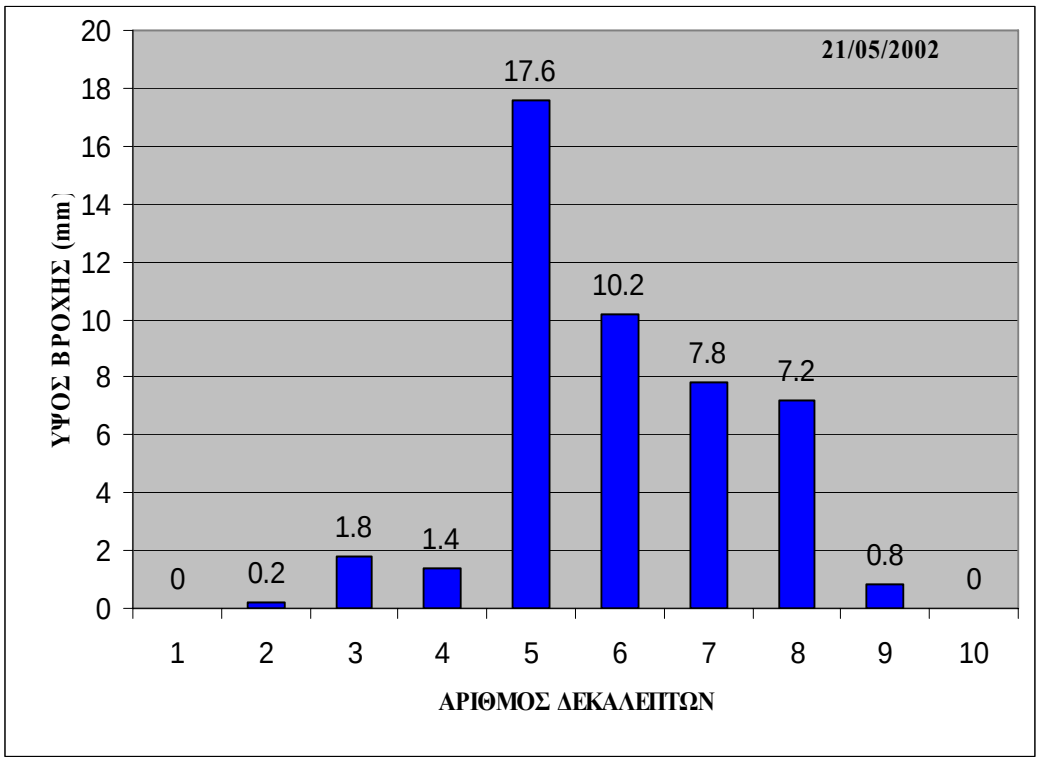
Η παραπάνω εξίσωση προέκυψε από ανάλυση μεγίστων ετησίων βροχοπτώσεων διαφορετικής διάρκειας (μισής ώρας, μίας ώρας, 2, 6, 12, 24 και 48 ωρών) για τα υδρολογικά έτη 1961/62 μέχρι 1993/94. Τα δεκάλεπτα βροχογραφήματα των τεσσάρων επεισοδίων βροχής δίνονται στα Σχήματα 2,3,4 και 5. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2), οι περίοδοι επαναφοράς για διάρκεια βροχής μία ώρα, 30 λεπτά και δύο ώρες με την μεγαλύτερη ένταση βροχής για κάθε επεισόδιο δίνονται στον Πίνακα 1.



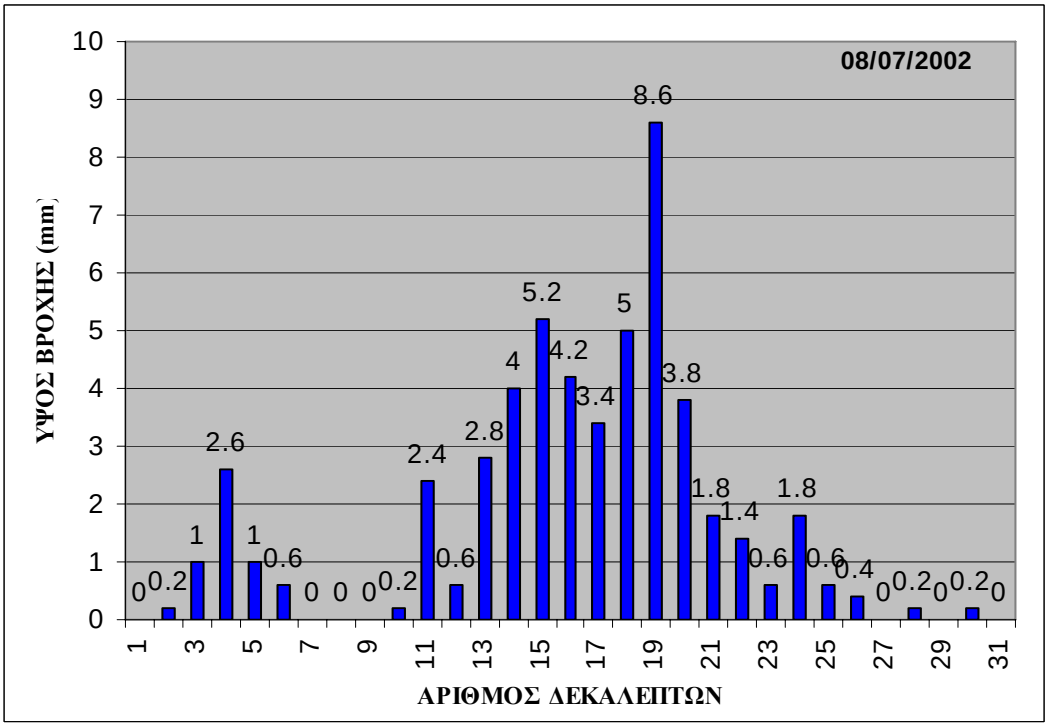
Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης με τους υδρομετεωρολογικούς σταθμούς.



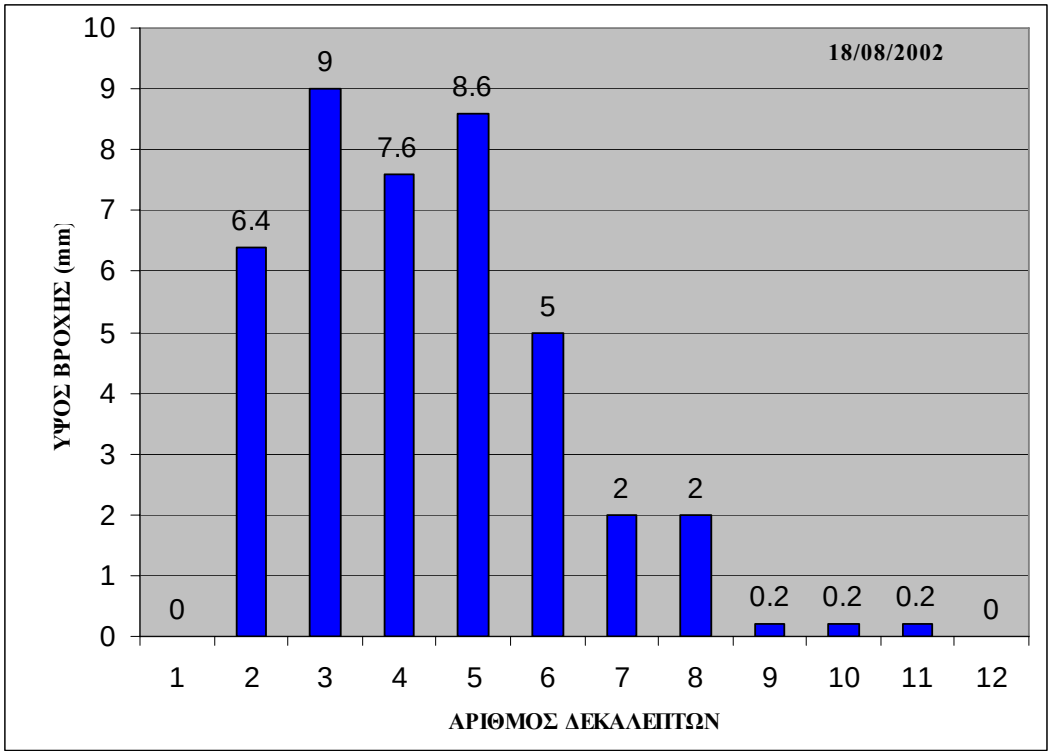
Σχήμα 2. Οι όμβριες καμπύλες για την περιοχή της Αττικής.



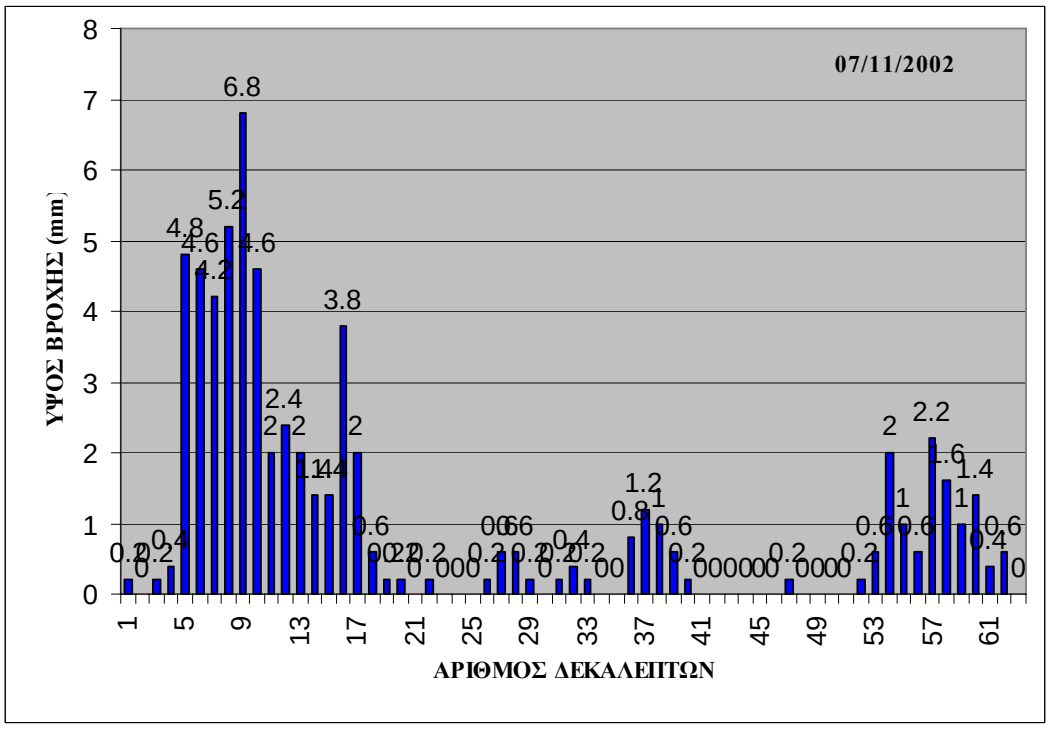
Σχήμα 2. Βροχογράφημα της 21/06/2002 με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου.



Σχήμα 3. Βροχογράφημα της 08/07/2002 με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου.



Σχήμα 4. Βροχογράφημα της 21/06/2002 με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου.



Σχήμα 5. Βροχογράφημα της 07/11/2002 με χρονική ανάλυση δεκαλέπτου.

Πίνακας 1. Περίοδοι επαναφοράς για κάθε επεισόδιο βροχής

Α/Α	Ημερομηνία Επεισοδίου	Περίοδος επαναφοράς για διάρκεια βροχής 1 ώρα (έτη)	Περίοδος επαναφοράς για διάρκεια βροχής 0.5 ώρα (έτη)	Περίοδος επαναφοράς για διάρκεια βροχής 2 ώρες (έτη)
1	21/05/2002	44	36	12
2	08/07/2002	10	3	18
3	18/08/2002	24	11	15
4	07/11/2002	10	3	18

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα από την ανάλυση των τεσσάρων επεισοδίων βροχής επικεντρώνονται στα εξής:

- Το σύνολο των επεισοδίων βροχής έδειξαν μεγάλη χωρική και χρονική ανομοιομορφία.
- Τα τρία από τα τέσσερα επεισόδια βροχής προκάλεσαν σημαντικές καταστροφές σε κατοικημένες περιοχές στην περιοχή του Κηφισού. Ωστόσο το επεισόδιο της 21/05/2002 όπου είχε τη μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς δεν δημιούργησε προβλήματα.
- Το επεισόδιο της 7/11/2002 είχε σχετικά μεγάλη διάρκεια με το μικρότερο ύψος δεκαλέπτου και δημιούργησε τα σημαντικότερα προβλήματα.

REFERENCES

1. Μιμίκου, Μ. (1995). Τεχνολογία Υδατικών Πόρων**.** Βιβλίο, (Εκδ.) Παπασωτηρίου, 564 σελ.
2. Mimikou, M. and Koutsoyiannis, D. (1995**).** *Extreme floods in Greece: The case of 1994*. Proc. Research Workshop on the Hydrometeology, Impacts and Management of Extreme Floods, US-NSF and Italian Research Council, Nov' 95, Perugia , Italy.
3. Mimikou, M. and Baltas, E. (1996). *Flood Forecasting Based on Radar Rainfall Measurements***.** Journal of Water Resources Planning and Management ASCE, Vol. 122, No. 3, ISSN0733-9496, JWRMD5: 151-156.
4. Mimikou, M. Baltas, E. and Varanou, E, (2000). A Study of Extreme Events in the Athens Greater Area. Int. Symposium on the Extraordinary Floods, 17-19 July 2000, Reykjavic, Iceland.
5. Xanthopoulos, Th., Christoulas, D., Mimikou, M., Koutsoyiannis D. and Aftias, E (1995). *A strategy for the problem of floods in Athens*. Proc. Workshop on the Flood Protection of Athens, Technical Chamber of Greece, Athens, Greece, (in Greek).

ΜΟΝΤΕΛΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑΣ

Σπυρίδης Α.[1], Κουτάλου Β.[1], Γκιτσάκης Ν.[2]
1. ΥΕΤΟΣ Μελετητική Εταιρεία, Πλ.Ναυαρίνου 3, 54622 Θεσσαλονίκη
2. Εργαστήριο Βιομετρίας, Τμήμα Γεωπονίας, Π.Θ. 38446 Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο παρόν άρθρο παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης ενός μοντέλου νευρωνικού δικτύου για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδας. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μετρήσεων 97 ετών. Επιλέχθηκε το μοντέλο με τη μέγιστη ακρίβεια πρόβλεψης, το οποίο παρουσίασε κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης συσχέτιση 99% και τυπικό σφάλμα 0,38 μέτρα στάθμης, ενώ κατά την πρόβλεψη συσχέτιση 97% με τις πραγματικές τιμές.

Λέξεις κλειδιά: Νευρωνικά δίκτυα, λίμνη Βεγορίτιδα, πρόβλεψη στάθμης.

A NEURAL NETWORK MODEL FOR CALCULATING THE AVERAGE ANNUAL WATER LEVEL OF LAKE VEGORITIS

Spiridis A.[1], Koutalou V.[1], Gitsakis N.[2]
1. HYETOS Consulting Engineer Firm, Pl.Navarinou 3, 54622 Thessaloniki
2. Biometry Lab, Dept.of Agriculture, Crop Production, University of Thessaly, 38446 Volos

ABSTRACT

The formation of a neural network model is been presented for the estimation of the average annual water level of lake Vegoritis. Measurements of 97 years time series were used for the model development. The final selected model has performed the maximum forecasting precision and presented 99% correlation with 0.38m error standard deviation during the training stage. The model presented 97% correlation during forecasting of the real water level values.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίμνη Βεγορίτιδα αποτελεί έναν από τους βασικότερους υδάτινους όγκους στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Μακεδονίας και γενικότερα της Ελλάδας. Είναι γνωστή σαν λίμνη Βεγορίτιδα, ή Οστρόβου, ή Άρνισσας, ή Κέλλης (αρχαϊκά). Περιβάλλεται από τα βουνά Βέρνο, Βόρα και Βέρμιο και αποτελεί το χαμηλότερο σημείο του συμπλέγματος των λιμνών Ζάζαρης, Χειμαδίτιδας και Πετρών, των οποίων δέχεται τα νερά μέσα από σύστημα διωρύγων και σήραγγας. Η επιφάνειά της μοιράζεται στους νομούς Πέλλας, Κοζάνης και Φλώρινας και απλώνεται σε ένα υψίπεδο σε υψόμετρο περί τα +600m. Στην επίσημη ιστοσελίδα του Υπουργείου Γεωργίας (http://www.minagric.gr/greek/2.9.3.BEGORITIDA.html) αναφέρεται ότι η λίμνη παλιότερα κάλυπτε έκταση 68km^2 και ήταν η βαθύτερη λίμνη της χώρας με μέγιστο βάθος 65m. Σήμερα, με την πτώση της στάθμης της, η επιφάνεια της έχει περιοριστεί στα 45km^2 και το βάθος της έχει μειωθεί στα 50m. Στη λεκάνη απορροής της Βεγορίτιδας, βρίσκεται σημαντικός αριθμός οικισμών, μεταξύ των οποίων η πόλη της Πτολεμαΐδας με 35.000 κατοίκους, οι βιομηχανικές μονάδες της ΔΕΗ, τα λιγνιτωρυχεία αυτής, παλαιότερα το εργοστάσιο αζωτούχων λιπασμάτων της ΑΕΒΑΛ. και παράλληλα ασκούνται γεωργικές, κτηνοτροφικές και αλιευτικές δραστηριότητες. Στο παρελθόν τα νερά της τροφοδοτούσαν και τη μικρότερη λίμνη του Νησιού, από την οποία πηγάζει ο Εδεσσαίος ποταμός και σχηματίζει τους καταρράκτες της Έδεσσας.

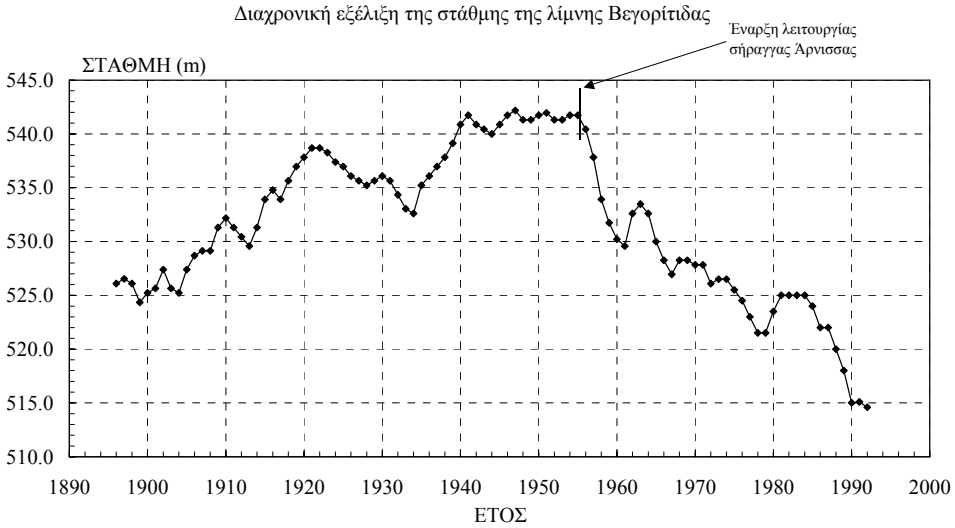
Οι αναπτυξιακές και γεωργικές δραστηριότητες στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της λίμνης οδήγησαν σε βαθμιαία υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων της, αλλά και σε σταδιακή ταπείνωση της στάθμης της.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που αφορούν τις μέσες ετήσιες στάθμες της λίμνης, από το 1896 μέχρι το 1992, που σχηματίζουν τη χρονοσειρά παρατηρήσεων που φαίνεται στο Διάγραμμα 1.

Στα δεδομένα αυτά έχουν γίνει προσπάθειες να προσαρμοστούν τόσο ντετερμινιστικά όσο και στοχαστικά μοντέλα χρονοσειρών σε διάφορες χρονικές βάσεις (8). Οι ανωτέρω προσπάθειες αντιμετωπίζουν το εγγενές πρόβλημα των ανθρωπογενών επιδράσεων στη χρονοσειρά των στάθμεων της λίμνης, οδηγώντας τους ερευνητές σε προσομοιώσεις μέρους της χρονοσειράς και όχι του συνόλου αυτής.

Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια ανάπτυξης ενός αυτοσυσχετιτιστικού μοντέλου νευρωνικού δικτύου, κυρίως για να διαπιστωθεί ο βαθμός στον οποίο ανάλογα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της στάθμης της λίμνης, για χρονικό βήμα ενός έτους, με ανεκτό επίπεδο σφάλματος.



Διάγραμμα 1. Μέσες ετήσιες στάθμες της λίμνης Βεγορίτιδας (1896-1992).

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν υπολογιστικές αλγοριθμικές δομές για την περιγραφή μη ρητών συναρτησιακών μορφών συσχέτισης πολλών ανεξάρτητων με πολλές δυνητικά εξαρτημένες μεταβλητές. Γενικά, θα μπορούσαν να περιγραφούν σαν δομές επιπέδων υπολογιστικών κόμβων-νευρώνων, οι οποίοι τροφοδοτούνται από τα υποκείμενα επίπεδα και τροφοδοτούν τα επόμενα με αριθμητικές τιμές. Το κατώτερο επίπεδο κόμβων αποτελείται από τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών ενώ το ανώτερο αποτελεί το υπολογιστικό αποτέλεσμα των εξαρτημένων. Κάθε ενδιάμεσο κρυφό επίπεδο μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε αριθμό κόμβων οι οποίοι τροφοδοτούν το επόμενο επίπεδο ανάλογα με μια τιμή κατωφλίου. Για τον καθορισμό των τιμών κατωφλίου κάθε κόμβου στο νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιείται κάποιος αλγόριθμος, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του οποίου χαρακτηρίζεται και το ανάλογο μοντέλο δικτύου. Γίνεται προφανές, πως για την ανάπτυξη μοντέλων νευρωνικών δικτύων απαιτείται μια επαρκής διαδικασία εκπαίδευσης, στην οποία ουσιαστικά διαμορφώνονται οι τιμές κατωφλίου των εσωτερικών κόμβων του δικτύου. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα νευρωνικά δίκτυα σε σχέση με τις συμβατικότερες μεθόδους συσχέτισης, είναι πως απαιτείται μόνο ο καθορισμός της μορφής του μοντέλου του νευρωνικού δικτύου, ενώ η εκπαίδευσή του πραγματοποιείται από το υπολογιστικό σύστημα. Γενικά, τα νευρωνικά δίκτυα σαν δομές επάλληλα τροφοδοτούμενων επιπέδων, που αποτελούνται από κόμβους, αποτελούν δομές καθορισμού τοπικών και ολικών ελαχίστων στην πολυδιάστατη επιφάνεια μιας συνάρτησης σφάλματος και είναι ανεξάρτητα από τη θεώρηση κάποιου ντετερμινιστικού ή στοχαστικού αλγεβρικού

μοντέλου. Το θεωρητικό υπόβαθρο και οι λειτουργικές ιδιαιτερότητες των μοντέλων νευρωνικών δικτύων μπορούν να αναζητηθούν στη βιβλιογραφία. (1), (2), (3), (4), (5), (6).

Στη δεδομένη περίπτωση εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι διάχυσης (back propagation) (7) για την εκπαίδευση ενός δικτύου αποτελούμενο από δύο κρυφά επίπεδα κόμβων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του μοντέλου ήταν το Statistica Neural Networks και επικουρικά το Excel σαν πλατφόρμα άμεσης αριθμητικής επεξεργασίας.

3. ΜΟΡΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Θεωρώντας μια ακολουθία Ν τιμών, που συνιστά τη χρονοσειρά, το πρόβλημα της προσαρμογής κάποιου μοντέλου αυτοσυσχέτισης ανάγεται στον καθορισμό μιας συναρτησιακής σχέσης της μορφής:

$$f(y_{n+1}, y_{n+2}, \ldots y_{n+t}) = y_{n+t+1} \quad (1)$$

Η συναρτησιακή σχέση (1) καθορίσθηκε από ένα νευρωνικό δίκτυο σε άρρητη μορφή. Η διαδικασία της ανάπτυξης του νευρωνικού μοντέλου αφορούσε τον καθορισμό δύο παραμέτρων του:

I. το πλήθος των κόμβων του δικτύου σε κάθε κρυφό, εσωτερικό επίπεδό του και
II. το πλήθος των ετών που θα αποτελούσαν το διάστημα επαναφοράς

Δεν υπάρχει σαφής υπολογιστική διαδικασία για τον καθορισμό του πλήθους των κόμβων σε κάθε κρυφό επίπεδο. Από τους κατασκευαστές του λογισμικού (7) συνιστάται απλά μια διαδικασία δοκιμών για τη διαμόρφωση της βέλτιστης μορφής. Το τελικό δίκτυο είχε τη δομή 21-16-5-1, με πλήθος κόμβων στα κρυφά επίπεδα 16 και 5 αντίστοιχα.

3.1. Εκπαίδευση του μοντέλου

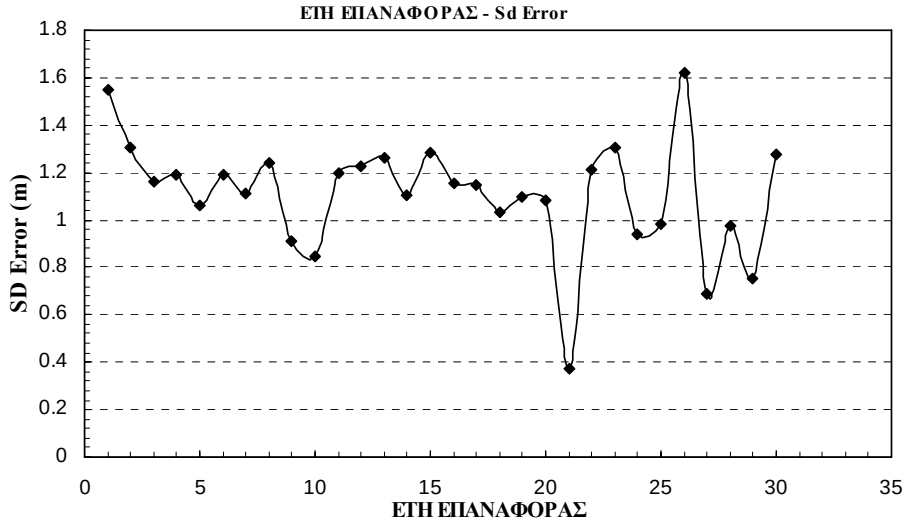
Για τον καθορισμό της βέλτιστης περιόδου επαναφοράς ακολουθήθηκε μια διαδικασία δοκιμής-σφάλματος. Τα δεδομένα των τριών τελευταίων ετών (1990, 1991, 1992) του Διαγράμματος 1. χρησιμοποιήθηκαν στο τέλος της διαδικασίας για την πιστοποίηση της ακρίβειας πρόβλεψης του επιλεγμένου μοντέλου, ενώ οι υπόλοιπες τιμές χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα εκπαίδευσης.

Σαν παράμετροι ακρίβειας της πρόβλεψης του κάθε υπό δοκιμή μοντέλου θεωρούνται κατά κύριο λόγο το τυπικό σφάλμα (Error S.D.) και ο συντελεστής συσχέτισης (Corr. Coef.) μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών. Υπολογίστηκαν ακόμα, ο μέσος όρος των τιμών εισόδου (Data Mean), το τυπικό σφάλμα των δεδομένων (Data S.D.), ο μέσος όρος (Error Mean) του σφάλματος πρόβλεψης, η απόλυτη τιμή του μέσου σφάλματος (AbsE.Mean) καθώς και ο λόγος της τυπικής απόκλισης του σφάλματος προς την τυπική απόκλιση των δεδομένων (S.DRatio=(ErrorS.D)/(DataS.D.)). Τα αποτελέσματα των δοκιμών με τη μορφή των παραμέτρων ακρίβειας κάθε δοκιμαστικού μοντέλου δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Έτη επαναφοράς και παράμετροι ακρίβειας κάθε μοντέλου.

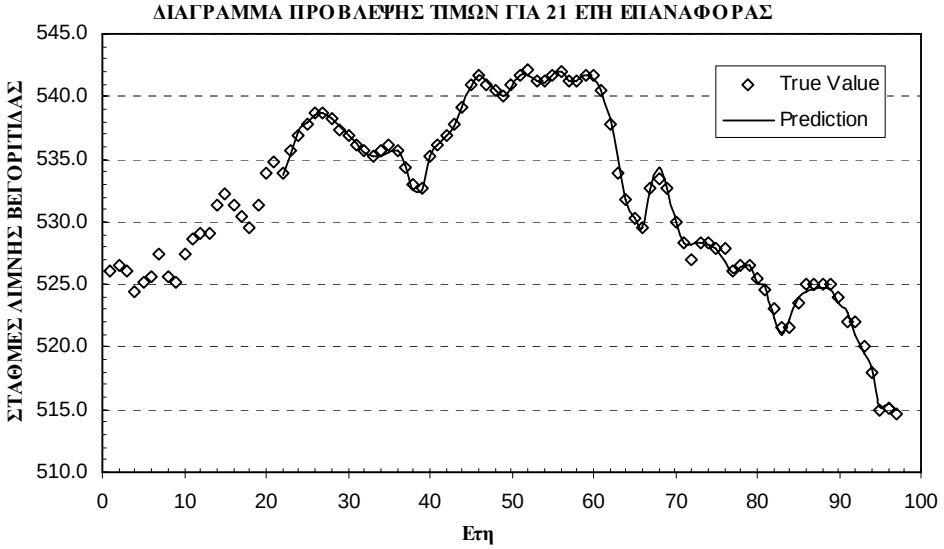
Years	Data Mean	Data S.D.	Error Mean	Error S.D.	Abs E. Mean	S.D. Ratio	Corr. Coef.
5	532,8594	6,320566	0,0028790	1,064067	0,794853	0,1683499	0,9857662
10	532,9070	6,460393	-0,0173700	0,848980	**0,648006**	0,1314131	**0,9914958**
15	534,4179	6,190684	-0,0946000	1,287049	1,035308	0,2079009	0,9783768
20	533,4708	7,585204	0,2841363	1,084001	0,879983	0,1429100	0,9898395
21	533,1501	7,180125	-0,0152000	**0,374141**	0,412152	0,0730000	**0,9988549**
25	533,7229	7,754534	-0,0679300	0,982646	0,780709	0,1267189	0,9920650
29	531,7019	7,810683	-0,0236400	**0,755787**	0,290024	0,0480900	**0,9973372**
30	533,3278	7,494324	-0,1100000	1,275039	0,991027	0,1701340	0,9855242

Η κάθε δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε δίκτυο ανάλογο με το πλήθος των ετών επαναφοράς, ενώ η σημαντικότερη παράμετρος ελέγχου του βαθμού καλής προσομοίωσης του μοντέλου θεωρήθηκε η τυπική απόκλιση του σφάλματος πρόβλεψης (Error S.D). Στο Διάγραμμα 2. δίνεται η γραφική παράσταση των τιμών αυτής της παραμέτρου και διακρίνονται δύο σημαντικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς, που προκύπτουν κατά τη διαδικασία ανάπτυξης νευρωνικού μοντέλου, με πρώτο ότι η μικρότερη τιμή της τυπικής απόκλισης στην πρόβλεψη εμφανίζεται στα 21 χρόνια επαναφοράς και δεύτερο πως υπάρχει μια γενική τάση της χρονοσειράς να παρουσιάζει ελάχιστα ως προς αυτήν την παράμετρο περίπου κάθε δεκαετία.



Διάγραμμα 2. Έτη επαναφοράς σε σχέση με την τυπική απόκλιση των σφαλμάτων

Με τον τρόπο αυτό επιλέχθηκε σαν βέλτιστο μοντέλο αυτό που αντιστοιχεί στα 21 έτη επαναφοράς. Στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές της χρονοσειράς μαζί με τις προβλεπόμενες από το μοντέλο.



Διάγραμμα 3. Πραγματικές τιμές και πρόβλεψη του μοντέλου με 21 χρόνια επαναφοράς

3.2. Ακρίβεια πρόβλεψης του μοντέλου

Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τιμές πρόβλεψης του μοντέλου για τα τρία έτη που χρησιμοποιήθηκαν για πρόβλεψη. Οι απόλυτες αποκλίσεις της στάθμης κυμαίνονται από 29–45 εκατοστά νερού και ενώ η ποσότητα αυτή δεν είναι αμελητέα φαίνεται πως αποτελεί και το ανώτερο όριο ακρίβειας της μεθόδου.

Πίνακας 2. Στάθμες και πρόβλεψη τιμών του τελικού μοντέλου

ΕΤΗ	ΣΤΑΘΜΗ (+m)	ΠΡΟΒΛΕΨΗ (+m)	ΣΦΑΛΜΑ (m)	ΟΛΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
1990	515,000	515,290	0,290	0,04066
1991	515,100	515,550	0,450	0,01847
1992	514,600	515,000	0,400	0,01136

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κύρια συμπεράσματα της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας μπορούν να διαχωριστούν σε μεθοδολογικά και πρακτικά. Τα μεθοδολογικά συμπεράσματα είναι πως μοντέλα νευρωνικών δικτύων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με

ικανοποιητική ακρίβεια για τη μοντελοποίηση χρονοσειρών, που παρουσιάζουν σε έντονο βαθμό ανθρωπογενή επίδραση. Η μεγάλη ικανότητα προσαρμογής τους, σαν συσχετιστικές δομές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προβλέψεις μιας περιόδου. Η επαναεκπαίδευση του μοντέλου, σε κάθε νέα περίοδο, μπορεί να το καθιστά δυναμικά εφαρμόσιμο για προβλέψεις.

Σε πρακτικό επίπεδο, από τη διαδικασία βελτιστοποίησης του μοντέλου εμφαίνεται πως η περίοδος επαναφοράς της αυτοσυσχέτησης των τιμών της στάθμης είναι πολλαπλάσιο ή υποπολλαπλάσιο της εικοσαετίας, μια πληροφορία που μπορεί να είναι χρήσιμη σε εφαρμογές μοντέλων πρόβλεψης με άλλες μεθόδους ανάπτυξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Deco G., Obradovic D., 1997 *An Information-theoretic Approach to Neural Computing*, Springer, N. York.
2. Haykin S., 1999 *Neural Networks*, Prentice-Hall, N. Jersey
3. Hertz J., Krogh A., Palmer R., 1991 *Introduction to the theory of Neural Computation*, Addison-Wesley ,USA
4. Neal R., 1996. *Bayesian learning for Neural Networks*, Springer, N. York
5. Pearson D. W., Steele N. C., Albrecht R. F., 1995 *Artificial Neural nets and Genetic Algorithms. Proceedings of the International Conference in Ales, France,* Springer, Wien.
6. Wasserman P., 1989. *Neural Computing*, Van Nostrand Reinhold, N. York
7. StatSoft, 1999, *Statistica Neural Networks user manual*, StatSoft, USA
8. Αντωνόπουλος Β. – Παπαμιχαήλ Δ., 1997, *Έλλειμμα στο Ισοζύγιο του νερού της λίμνης Βεγορίτιδας – Διερεύνηση με στοχαστικές διαδικασίες,* 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ε.Υ.Ε., 14-18 Οκτωβρίου Πάτρα.

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΡΑΝΙΑΣ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ, ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Αντώνης Κ. Μανάκος [1], Γεώργιος Χρ. Δημόπουλος [2]

1. Ι.Γ.Μ.Ε, Περ.Μον.Κεντρ.Μακεδονίας, Φράγκων 1, 546 26 Θεσ/νίκη
2. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, Τομέας Γεωλογίας, 541 24 Θεσ/νίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εξετάζονται οι δυνατότητες εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας με βάση τις συνθήκες εκφόρτισής του μέσω της πηγής του Κεφαλόβρυσου και με τις χωροχρονικές διακυμάνσεις της στάθμης των γεωτρήσεων στο άμεσο περιβάλλον του. Προτείνονται δύο φάσεις εκμετάλλευσης. Η πρώτη θα έχει ως στόχο την απόληψη έως και $18x10^6$ m^3 νερού ετησίως, ενώ η δεύτερη την απόληψη $20x10^6$ m^3.

Λέξεις κλειδιά: καρστικό σύστημα, εκφόρτιση, πηγή, διακυμάνσεις στάθμης, Κρανιά, Θεσσαλία

EXPLOITATION PERSPECTIVE OF KRANIA ELASSONA KARST SYSTEM, THESSALY

Antonis K. Manakos [1], Georgios Chr. Dimopoulos [2]

1. I.G.M.E, Branch of Central Macedonia, 1Fragon, 54 626 Thessaloniki
2. Aristotle University of Thessaloniki, Department of Geology, 541 24 Thessaloniki

ABSTRACT

This parer deals with the exploitation perspective of Krania Elassona karst system based on the discharge of Kefalovryso spring and boreholes water level fluctuation. Progressive exploitation of the Krania karst system is thought to ensure optimised and long term water resources sustainability. A two stage exploitation plan is suggested the first of which will be targeting at discharging $18x10^6$ m^3/a, whilst the second one is projected to reach a maximum discharge of $20x10^6$ m^3/a.

Key words: karst system, discharge, spring, water fluctuation, Krania, Thessaly

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ανθρακικό υδροφόρο σύστημα της Κρανιάς Ελασσόνας καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της οροσειράς των Καμβουνίων στη Δυτ. Θεσσαλία. και ανήκει στην υδρολογική λεκάνη Κρανιάς Ελασσόνας, η οποία αποτελεί τμήμα της ευρύτερης λεκάνης απορροής του ποταμού Τιταρήσιου. Η περιοχή δομείται από μια υποκείμενη αυτόχθονη έως παραυτόχθονη, ελαφρά μεταμορφωμένη ανθρακική σειρά, γνωστή ως "**ανθρακική ενότητα της Κρανιάς**" [2, 3,9] καθώς και από μια -τεκτονικά- υπερκείμενη σειρά γνωστή ως "**τεκτονικό πελαγονικό κάλυμμα**" (Σχήμα 1) [11, 3, 4]

Η **Ανθρακική ενότητα Κρανιάς** έχει έκταση 92 Km^2 και πάχος πάνω από 1850 m. Παρουσιάζεται ως το υπόβαθρο της οροσειράς των Καμβουνίων, το οποίο σήμερα αποκαλύπτεται ως "**τεκτονικό παράθυρο**". Διακρίνεται από την παρουσία τριών λιθοστρωματογραφικών οριζόντων [10, 8]. Το "**τεκτονικό Πελαγονικό κάλυμμα**" συνίσταται από προαλπικούς και αλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς (γνεύσιοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι με ενστρώσεις ορθογνευσίων και μαρμάρων) με παρενστρώσεις πλουτώνιων σωμάτων. Στην περιοχή εμφανίζονται επίσης **Τριαδικό-ιουρασικής** ηλικίας μάρμαρα του ανθρακικού καλύμματος της Πελαγονικής και οφιόλιθοι. Οι **Νεογενείς** και **Τεταρτογενείς** αποθέσεις συνίστανται από μάργες, αργίλους, κροκαλοπαγή και ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά, οι οποίες πλήρωσαν τα τεκτονικά βυθίσματα, που δημιουργήθηκαν από την εφελκυστική (θραυσιγενή) τεκτονική, που έλαβε χώρα από το Μειόκαινο και μετά [4].

Το καρστικό υδροφόρο σύστημα της Κρανιάς αποτελεί το σημαντικότερο, από άποψη υδροδυναμικότητας, υδροφορέα της περιοχής. Αναπτύσεται στα καρστοποιημένα μάρμαρα του κατώτερου ορίζοντα της ανθρακικής σειράς της Κρανιάς και η μέση απόλυτη υπόγεια στάθμη του νερού, για το χρονικό διάστημα 1988-93, εντοπίζεται στα 255,48 m. Ο εμπλουτισμός του συστήματος πραγματοποείται με την απ' ευθείας κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακριμνησμάτων σε όλη την καρστική επιφάνεια του υδροφορέα και με τη συγκεντρωμένη διήθηση επιφανειακού νερού που προέρχεται από τα υδρορρέ ματα Δεσκάτης και Δασοχωρίου που το διαρρέουν.

Ο υδροφορέας θεωρείται υδρογεωλογικά ως ένα ανεξάρτητο υδροφόρο σύστημα χωρίς πλευρικές υπόγειες εισροές ή εκροές και η καρστική πηγή του Κεφαλόβρυσου αποτελεί τη μοναδική εκφόρτιση του καρστικού συστήματος της Κρανιάς Ελασσόνας [5, 7]. Για την διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης των υπόγειων αποθεμάτων του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς εξετάστηκαν οι διαχρονικές συνθήκες εκφόρτισής του μέσα από μετρήσεις παροχής της πηγής του Κεφαλόβρυσου και ταυτόχρονες μετρήσεις των διακυμάνσεων της πιεζομετρικής στάθμης του υδροφορέα σε γεωτρήσεις που λειτουργούν στο άμεσο περιβάλλον του.

Σχήμα 1 : Υδρολιθολογικός χάρτης

2. ΥΛΙΚΑ- ΜΕΘΟΔΟΙ

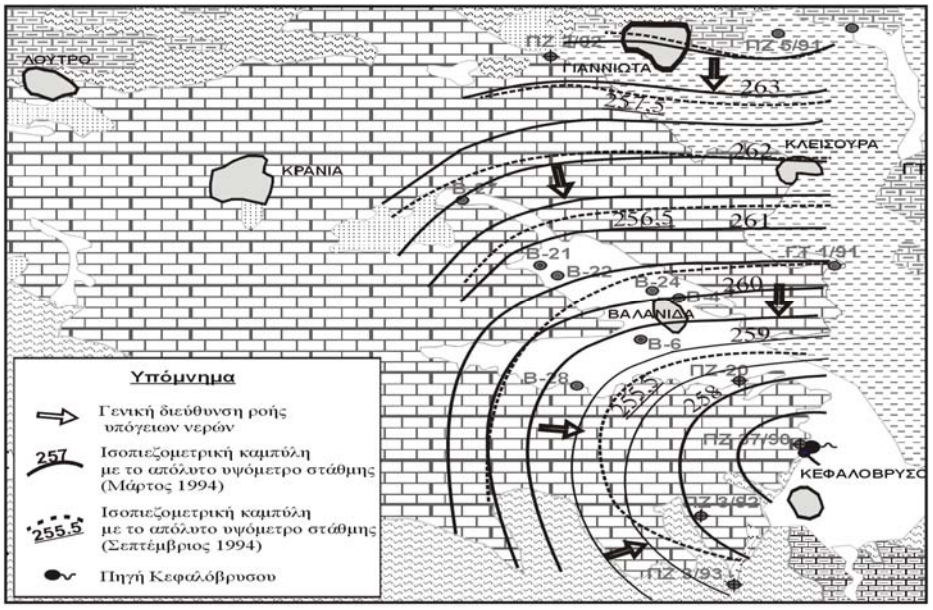
Για την διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις παροχής της καρστικής πηγής του Κεφαλόβρυσου που διενεργήθηκαν από το ΙΓΜΕ στο σημείο ανάβλυσής της κατά τα υδρολογικά έτη 1988 έως 1992 και ταυτόχρονες μετρήσεις των διακυμάνσεων της πιεζομετρικής στάθμης 5 γεωτρήσεων.

Από την κατασκευή πιεζομετρικών χαρτών υγρής και ξηρής περιόδου διαπιστώνεται η διεύθυνση ροής και αποστράγγισης του καρστικού υδροφορέα, όπως και το κυμαινόμενο πάχος της κορεσμένης ζώνης, ενώ από τις συνθήκες εκφόρτισης της πηγής στα μελετούμενα υδρολογικά έτη, τα μέσα ετήσια ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα.

3. ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ ΚΑΙ Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΟΗΣ

Για τη μελέτη της πιεζομετρίας επιλέχτηκαν γεωτρήσεις και πιεζόμετρα που ανορύχτηκαν στον καρστικό υδροφορέα της Κρανιάς από το ΙΓΜΕ , την ΥΕΒ και από ιδιώτες. Συντάχθηκε πιεζομετρικός χάρτης που απεικονίζει την κατάσταση της υπόγειας υδροφορίας κατά την υγρή περίοδο (Μάρτιος) και την ξηρή (Σεπτέμβριος) του υδρολογικού έτους 1993/94, όπως αυτό εμφανίζεται στο Σχήμα 2.

Σχ. 2 : Ισοπιεζομετρικός χάρτης του καρστικού υδροφορέα Κρανιάς
(Υδρολογικό έτος 1993/94)



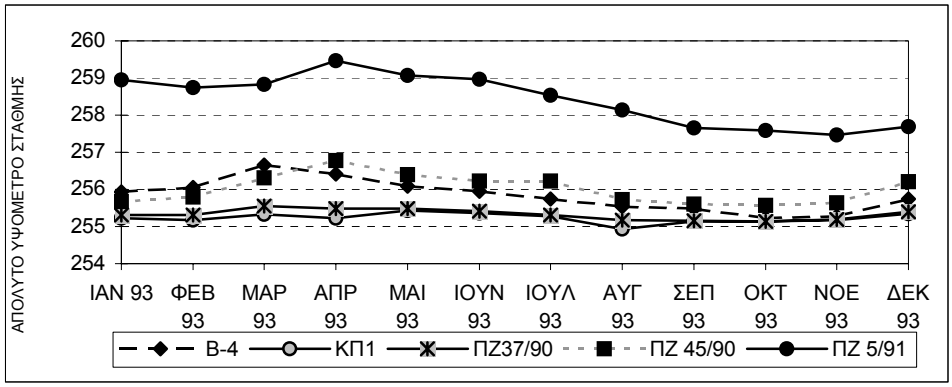
Από τη μελέτη των πιεζομετρικών καμπύλων προκύπτουν οι εξής βασικές διαπιστώσεις. Διακρίνουμε μία μικρή υδραυλική κλίση της καρστικής στάθμης από ΒΔ διεύθυνση προς την πηγή του Κεφαλόβρυσου, όπου κατευθύνονται οι υπόγειες ροές. Οι πρώτες ενδείξεις δηλώνουν μια ευκολία διακίνησης του νερού και καλή υδαταγωγιμότητα (Τ) [6].Και στις δυο περιόδους εμφανίζεται η ίδια πιεζομετρική κατάσταση με μόνη διαφορά, ότι οι αποστάσεις μεταξύ των ισοδυναμικών καμπυλών κατά τη διεύθυνση ροής παρουσιάζεται μικρότερη κατά την υγρή περίοδο (Μάρτιος 1994) από τις αντίστοιχες της ξηρής περιόδου (Σεπτέμβριος 1994). Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη υδραυλική κλίση, μεγαλύτερη μοναδιαία παροχή [1].Η καμπυλότητα των ισοδυναμικών γραμμών προς τα κατάντη, δηλώνει ζώνη τροφοδοσίας από ΒΔ προς ΝΑ διεύθυνση, δηλ. προς την πηγή. Έτσι ο υδροφορέας μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ακτινωτός με συγκλίνουσες γραμμές ροής (ακτινωτός συγκλίνων με υπερβολικό προφίλ).

Οι υδραυλικές κλίσεις (i) είναι αρκετά μεγάλες στις παρυφές σε σχέση με την πεδινή ζώνη όπου εμφανίζεται να είναι της τάξης του $0,5\text{-}0,6*10^{-3}$, γεγονός που δηλώνει υδροφορέα πολύ μεγάλης υδροδυναμικότητας [1].

4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

Η γνώση της πορείας της πιεζομετρικής επιφάνειας ενός υδροφορέα είναι απαραίτητο στοιχείο γιατί α)προσδιορίζει τις διευθύνσεις ροής των υπογείων νερών β)μας δίνει πληροφορίες για τις επικρατούσες υδραυλικές κλίσεις στις διάφορες θέσεις του υδροφορέα και γ)δίνει την ανώτερη στάθμη κορεσμού του υδροφορέα. Στο διάγραμμα του Σχήματος 3 εμφανίζονται οι διακυμάνσεις της υπόγειας στάθμης σε γεωτρήσεις του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς για το έτος 1993.

Σχ. 3 : Διακύμανση της υπόγειας στάθμης σε γεωτρήσεις του καρστικού υδροφορέα Κρανιάς Ελασσόνας



Διαπιστώνει κανείς, ότι σε αντίθεση με ότι συμβαίνει συνήθως σε καρστικούς υδροφορείς, η μορφή των καμπύλων διακύμανσης της πιεζομετρικής επιφάνειας του συστήματος στις γεωτρήσεις παρατήρησης ΠΖ 37/90, ΚΠ-1, και ΠΖ 45/90 είναι απόλυτα ομαλή. Το γεγονός αυτό δηλώνει μια φυσιολογική φόρτιση-εκφόρτιση του καρστικού συστήματος χωρίς ακραία επισόδια πρόσθετου εμπλουτισμού και εκμετάλλευσής του [5].

5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Προκειμένου να διαπιστώσει κανείς την υπάρχουσα κατάσταση και να διαχειριστεί ένα υδροφόρο στρώμα ή σύστημα, είναι απαραίτητη η γνώση του υδρολογικού ισοζυγίου. Αυτό σημαίνει, ότι πρέπει να υπάρχει ένα ισοζύγιο ανάμεσα στις ποσότητες του νερού που εισρέουν στο υδροφόρο στρώμα και αυτών που εκρέουν από αυτό.

Στην κατάρτιση του υδατικού ισοζυγίου του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς παίρνουν μέρος τα ακόλουθα μεγέθη: α) ο όγκος των κατακρημνισμάτων που δέχεται η ζώνη τροφοδοσίας του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας **(V_P), β)**ο συνολικός όγκος νερού, ο οποίος προέρχεται από την απευθείας κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων πάνω στην επιφάνεια της ζώνης τροφοδοσίας της πηγής Κεφαλόβρυσου **(V_K)** και **γ)**οι απώλειες νερού από την εξάτμιση και τη διαπνοή **(Ε)** πάνω στην επιφάνεια του κάρστ. Έτσι, η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου για τον καρστικό υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας παίρνει τη μορφή

$$V_P = V_K + E \qquad (1)$$

Πίνακας 1 : Στοιχεία υδρολογικού ισοζυγίου του καρστικού Υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας για τα έτη 1988/1992

	V_P	V_K	E
Υδρολ. Έτος	όγκος νερού m^3/έτος	όγκος νερού m^3/έτος	όγκος νερού m^3/έτος
1988/89	51,59E+06	27,84E+06	23,75E+06
1989/90	37,06E+06	18,77E+06	18,29E+06
1990/91	66,71E+06	42,22E+06	24,49E+06
1991/92	48,36E+06	24,84E+06	23,51E+06
Μέσ.όρος	50,93E+06	28,42E+06	22,51E+06
Ισοδύναμος όγκος νερού σε ποσοστό %			
1988/89	100	53,98	46,02
1989/90	100	50,86	49,14
1990/91	100	63,21	36,79
1991/92	100	51,37	48,63
Μέσ.όρος	100	54,86	45,14

Στον Πίνακα 1 δίνεται λυμένη η εξίσωση (1) του υδρολογικού ισοζυγίου με τους παράγοντες εκφρασμένους σε όγκους νερού, και σε συντελεστές % ως προς τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δέχεται η ζώνη τροφοδοσίας του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας [5,6]. Ο συντελεστής Ε είναι ο άγνωστος παράγοντας της εξίσωσης.

Ο συντελεστής κατείσδυσης για το χρονικό διάστημα 1988/92 κυμάνθηκε μεταξύ 50,86 % και 63,21 % για ετήσιο ύψος βροχής 403,48 mm και 726,40 mm αντίστοιχα.

6. ΤΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΚΡΑΝΙΑΣ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ

Ο βασικός στόχος της αξιοποίησης του υδροφορέα της Κρανιάς πρέπει να είναι η εκμετάλλευσή του για ένα απεριόριστο χρονικό διάστημα, χωρίς την πρόκληση "ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων".

Ο εμπλουτισμός του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς κατά το Υδρολογικό έτος 1989-90 με μέσο ύψος βροχής 403,48 mm ανήλθε στα 18,77 x 10^6 m^3. Η ποσότητα αυτή, η οποία αποτελεί τον ετήσιο εμπλουτισμό του υδροφορέα κάτω από τις πλέον δυσμενείς βροχομετρικές συνθήκες, μπορεί να αντλείται από τον καρστικό υδροφορέα της Κρανιάς με ευρύτατα περιθώρια ασφαλείας και να εξασφαλίζεται ταυτόχρονα η βέλτιστη διαχρονικά λειτουργία του [5]. Πιστεύουμε ότι μια περίοδος βαθμιαίας ανάπτυξης της εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα θα καθορίσει τις σωστές προϋποθέσεις και τα εχέγγυα για την ορθολογική διαχείρισή του, η οποία θα είναι ενταγμένη στο ευρύτερο πλαίσιο της βελτιστοποίησης του προγραμματισμού, του σχεδιασμού και της διαχείρισής του. Με δεδομένο ότι την τελευταία πενταετία παρατηρείται μια αισθητή μείωση του μέσου ύψους των βροχοπτώσεων σε σχέση με τους αντίστοιχους της 20-ετίας, θα μπορούσε κανείς να προτείνει δύο φάσεις εκμετάλλευσης. Η πρώτη φάση θα πρέπει να έχει ως στόχο την απόληψη έως και 18 x 10^6 m^3 νερού ετησίως. Σε περίπτωση που δεν διαπιστωθούν αρνητικές επιπτώσεις στην δίαιτά του, τότε μπορεί να προχωρήσει η δεύτερη φάση, κατά την οποία ο συνολικός όγκος νερού που θα αντλείται θα είναι της τάξης των 20 x 10^6 m^3, ποσότητα που ταυτίζεται με ύψος βροχής που πλησιάζει τη μέση ετήσια τιμή των βροχοπτώσεων της τελευταίας πενταετίας.

Τέλος, μια άλλη πρόταση, που μπορεί να συμβάλλει στην ορθολογική εκμετάλλευση του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς, είναι ο καθορισμός της χαμηλότερης υδροστατικής στάθμης στο σύνολό του. Από τα αποτελέσματα της έρευνάς μας προκύπτει ότι η στάθμη δεν πρέπει να υποβιβαστεί κάτω από το απόλυτο υψόμετρο των 255.00 m [5, 6].

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αντλήσεις υπόγειου νερού από το καρστικό σύστημα της Κρανιάς για αρδευτικούς κυρίως σκοπούς και εν μέρει για την ύδρευση οικισμών της περιοχής είναι περιορισμένης έκτασης και ελεγχόμενες. Έτσι, με το υφιστάμενο καθεστώς αξιοποίησης των απορροών της πηγής, πάνω από το 70% του ετήσιου υδατικού δυναμικού του καρστικού υδροφορέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Ο ετήσιος εμπλουτισμός του καρστικού

υδροφορέα της Κρανιάς Ελασσόνας κάτω από τις πλέον δυσμενείς συνθήκες βροχόπτωσης υπολογίστηκε σε $18x10^6$ m^3. Η ποσότητα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί χωρίς να προκληθούν ανεπιθύμητες ποσοτικά και ποιοτικά συνέπειες στο υδροφόρο σύστημα. Η βαθμιαία ανάπτυξη της εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα της Κρανιάς είναι η πλέον ενδεδειγμένη και διασφαλίζει τη βέλτιστη και διαχρονική του λειτουργία. Προτείνονται δύο φάσεις εκμετάλλευσης. Η πρώτη θα έχει ως στόχο την απόληψη έως και $18x10^6$ m^3 νερού ετησίως, ενώ η δεύτερη την απόληψη $20x10^6$ m^3.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καλλέργης, Γ., 1986. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία, Τόμος Α & Β, Τ.Ε.Ε.
2. Katsikatsos, G., Migiros, G. & Triantaphyllis, M. & Mettos, A., 1986. Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly – SW. Macedonia, Euboea – Attica –Northern Cyclades islands and Lesvos), Geol. & Geophys. Res. (Athens), special issue, 191-212.
3. Kilias, A. & Mountrakis, D., 1987. Zum tektonischen Bau der Zentral-peloponnischen Zone (Kamvounia-Gebirge, N. Griechenland), Z.dt. geol.Ges. 138, 211-237.
4. Kilias, A. & Mountrakis, D., 1988. The Pelagonian Nappe. Tectonics, metamorphism and magmatism, in 4th Congr. Geol. Soc. Greece. XXIII, 16-38, Athens.
5. Μανάκος, Α., 1999 : Υδρογεωλογική συμπεριφορά και στοχαστική προσομοίωση του καρστικού υδροφόρου συστήματος Κρανιάς Ελασσόνας. Διδακτορική διατριβή Α.Π.Θ, 214 σελ..
6. Μανάκος, Α. & Τασιός, Ν., 1999. Υδρογεωλογική έρευνα μεγάλων ανθρακικών μαζών Θεσσαλίας. Καρστικός υδροφορέας Κρανιάς. Κοζάνη. Εσωτερική έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε, 174 σελ..
7. Μανάκος, Α. & Δημόπουλος, Γ.,1999. Οριοθέτηση και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καρστικού υδροφόρου συστήματος του τεκτονικού παράθυρου Κρανιάς Ελασσόνας, Θεσσαλία. 5ο Πανελλήνιο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Λευκωσία, Κύπρος, 323-336.
8. Σταμάτης, Α., 1983. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας 1:50.000, φύλλο Δεσκάτη, Ι.Γ.Μ.Ε.
9. Stamatis, A. and Migiros,G., 1993. Das tektonische Fenster von Kranea-Elasson(NW-Thessalien/Griechenland),N.Jb.Geol.Palaeont.Mh. Stuttgart, 49-64.
10. Τριανταφύλλης, Ε., 1982. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας 1: 50.000, φύλλο Ελασσόνα, Ι.Γ.Μ.Ε.
11. Yarwood, G. & Dixon, J., 1977. Lower Cretaceous and younger thrusting in the Pelagonian rocks of the High Pieria, Greece, in VI coll.Geol.Aegean region, 269-280.

Υδατικοί Πόροι Αρδεύσεις

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΟΛΥΝΘΙΟΥ, ΧΑΒΡΙΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΕΝΙΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Δ.Μ. Παπαμιχαήλ*, Π.Ε. Γεωργίου και Δ.Ν. Καραμούζης
Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων
Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη, * e-mail: papamich@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την επίλυση του υδατικού προβλήματος του Ν. Χαλκιδικής προτείνεται η κατασκευή τριών φραγμάτων στους ποταμούς Ολύνθιο, Χαβρία και Πετρένια. Η εκτίμηση των αναγκών άρδευσης ενός προτεινόμενου σχεδίου διαχείρισης των τριών παραπάνω ταμιευτήρων προϋποθέτει την εκτίμηση της ειδικής παροχής άρδευσης. Στην εργασία αυτή, η ειδική παροχή άρδευσης υπολογίστηκε από τις μέσες ανάγκες σε νερό άρδευσης των καλλιεργειών ενός προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης των τριών ταμιευτήρων. Οι μέσες ανάγκες εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών, της ωφέλιμης βροχόπτωσης, της αρδευτικής αποδοτικότητας και των εκτιμήσεων με τη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς, για μια περίοδο 21 ετών (1977-1997).

Λέξεις κλειδιά: Ειδική παροχή άρδευσης, μέθοδος Penman-Monteith, φυτικοί συντελεστές, αρδευτική αποδοτικότητα

ESTIMATION OF THE SPECIFIC IRRIGATION WATER DISCHARGE IN ONE SUGGESTED WATER MANAGEMENT PLAN OF THE OLYNTHIOS, HAVRIAS AND PETRENIAS RESERVOIRS IN HALKIDIKI

D.M. Papamichail, P.E. Georgiou and D.N. Karamouzis
Laboratory of General and Agricultural Hydraulics and Land Reclamation
School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

For the solution of the water problems in Halkidiki is suggested the construction of three dams on Olynthios, Havrias and Petrenias rivers. The estimation of irrigation water requirements in one suggested water management plan of the three above reservoirs is based on the specific irrigation water discharge estimation. In this paper, the specific irrigation water discharge was estimated by using the mean irrigation water requirements. These requirements were computed by using the crop coefficients, the cropping area, the effective rainfall, the irrigation efficiency and the values of the reference crop evapotranspiration which were estimated with FAO Penman-Monteith method for a period of 21 years (1977-1997).

Keywords: Specific irrigation water discharge, FAO Penman-Monteith method, crop coefficients, irrigation efficiency

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Νομός Χαλκιδικής δε διαθέτει σήμερα έργα αξιοποίησης του φτωχού υδατικού δυναμικού του, ικανού μεγέθους να καλύψουν τις σημερινές ανάγκες, ούτε πολύ περισσότερο τις μελλοντικές. Για το λόγο αυτό το Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών, σε συνεργασία με το Α.Π.Θ. – Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ. και το ΕΘΙΑΓΕ του Υπουργείου Γεωργίας, ξεκίνησε το 1996 την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της Χαλκιδικής. Στα πλαίσια του προγράμματος αυτού προτείνεται η κατασκευή τριών φραγμάτων, του φράγματος Ολυνθίου ή Βατόνια στη θέση Λουϊζίκι Πολυγύρου, του φράγματος Χαβρία και του φράγματος Πετρένια (Γοματίου). Από την κατασκευή των τριών παραπάνω φραγμάτων θα δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι ταμιευτήρες με ωφέλιμους όγκους νερού: 22.500.000 m^3 για τον ταμιευτήρα του Ολυνθίου [1], 26.000.000 m^3 για τον ταμιευτήρα του Χαβρία [2] και 3.300.000 m^3 για τον ταμιευτήρα του Πετρένια [3]. Στο προτεινόμενο σενάριο διαχείρισης του νερού των ταμιευτήρων του Ολύνθιου και του Χαβρία προβλέπεται να υπάρχει αλληλοσύνδεση μεταξύ τους, ενώ η διαχείριση του νερού του ταμιευτήρα του Πετρένια θα γίνεται αυτόνομα.

Ένα μέρος των παραπάνω ωφέλιμων όγκων νερού θα χρησιμοποιηθεί για την ύδρευση διαφόρων περιοχών του Νομού Χαλκιδικής. Το υπόλοιπο νερό, μετά την ικανοποίηση των αναγκών της ύδρευσης θα χρησιμοποιηθεί για την ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών ενός προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης. Στο προτεινόμενο σενάριο διαχείρισης του νερού των ταμιευτήρων Ολυνθίου, Χαβρία και Πετρένια Χαλκιδικής για αρδεύσεις, η κτηματική έκταση όλης της περιοχής μελέτης, έχει χωρισθεί σε τρεις περιοχές: Την **περιοχή Α** η οποία περιλαμβάνει τις κτηματικές εκτάσεις Αγίου Μάμα, Αγίου Παντελεήμονα, Διονυσίου, Ζωγράφου, Ν. Μουδανιών, Ν. Πλαγίων, Ν. Τενέδου, Ν. Τρίγλιας, Ολύνθου, Πολυγύρου, Πορταριάς, Σημάντρων και Φλογητών. Την **περιοχή Β** η οποία περιλαμβάνει τις κτηματικές εκτάσεις του Δήμου Ορμύλιας. Οι περιοχές Α και Β θα εξυπηρετηθούν από τους ταμιευτήρες Ολυνθίου και Χαβρία. Τέλος, την **περιοχή Γ** που πρόκειται να εξυπηρετηθεί από τον ταμιευτήρα του Πετρένια και περιλαμβάνει τις κτηματικές εκτάσεις του Δημοτικού Διαμερίσματος Γοματίου, του Δήμου Παναγιάς. Η εκτίμηση της ειδικής παροχής άρδευσης δηλαδή της απαιτούμενης ανά στρέμμα και δευτερόλεπτο παροχής για την ικανοποίηση των μέγιστων κατά το μήνα αιχμής αναγκών, για τις τρεις περιοχές, αποτελεί βασικό στοιχείο για την εκτίμηση της έκτασης που θα αρδευθεί από το διαθέσιμο για άρδευση νερό των τριών ταμιευτήρων, όπως και για την εκτίμηση του είδους, της διάστασης και της διάταξης των απαιτούμενων έργων μεταφοράς και διανομής.

2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Η αναγκαιότητα εκτίμησης των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών οδήγησε στην ομαδοποίηση των καλλιεργειών με το σκεπτικό της ένταξης καλλιεργειών με παρόμοιους φυτικούς συντελεστές και παρόμοια βλαστική περίοδο, στην ίδια ομάδα. Μετά την ομαδοποίηση, βάσει στοιχείων απογραφής

1999 (Διεύθυνση Γεωργίας Χαλκιδικής) [4], προκύπτει ότι στην ευρύτερη κτηματική περιοχή των Δήμων που διαθέτουν εκτάσεις μέσα στην αξιοποιούμενη περίμετρο του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης το ποσοστό των αρδευομένων εκτάσεων ανέρχεται στην περιοχή Α σε 38,18%, στην περιοχή Β σε 76,80% και στην περιοχή Γ μόλις σε 3,74%. Επομένως, τα ποσοστά των ξηρικών καλλιεργειών (περιοχή Α: 61,82%, περιοχή Β: 23,20%, περιοχή Γ: 96,26%) είναι πολύ υψηλά και ιδιαίτερα στην περιοχή Γ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα σιτηρά που συνήθως δεν αρδεύονται έχουν πολύ υψηλά ποσοστά: 49,55% για την περιοχή Α, 14,08% για την περιοχή Β και 58,04% για την περιοχή Γ. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι αρδευόμενες εκτάσεις μπορούν να αυξηθούν στην περίπτωση που θα υπάρχει διαθεσιμότητα υδατικών πόρων.

Η διαθεσιμότητα του νερού των τριών ταμιευτήρων μετά την ικανοποίηση των αναγκών ύδρευσης και για άρδευση θα διαφοροποιήσει την παραπάνω κατανομή εκτοπίζοντας τα σιτηρά και τις ξηρικές καλλιέργειες. Έχοντας υπόψη τις τάσεις που έχουν διαμορφωθεί στην περιοχή, για ένα προτεινόμενο σενάριο διαχείρισης δίνονται στον Πίνακα 1 τα ποσοστά της πιθανής κατανομής των καλλιεργειών για τις περιοχές Α, Β και Γ.

Πίνακας 1. Ποσοστά (%) πιθανής κατανομής των καλλιεργειών του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης για τις περιοχές Α, Β και Γ

Καλλιέργεια	**Περιοχή Α**	**Περιοχή Β**	**Περιοχή Γ**
ΕΛΙΑ	70,40	76,80	88,00
ΒΑΜΒΑΚΙ	5,50	0,00	0,00
ΣΙΤΗΡΑ	1,00	1,00	0,00
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	0,50	0,00	0,00
ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ-ΠΕΠΟΝΙΑ	2,00	2,50	0,00
ΜΗΔΙΚΗ	0,60	0,50	0,00
ΦΑΣΟΛΙΑ- ΡΕΒΙΘΙΑ-ΚΟΥΚΙΑ	0,20	0,20	0,00
ΠΑΤΑΤΕΣ	0,80	0,00	0,00
ΑΜΠΕΛΙ	1,00	0,50	6,00
ΒΕΡΙΚΟΚΙΑ, ΑΜΥΓΔΑΛΙΑ, ΡΟΔΑΚΙΝΙΑ κ.λ.π.	6,50	6,50	2,00
ΦΙΣΤΙΚΙΑ	3,00	3,00	0,00
ΚΕΡΑΣΙΑ κ.λ.π.	0,50	1,00	0,00
ΛΑΧΑΝΟΚΟΜΙΚΑ Ι	4,00	4,00	2,00
ΛΑΧΑΝΟΚΟΜΙΚΑ ΙΙ	4,00	4,00	2,00
ΣΥΝΟΛΟ	**100,00**	**100,00**	**100,00**

3. ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Η εκτίμηση των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών και ο υπολογισμός των ελλειμμάτων τους, αποτελεί βασικό στοιχείο για την εκτίμηση της έκτασης που θα αρδευθεί, από το διαθέσιμο για άρδευση νερό των τριών ταμιευτήρων, όπως και για την εκτίμηση του είδους, της διάστασης και της διάταξης των απαιτούμενων έργων μεταφοράς και διανομής.

Ο υπολογισμός των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών γίνεται με τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Με φυσικό τρόπο οι ανάγκες αυτές μπορούν να καλυφθούν από τη βροχόπτωση, το υπόγειο νερό με τριχοειδή ανύψωση και το νερό που είναι αποθηκευμένο στο έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος. Στην περίπτωση που οι τρεις παραπάνω πηγές είναι ανεπαρκείς, είναι αναγκαίο για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών να δοθεί πρόσθετο νερό με άρδευση. Έτσι, οι **καθαρές σε αρδευτικό νερό ανάγκες** (In) υπολογίζονται από τη σχέση:

$$In = ET_c - (Pe + Gw + SM) \quad (1)$$

όπου: ET_c είναι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, Pe είναι το μέρος εκείνο της βροχής που μπορεί να αξιοποιηθεί από τις καλλιέργειες και λέγεται ωφέλιμη βροχή, Gw είναι η συμβολή του υπόγειου νερού με τριχοειδή ανύψωση και SM είναι το νερό που είναι αποθηκευμένο στη ζώνη του ριζοστρώματος στην αρχή της βλαστικής περιόδου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες.

Η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών ET_c υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$ET_c = K_c * ET_r \quad (2)$$

όπου: ET_c και ET_r είναι αντίστοιχα, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και K_c είναι ο φυτικός συντελεστής.

Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (ET_r) έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Από τις διάφορες μεθόδους που κατά καιρούς αναπτύχθηκαν, η μέθοδος FAO Penman – Monteith [5] είναι αυτή που χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια και αποτελεί μια από τις πιο ολοκληρωμένες και αξιόπιστες μεθόδους.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, για 24-ωρους υπολογισμούς της ET_r, από ημερήσια ή μέσα μηνιαία δεδομένα, η εξίσωση υπολογισμού της είναι:

$$ET_r = \frac{0{,}408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0{,}34 \cdot U_2)} \quad \text{(mm/day)} \quad (3)$$

όπου: ET_r=εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/day), T=μέση μηνιαία θερμοκρασία (^oC), e_a=πίεση κορεσμένων υδρατμών στη μέση θερμοκρασία (kPa), e_d=πραγματική πίεση υδρατμών της ατμόσφαιρας που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του σημείου δρόσου (kPa), Δ=κλίση της καμπύλης στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών και θερμοκρασίας (kPa/^oC), R_n=καθαρή ακτινοβολία (MJ/m^2day), G=κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας προς το έδαφος (MJ/m^2day), U_2=μέση ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2m (m/sec).

Στην περιοχή μελέτης η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς έγινε με την εφαρμογή της μεθόδου FAO Penman – Monteith [σχέση

(3)] σε μέσα μηνιαία κλιματικά δεδομένα των ετών 1977 μέχρι 1997, του σταθμού του Αγίου Μάμα. Η χρησιμοποίηση του σταθμού του Αγίου Μάμα οφείλεται αφενός στο ότι είναι ο πιο αντιπροσωπευτικός των περιοχών του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης και αφετέρου στο ότι διαθέτει αξιόπιστες μετρήσεις πολλών ετών των περισσότερων κλιματικών παραμέτρων που χρησιμοποιεί η μέθοδος.

Οι τιμές των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης παίρνονται είτε από Πίνακες όπου δίνονται για τις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας [6], είτε από Πίνακες που δίνονται από τον FAO [5]. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η καλλιέργεια της Ελιάς για την οποία έχουν γίνει πειράματα στην περιοχή του Αγίου Παύλου από το Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων Σίνδου σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Γεωργίας Χαλκιδικής. Με βάση τα πειράματα αυτά βρέθηκαν οι ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας της Ελιάς για διάφορα ποσοστά κάλυψης του εδάφους και για ποσοστό κάλυψης 70% προσδιορίστηκαν οι φυτικοί συντελεστές της, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία [4].

Η ωφέλιμη βροχή P_e υπολογίστηκε με βάση τη μηνιαία βροχόπτωση P_t και την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_r των ετών 1977 μέχρι 1997, του σταθμού του Αγίου Μάμα και τη βοήθεια της σχέσης [6]:

$$P_e = \left[0{,}53 + 0{,}0116D - 8{,}94 * 10^{-5} D^2 + 2{,}32 * 10^{-7} D^3\right] * \\ * \left[1{,}25 P_t^{0{,}824} - 2{,}93\right] * 10^{0{,}000955 ET_r} \quad (4)$$

όπου: P_e, P_t και ET_r είναι σε mm/μήνα και η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους D = 70 mm.

Για την περίπτωση των περιοχών Α, Β και Γ του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης, η αρδευτική αποδοτικότητα θεωρήθηκε ίση με 0,85 εξαιτίας του ότι ο τύπος του δικτύου προβλέπεται να είναι υπό πίεση και οι μέθοδοι άρδευσης που θα εφαρμοσθούν θα είναι στάγδην άρδευση, αυτοκινούμενος εκτοξευτήρας υψηλής πίεσης και καρούλι με ράμπα.

Θεωρώντας ότι SM=0, που σημαίνει ότι η αποθηκευμένη στο έδαφος εδαφική υγρασία στην αρχή και στο τέλος της βλαστικής περιόδου υποτίθεται ότι είναι ίδια και GW=0, υπολογίστηκαν με βάση τη σχέση (1) οι καθαρές σε νερό μηνιαίες ανάγκες των καλλιεργειών των περιοχών Α, Β και Γ του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης για τα έτη από 1977 μέχρι 1997.

4. ΕΙΔΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η απαιτούμενη ανά στρέμμα και δευτερόλεπτο παροχή για την ικανοποίηση των μέγιστων κατά το μήνα αιχμής αναγκών δηλαδή η *ειδική παροχή άρδευσης (q),* για τις υπό άρδευση περιοχές του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης υπολογίζεται με την ακόλουθη διαδικασία. Για καθεμία από τις περιοχές Α, Β και Γ του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης υπάρχει η κατανομή των καλλιεργειών (Πίνακας 1). Θεωρώντας μια τυπική έκταση 100 στρεμμάτων υπολογίζεται η έκταση που καταλαμβάνει κάθε καλλιέργεια από την εκατοστιαία αναλογία της. Για κάθε μήνα και για κάθε καλλιέργεια, υπολογίζονται οι συνολικές σε νερό ανάγκες σε m^3 πολλαπλασιάζοντας τις

μέσες ανάγκες σε mm, των ετών 1977-1997 που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, με την έκταση της κάθε καλλιέργειας και διαιρώντας το γινόμενο με την αρδευτική αποδοτικότητα, που στην περίπτωση των αρδευτικών δικτύων των περιοχών Α, Β και Γ του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης θεωρήθηκε ίση με 0,85. Στη συνέχεια, για κάθε μήνα και για κάθε καλλιέργεια υπολογίζεται η απαιτούμενη παροχή σε l/sec ανάλογα με τις ημέρες που είναι ενταγμένες στον αντίστοιχο μήνα της βλαστικής περιόδου, της κάθε καλλιέργειας. Τέλος, η ειδική παροχή άρδευσης για κάθε περιοχή και για κάθε μήνα, υπολογίζεται προσθέτοντας τις παροχές όλων των καλλιεργειών που αρδεύονται στο μήνα αυτό και διαιρώντας με τη συνολική έκταση που αυτές καταλαμβάνουν.

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η ειδική παροχή άρδευσης όπως υπολογίστηκε για κάθε περιοχή του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης και για 18ωρη λειτουργία του αρδευτικού δικτύου δίνεται στον Πίνακα 2.

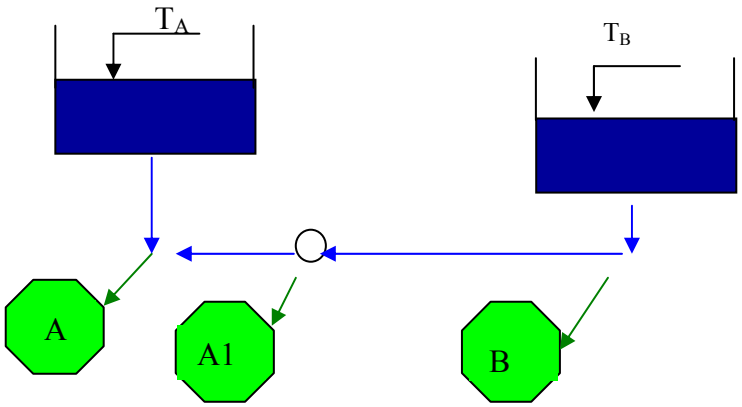
Πίνακας 2. Ειδική παροχή άρδευσης (l/sec/στρέμμα) κάθε περιοχής του προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης για 18ωρη λειτουργία του αρδευτικού δικτύου

Μήνας	Περιοχή Α	Περιοχή Β	Περιοχή Γ
Μάιος	0,02187	0,02187	0,02027
Ιούνιος	0,04267	0,04227	0,03787
Ιούλιος	0,05813	0,05773	0,05253
Αύγουστος	0,05813	0,05627	0,05347
Σεπτέμβριος	0,02453	0,02373	0,02160

Με βάση το ποσοστό της έκτασης κάθε καλλιέργειας στην τυπική έκταση των 100 στρεμμάτων και τις ανάγκες σε αρδευτικό νερό κάθε μήνα της αρδευτικής περιόδου, προκύπτει το μέσο ύψος νερού άρδευσης για το σύνολο της αρδευτικής περιόδου για τις τρεις περιοχές Α, Β και Γ, και είναι 383 mm ή 383 m^3/στρέμμα για την περιοχή Α, 377 mm ή 377 m^3/στρέμμα για την περιοχή Β και 360 mm ή 360 m^3/στρέμμα για την περιοχή Γ.

Σύμφωνα με τις ωφέλιμες χωρητικότητες των τριών ταμιευτήρων και τις ανάγκες σε νερό ύδρευσης που θα ικανοποιηθούν από αυτούς [7], το διαθέσιμο νερό για άρδευση είναι 350.000 m^3, από τον ταμιευτήρα του Ολυνθίου, 23.300.000 m^3 από τον ταμιευτήρα του Χαβρία και 1.500.000 m^3 από τον ταμιευτήρα του Πετρένια. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι μέρος των εκτάσεων θα αρδευθεί και από υπόγεια νερά [2]. Έτσι, εκτιμήθηκε ότι θα αρδευθούν από υπόγεια νερά 22.200 στρέμματα της περιοχής Α και 18.500 στρέμματα της περιοχής Β. Με βάση το μέσο ύψος νερού άρδευσης για το σύνολο της αρδευτικής περιόδου και το διαθέσιμο νερό για άρδευση από τους τρεις ταμιευτήρες υπολογίστηκε η έκταση που μπορεί να αρδευτεί και είναι: Για

την περιοχή Γ, 4.150 στρέμματα από τον ταμιευτήρα του Πετρένια. Για την περιοχή Β τα υπόλοιπα 17.500 (36.000-18.500) στρέμματα (από το σύνολο των 36.000 στρ. τα 18.500 στρ. θα αρδευθούν από υπόγεια νερά) από τον ταμιευτήρα του Χαβρία. Στην περίπτωση του ταμιευτήρα του Χαβρία επειδή περισσεύει νερό αυτό θα χρησιμοποιηθεί για την άρδευση 10.000 στρ. στην περιοχή των Καλυβών (περιοχή Α) και 33.600 στρ. στην υπόλοιπη περιοχή Α. Τέλος, στην περιοχή Α θα αρδευθούν και 900 στρ. από τον ταμιευτήρα του Ολυνθίου. Στο Σχήμα 1 φαίνεται η διαγραμματική παρουσίαση της λειτουργίας των ταμιευτήρων Ολυνθίου και Χαβρία για την ικανοποίηση των αναγκών άρδευσης.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

T_A : Ταμιευτήρας Ολυνθίου,

T_B : Ταμιευτήρας Χαβρία,

Α : Άρδευση 34.500 στρ. περιοχής Α (900 στρ. από Ολύνθιο + 33.600 στρ. από Χαβρία),

Α1: Άρδευση 10.000 στρ. περιοχής Καλυβών από Χαβρία,

Β : Άρδευση 17.500 στρ. περιοχής Β (Ορμύλιας) από Χαβρία

Σχήμα 1. Διαγραμματική παρουσίαση της λειτουργίας των ταμιευτήρων Ολυνθίου και Χαβρία για την ικανοποίηση των αναγκών άρδευσης.

Για τη διαστασιολόγηση των αγωγών μεταφοράς του αρδευτικού νερού στις περιοχές Α, Β και Γ είναι απαραίτητη η μέγιστη ειδική παροχή άρδευσης, που για 18ωρη λειτουργία του δικτύου, σύμφωνα με τον Πίνακα 2, είναι 0,05813 l/sec/στρέμμα για την περιοχή Α, 0,05773 l/sec/στρέμμα για την περιοχή Β και 0,05347 l/sec/στρέμμα για την περιοχή Γ. Με βάση τη μέγιστη ειδική παροχή άρδευσης κάθε περιοχής και τις επιμέρους εκτάσεις που μπορούν να αρδευθούν στις περιοχές αυτές υπολογίζονται οι παροχές των αγωγών μεταφοράς του αρδευτικού νερού, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τη διαστασιολόγησή τους.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την επίλυση του υδατικού προβλήματος του Ν. Χαλκιδικής προτείνεται η κατασκευή τριών φραγμάτων, στον Ολύνθιο, στο Χαβρία και στον Πετρένια και η δημιουργία των αντίστοιχων ταμιευτήρων. Σε ένα προτεινόμενο σενάριο διαχείρισης του νερού των τριών ταμιευτήρων η ικανοποίηση των υδρευτικών αναγκών προηγείται πάντοτε της ικανοποίησης των αναγκών άρδευσης. Η εκτίμηση της έκτασης που θα αρδευθεί από το διαθέσιμο για άρδευση νερό των τριών ταμιευτήρων, όπως και η εκτίμηση του είδους, της διάστασης και της διάταξης των απαιτούμενων έργων μεταφοράς και διανομής του αρδευτικού νερού προϋποθέτουν τον υπολογισμό της ειδικής παροχής άρδευσης. Στην εργασία αυτή, η ειδική παροχή άρδευσης υπολογίστηκε από τις μέσες ανάγκες σε νερό άρδευσης των καλλιεργειών ενός προτεινόμενου σεναρίου διαχείρισης των τριών ταμιευτήρων. Οι μέσες ανάγκες εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών, της ωφέλιμης βροχόπτωσης, της αρδευτικής αποδοτικότητας και των εκτιμήσεων με τη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς, για μια περίοδο 21 ετών (1977-1997).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καραμούζης, Δ., Παρισόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε., 2001. *Χωροθέτηση και προκαταρκτική διερεύνηση φράγματος Βατόνια (Ολυνθίου) Χαλκιδικής*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Ολυνθίου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.
2. Γκόφας, Θ., Μπουρτζίκος, Γ. και Μαργαρίτης, Δ., 1989. *Μελέτη οικονομικής σκοπιμότητας φράγματος Χαβρία και λοιπών αναγκαίων έργων για την βέλτιστη χρήση των υδατικών πόρων Νότιας Χαλκιδικής*. Υπουργείο Γεωργίας, Διεύθυνση Τεχνικών Μελετών.
3. 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.
4. Καραμούζης, Δ.Ν., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε., 2002. Διαχείριση του νερού των ταμιευτήρων Ολυνθίου, Χαβρία και Πετρένια Χαλκιδικής: Τεύχος 2. *Διαχείριση του νερού των ταμιευτήρων Ολυνθίου, Χαβρία και Πετρένια Χαλκιδικής για αρδεύσεις*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Ολυνθίου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.
5. 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, pp. 301.
6. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. *Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών*. Εκδόσεις Ζήτη, 347 σελ.
7. Μπαμπατζιμόπουλος, Χ.Σ., Καραμούζης, Δ.Ν. και Καβαλιεράτου, Σ., 2002. Διαχείριση του νερού των ταμιευτήρων Ολυνθίου, Χαβρία και Πετρένια Χαλκιδικής: Τεύχος 1. *Υδατικές ανάγκες ύδρευσης και διαστασιολόγηση αγωγών μεταφοράς νερού*. Πακέτο εργασίας στο Ερευνητικό πρόγραμμα Διαχείριση Υδατικών Πόρων Υδρολογικής Λεκάνης Ολυνθίου Χαλκιδικής, Θεσσαλονίκη.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Θ. Λέλλης[1], Π. Ντιούδης[1] , Αγ. Φιλίντας[1], Γ. Μαρτζόπουλος[2].

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

[2]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τ.Κ. 54124, Θεσ/νίκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνήθηκε η επίδραση της συχνότητας άρδευσης με σταγόνες στην απόδοση της βιομάζας αραβοσίτου και στην διακύμανση της κατ' όγκον υγρασίας του εδάφους, σε πειραματικό αγροτεμάχιο (3 επεμβάσεων και 4 επαναλήψεων) του Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Μετρήθηκε καθημερινώς η κατ' όγκον υγρασία του εδάφους και δημιουργήθηκαν καμπύλες αυτής για κάθε συχνότητα έρδευσης. Μετρήθηκε και βρέθηκε η παραγωγή βιομάζας, η αναλογία βιομάζας μεταξύ βλαστού–φύλλων–βρακτίων φύλλων–ρόκας-σπόρων και η υγρασία φυτών και σπόρων. Τελικώς, για τις διαφορές των αποδόσεων βιομάζας μεταξύ των επεμβάσεων δεν βρέθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά.

Λέξεις κλειδιά: Απόδοση αραβοσίτου, υπολείμματα, βιομάζα, συχνότητα άρδευσης.

EFFECT OF DRIP IRRIGATION SCHEDULING TO CORN BIOMASS YIELD

Th. Lellis[1], P. Ntioudis[1], Ag. Filintas[1], G. Martzopoulos[2].

[1]Technological Educational Institute of Larissa, School of Agriculture, Department of Agricultural Engineering and Irrigation, 41110. Larissa, Greece.

[2]Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, 54124, Thessaloniki, Greece.

ABSTRACT

Research of Drip irrigation scheduling effect to Corn Biomass yield and to the deviation of soil moisture, took place at experimental agricultural field (3 treatments and 4 replicates) of T.E.I. Larissa's. Daily measurements of soil moisture and construction of diagrams for every irrigation frequency have been made. Corn biomass, analogy of biomass between bud–leaves–involucres leaves–card-seeds and plant and seeds moisture were measured and found. Finally, corn biomass yield differences between treatments were not noted statistically significantly difference.

Keywords: Corn yield, stalk, biomass, irrigation frequency.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Η καλλιέργεια αραβοσίτου καλύπτει έκταση 2.667.000 στρεμμάτων [1] δηλαδή το 5% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων στη χώρα μας. Το 16% των εκτάσεων αυτών συγκεντρώνεται στη Θράκη, 14% στη Μακεδονία, 14% στη Στερεά Ελλάδα και Εύβοια, 10% στην Πελοπόννησο και 10% στη Θεσσαλία [2]. Τα υπολείμματα της καλλιέργειας του αραβοσίτου δηλαδή τα φύλλα, τα στελέχη, τα βράκτια φύλλα και η ρόκα τα οποία παραμένουν στους αγρούς μετά την συγκομιδή του προϊόντος ανέρχονται σε μεγάλες ποσότητες. Η μέση στρεμματική απόδοση για μεν τα στελέχη και τα φύλλα είναι 520 κιλά για δε τα υπόλοιπα 197 κιλά [2]. Παρά τις μεγάλες ποσότητές του συλλέγεται μόνον μικρή ποσότητα βιομάζας. Το συλλεγόμενο προϊόν χρησιμοποιείται συνήθως για τροφή στα ζώα και το υπόλοιπο ή καίγεται ή παραμένει για την προστασία και βελτίωση των εδαφών. Η αφαίρεση των υπολειμμάτων ή η παραμονή τους στο έδαφος αποτέλεσε αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας [3]. Ενώ είναι σαφές ότι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις θα είναι κρίσιμες στον καθορισμό του ποσού που μπορεί να αφεθεί σε οποιοδήποτε περιοχή [4], η δυνατότητα για την χρησιμοποίηση κάποιου ποσού υπολείμματος για ενέργεια αποτελεί ένα καινούργιο αντικείμενο ενδιαφέροντος [5]. Χρησιμοποιώντας ένα λόγο 1:1 για τον υπολογισμό της μάζας της παραγωγής υπολειμμάτων από τη μάζα της απόδοσης καρπού είναι μια λογική πρακτική αλλά χρειάζεται προσοχή κατά την διάρκεια της εποχής της συγκομιδής όπου η ποσότητα μπορεί να αλλάξει ενώ η σύνθεση ελάχιστα επηρεάζεται [6]. Κατά την άποψη ερευνητών [2] η σχέση καρπού προς στελέχη συν φύλλα είναι 1,42:1 και καρπού και υπολοίπων 3,75:1. Και δεδομένου ότι η παραγωγή ήταν 2.035.000 τόνοι το 2001 [1], τα υπολείμματα μπορούν να εκτιμηθούν μεταξύ 2.035.000 και 1.975.764 τόνοι [2,6]. Τα υπολείμματα αποτελούνται από στελέχη 50%, φύλλα 22%, σπάδικες 15%, βράκτια φύλλα και υπόλοιπα 13%. Τα υπολείμματα είτε συλλέγονται σε κυλινδρικά δέματα 410-640 kg (1,53m και διαμέτρου 1,78m) ή σε ορθογώνια των 545kg (1,22mx1,22mx2,44m). Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην Nebraska των Η.Π.Α. από 10 στρέμματα παρήχθησαν 6 δέματα ορθογώνια διαστάσεων 0,9mX0,9mX2,4m [6]. Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει την κοπή, τον τεμαχισμό, την συσκευασία, την μεταφορά και την αποθήκευση σε μια περιοχή. Τα δέματα πρέπει να μεταφερθούν μακριά από τον αγρό για δύο λόγους:

- α) για να υπάρχει ένα ασφαλές μέρος αποθήκευσης με την αποδεκτή πρόσβαση για την επόμενη μεταφορά στις εγκαταστάσεις μετατροπής και
- β) για να επιτραπούν οι προετοιμασίες του εδάφους.

Το κόστος όλων των εργασιών για μια απόσταση 8 km ήταν για τα κυλινδρικά δέματα $19,7 ανά τόνο ξηράς ουσίας ενώ για τα ορθογώνια $21,4 [7,8].

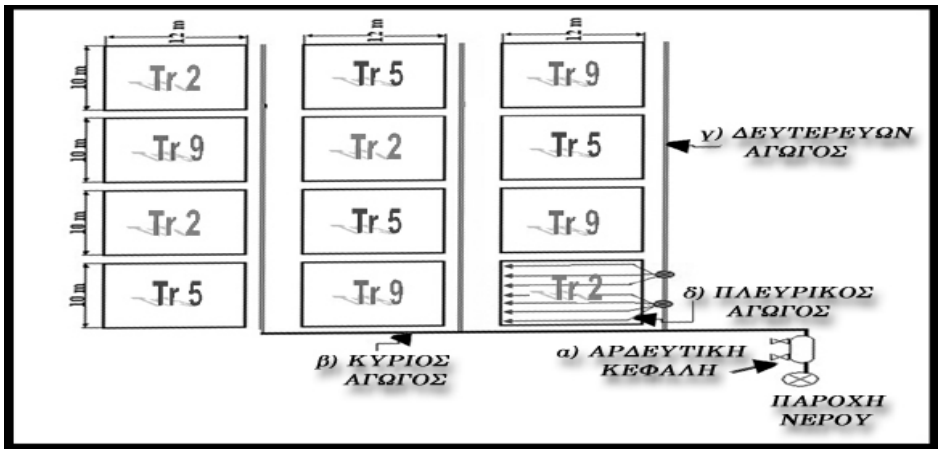
Πολλοί επιστήμονες όπως , Zarogiannis V. [9], Klapp [10], Μπουντώνας και Καραλάζος [11], οι οποίοι ασχολήθηκαν με την άρδευση του αραβοσίτου συγκλίνουν στο ίδιο αποτέλεσμα δηλαδή ότι η άρδευση του αραβοσίτου είναι σημαντική από την εμφάνιση των αρρένων ταξιανθιών μέχρι την γαλακτώδη

ωρίμανση των κόκκων του σπάδικα. Στην γαλακτώδη ωρίμανση των κόκκων του σπάδικα, η εμφάνιση μαύρου στίγματος στο 50 % των κόκκων αραβοσίτου αποτελεί ένδειξη ότι η καλλιέργεια έχει ωριμάσει πλήρως [12]. Το ανωτέρω κριτήριο χρησιμοποιήθηκε στο πειραματικό για την ολοκλήρωση των αρδεύσεων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της συχνότητας άρδευσης με σταγόνες στην απόδοση της βιομάζας καλλιέργειας αραβοσίτου δεδομένου ότι οι παραγωγοί στην πράξη ποτίζουν με διάφορες συχνότητες άρδευσης και με ποικιλία ποσοτήτων αρδευτικού νερού καθώς και στην διερεύνηση της επίδρασης στη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε αγροτεμάχιο του αγροκτήματος του Τ.Ε.Ι. Λάρισας κατά την αρδευτική περίοδο του έτους 2001. Εγκαταστάθηκε σύστημα άρδευσης με σταγόνες, μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η επίδραση της συχνότητας άρδευσης (Επέμβαση Tr2=άρδευση ανά 2 ημέρες, επέμβαση Tr5= άρδευση ανά 5 ημέρες και επέμβαση Tr9=άρδευση ανά 9 ημέρες) στην απόδοση βιομάζας του αραβοσίτου. Επίσης παρακολουθήθηκε σε καθημερινή βάση η υγρασία του εδάφους. Το αγροτεμάχιο αποτελείτο από 3 επεμβάσεις επί 4 επαναλήψεις, συνολικά δηλαδή 12 πειραματικά τεμάχια (Σχήμα 1). Κάθε τεμάχιο είχε πλάτος 10 μέτρα (κάθετα στις γραμμές σποράς) και μήκος 12 μέτρα (παράλληλα στις γραμμές σποράς). Η απόσταση μεταξύ των γραμμών του



Σχήμα 1. Διάταξη του πειραματικού και του αρδευτικού δικτύου.

αραβοσίτου ήταν 0,75 μέτρα και πυκνότητα φυτών 6.250 φυτά/στρμ. Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α (Evaporation pan type A), με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση. Το αρδευτικό δίκτυο αποτελείτο (Σχήμα 1): α) από την αρδευτική κεφαλή, β) από τον κύριο αγωγό

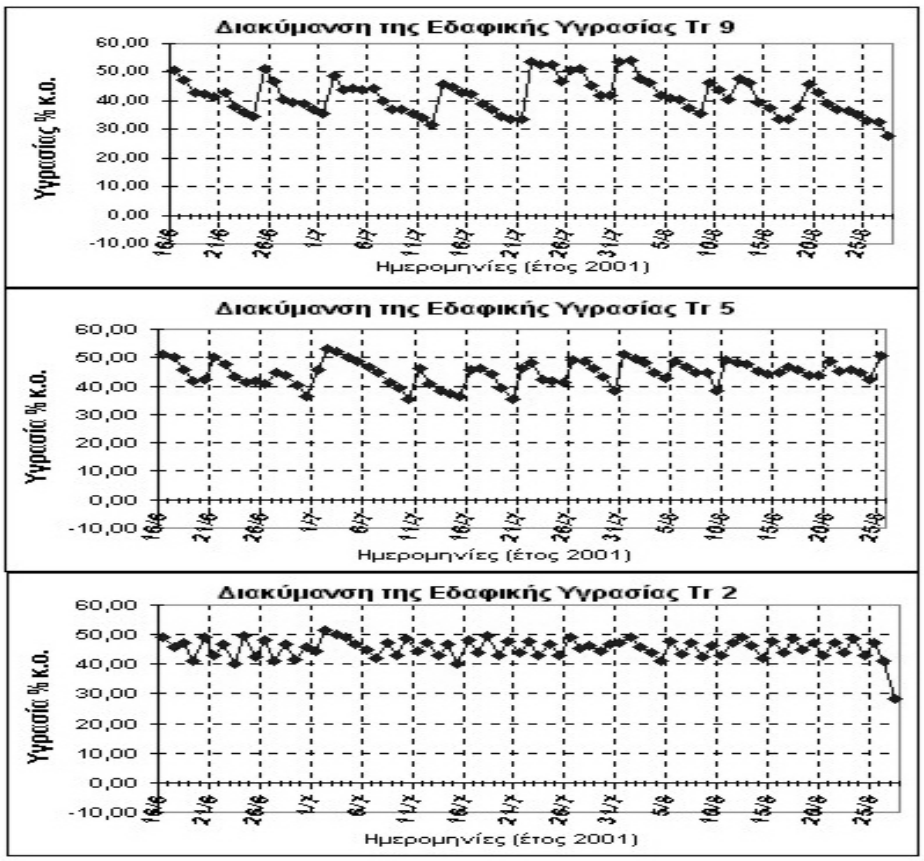
μεταφοράς με εξάμετρους μεταλλικούς σωλήνες 89mm, γ) από τους δευτερεύοντες αγωγούς από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας διαμέτρου 40mm και ονομαστικής πίεσης 6 Atm, δ) από τους πλευρικούς (τριτεύοντες) ή σταλακτηφόρους αγωγούς των 20mm κατασκευασμένους από πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας με ενσωματωμένους απλούς σταλακτήρες ισαποχής 0,50m και παροχής 4 l/h για πίεση λειτουργίας 1,2 Atm. Οι μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας έγιναν με τη μέθοδο T.D.R. (Time Domain Reflectometry) με χρήση συσκευής T.D.R. του οίκου ESI η οποία έχει τη δυνατότητα να δίδει το προφίλ της εδαφικής υγρασίας σε βάθη 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία περατώθηκαν οι αρδεύσεις όταν εμφανίσθηκε μαύρο στίγμα στο 50 % των κόκκων του σπάδικα αραβοσίτου το οποίο και αποτελεί ένδειξη ότι η καλλιέργεια έχει ωριμάσει πλήρως [12]. Το ανωτέρω κριτήριο χρησιμοποιήθηκε στο πειραματικό για την ολοκλήρωση των αρδεύσεων. Ο καρπός ήταν ώριμος όταν ο μέσος όρος της υγρασίας του ήταν 14% οπότε και άρχισε η συγκομιδή των φυτών. Από τις 14 σειρές του κάθε πειραματικού κόπηκαν η $4^{η}$, $7^{η}$, $10^{η}$ και $11^{η}$ σειρά σε μήκος 8 μέτρων επί της γραμμής. Κόπηκαν ένα-ένα τα φυτά με κλαδευτικό αεροψάλιδο σε ύψος οκτώ εκατοστών από την επιφάνεια του εδάφους. Μετά το κόψιμο κάθε φυτό τοποθετήθηκε σε φιλμ πολυαιθυλενίου διαστάσεων 3x2,5m. Η συλλεγόμενη βιομάζα της κάθε σειράς μεταφέρθηκε στη ζυγαριά. Κατόπιν αποσπάσθηκε ο σπάδικας από το φυτό και αφού αποχωρίσθηκε από τα βράκτια φύλλα του τοποθετήθηκε σε σάκους. Μεταφέρθηκε στο εργαστήριο και έγινε η εκκόκκιση του σπόρου. Για κάθε σειρά ζυγίστηκε ο εκκοκκισμένος σπόρος και μετρήθηκε η υγρασία του. Στα εναπομείναντα φυτά αποχωρίσθηκε και υπολογίσθηκε ξέχωρα το κεντρικό στέλεχος, τα φύλλα, τα φύλλα του σπάδικα και το κοτσάνι. Πάρθηκαν δείγματα από όλα τα πειραματικά τεμάχια της κάθε επέμβασης και μετρήθηκε η υγρασία τους. Τέλος παρακολουθήθηκε η όλη ανάπτυξη του φυτού και υπολογίσθηκε η σχέση καρπού και υπολειμμάτων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.

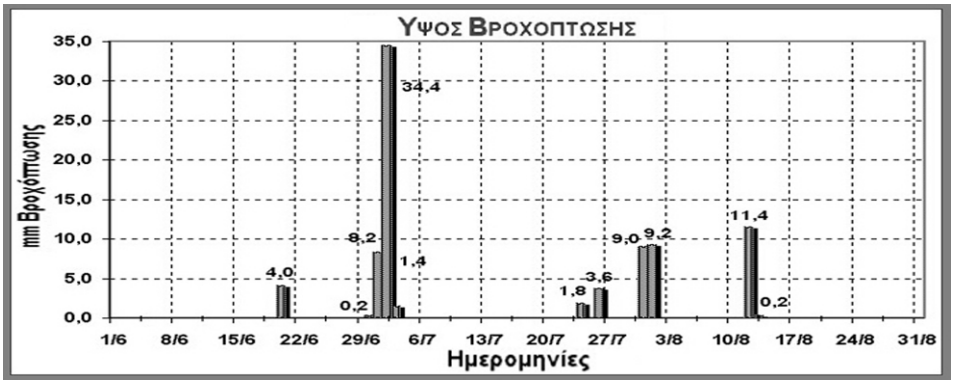
Το έδαφος του πειραματικού αγρού ήταν αργιλώδες. Άμμος 28,50 %, ιλύς 25,50 %, άργιλος 46,00 %., με υδατοϊκανότητα 31,21 % ξηρού βάρους εδάφους, σημείο μόνιμης μάρανσης 17,14 % ξηρού βάρους εδάφους, Φ.Ε.Β. 1,42 gr/cm^3. Η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού μετρήθηκε με Guelph Permeameter και βρέθηκε ίση με 3,0 x 10^{-5} cm / sec στα πρώτα 15 cm και 3,2 x 10^{-5} cm/sec σε βάθος 45 cm. Έγιναν μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους καθημερινά για όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου σε βάθη 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm και δημιουργήθηκαν καμπύλες της εδαφικής κατ' όγκο υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για κάθε συχνότητα άρδευσης του έτους 2001 (Σχήμα 2). Η εδαφική υγρασία κυμάνθηκε από 40,06% κ.ο., 35,16% κ.ο. και 31,65% κ.ο. έως 51,67% κ.ο., 53,24% κ.ο. και 54,37% κ.ο. (για τις τρεις επεμβάσεις Tr2, Tr5 και Tr9, αντίστοιχα). Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το εύρος άρδευσης αυξάνεται το εύρος της διακύμανσης των τιμών της εδαφικής υγρασίας. Ακόμη

σημειώνεται ότι στο εύρος της διακύμανσης των τιμών της εδαφικής υγρασίας έπαιξαν ρόλο και οι σημαντικές βροχοπτώσεις (Σχήμα 3).



Σχήμα 2. Καμπύλες της εδαφικής κ.ό. υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για κάθε συχνότητα άρδευσης για τις τρείς επεμβάσεις (Tr2, Tr5 και Tr9).

Η στατιστική ανάλυση (Πίνακας 1) δείχνει ότι τα διαφορετικά εύρη άρδευσης (ανά 2, ανά 5 και ανά 9 ημέρες) δεν επέδρασαν στατιστκώς σημαντικά στη διαφοροποίηση της απόδοσης της βιομάζας του αραβοσίτου. Ο μ.ο. των επεμβάσεων έδωσε αντιστοίχως 2.696,1 , 2.675,5 και 2.572,7 kg/στρμ. βιομάζα με 14% υγρασία του σπόρου. Μετρήθηκαν σε όλα τα φυτά το στέλεχος, τα φύλλα, ο σπόρος, τα φύλλα του σπάδικα και το υπόλοιπο του σπάδικα (κοτσάνι) και βρέθηκαν τα αντίστοιχα κατά βάρος ποσοστά.



Σχήμα 3. Βροχόπτωση κατά την αρδευτική περίοδο του έτους 2001.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Στατιστική Ανάλυση Παραγωγής Βιομάζας Πειραματικού για το έτος 2001.

ΕΠΕΜΒΑΣΗ (Εύρη άρδευσης σε ημέρες)	Αριθμός παρατη-ρήσεων	Τυπική απόκλιση	Συνολική τυπική απόκλιση	Μ.Ο. παραγωγής βιομάζας (Kgr/στρμ)
Tr 2 (2)	4	425,7	354,2	2.696,1
Tr 5 (5)	4	277,5		2.675,5
Tr 9 (9)	4	343,6		2.572,7

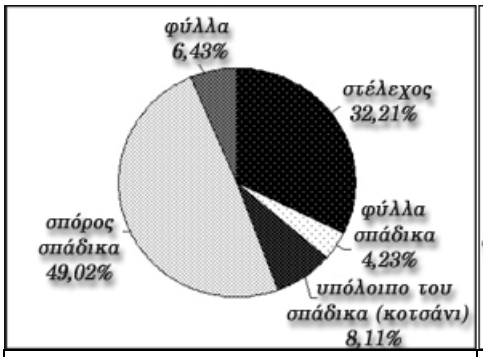
Μέσο Τετράγωνο (MS)		Τιμή F-test	Σημαντικότητα F-test
Επέμβαση	17.469	0,14	0,872 Μ.Σ.
Λάθος	125.426		

Στέλεχος 32,21%, φύλλα 6,43%, σπόρος σπάδικα 49,02%, βράκτια φύλλα σπάδικα 4,23% και το υπόλοιπο του σπάδικα (κοτσάνι) 8,11% (Σχήμα 4). Μετά τον εκκοκκισμό του σπόρου η βιομάζα που παρέμεινε κατά βάρος κατανέμεται ως εξής: στέλεχος 63,18%, φύλλα 12,63%, βράκτια φύλλα 8,29% και το υπόλοιπο του σπάδικα (κοτσάνι) 15,90% (Σχήμα 5). Τα παραπάνω δεν συμφωνούν με τα αναγραφόμενα στην βιβλιογραφία [6] δηλαδή ότι τα υπολείμματα του αραβοσίτου αποτελούνται από στελέχη 50%, φύλλα 22%, σπάδικες 15%, βράκτια φύλλα και υπόλοιπα 13%. Το πρόβλημα έγκειται στο ότι η μέτρηση έγινε μετά τον θερισμό αλωνισμό όπου είναι δύσκολη η αναγνώριση μερικών τεμαχιδίων αλλά και ότι υπάρχει ένα ποσοστό 13% το οποίο αναφέρεται σαν υπόλοιπα και βράκτια φύλλα. Η σχέση του μ.ο. του βάρους και της πυκνότητας των φυτών του αραβοσίτου στην παραγωγή βιομάζας όταν ο μ.ο. της υγρασίας του σπόρου είναι 14% δίδεται από την εξίσωση:

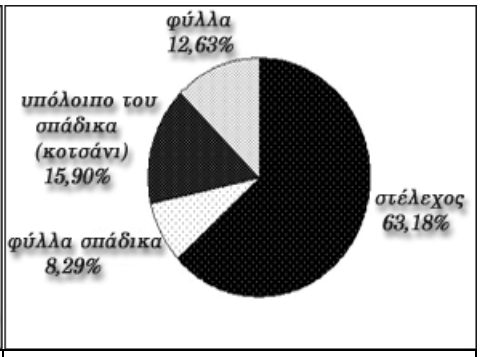
$$Y=0,8492X-133,22 \quad (1)$$

με $R^2 = 0,9541$ όπου Y είναι η παραγόμενη βιομάζα σε Kgr/στρμ., X είναι μ.ο. βάρους φυτού πολλαπλασιασμένος με τη πυκνότητα φυτών/στρμ σε Kgr/στρμ.

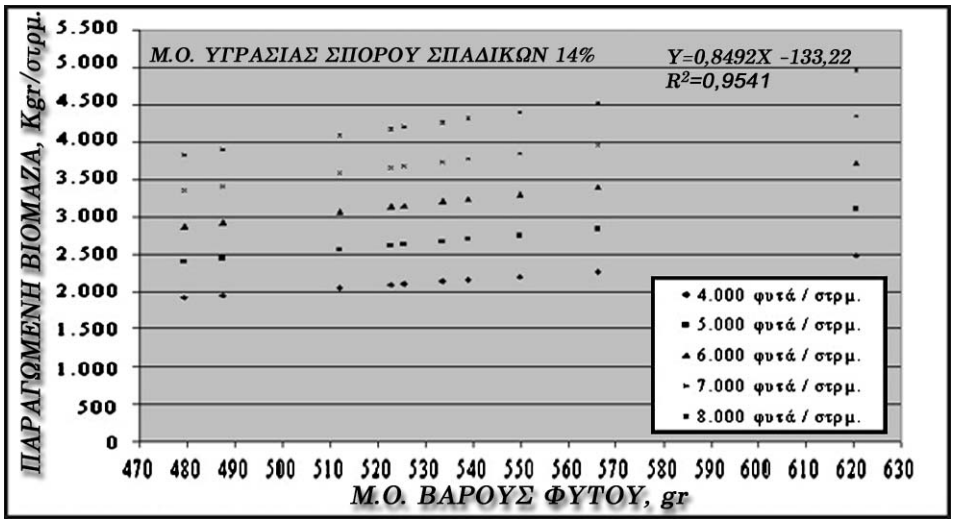
Η σχέση βάρους και πυκνότητας φυτών αραβοσίτου στην παραγόμενη βιομάζα φαίνεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 4. Ποσοστιαία Κατανομή βάρους ολόκληρου φυτού.



Σχήμα 5. Ποσοστιαία Κατανομή βάρους ολόκληρου φυτού μείον το βάρος του καρπού.



Σχήμα 6. Σχέση βάρους και πυκνότητας φυτών στην παραγόμενη βιομάζα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Έγιναν πειράματα την αρδευτική περίοδο του έτους 2001 σε πειραματικό αγρό καλλιέργειας αραβοσίτου στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Λάρισας για να μελετηθεί η επίδραση διαφορετικών εύρων άρδευσης (ανά 2, ανά 5 και ανά 9 ημέρες) τόσο στην διακύμανση της εδαφικής κ.ό. υγρασίας όσο και στην απόδοση της βιομάζας του αραβοσίτου. Από τα πειράματα παρατηρήσαμε ότι είχαμε αυξημένη παραγωγή βιομάζας κατά την εξής σχέση:

$$Tr2 > Tr5 > Tr9 \qquad (2)$$

όπου Tr2=παραγωγή βιομάζας της επέμβασης Tr2, Tr5= παραγωγή βιομάζας της επέμβασης Tr5 και Tr9=παραγωγή βιομάζας της επέμβασης Tr9.

Ωστόσο από τη στατιστική ανάλυση φάνηκε ότι δεν προέκυψαν στις αποδόσεις της βιομάζας του αραβοσίτου στατιστικώς σημαντικές διαφορές για τα διαφορετικά εύρη άρδευσης (ανά 2, ανά 5 και ανά 9 ημέρες). Ο μ.ο. του βάρους των φυτών του αραβοσίτου μαζί με το καρπό της κάθε επέμβασης στην παραγωγή βιομάζας βρέθηκε 510–540 gr όταν ο μ.ο. της υγρασίας του σπόρου ήταν 14%. Η σχέση μεταξύ καρπού και βιομάζας κυμάνθηκε από 1:1,54 έως 1:1,73 όταν ο μ.ο. της υγρασίας του σπόρου ήταν 14%. Η παραγωγή καρπού κυμάνθηκε από 1.546-1.619 kg/στρμ. Η απόδοση σε καρπό σε σχέση με το συνολικό βάρος των ολόκληρων φυτών (συμπεριλαμβανομένου του καρπού) κυμάνθηκε από 37,21% έως 37,54% για μ.ο. υγρασίας καρπού 14%. Η σχέση του μ.ο. του βάρους και της πυκνότητας των φυτών του αραβοσίτου στην παραγωγή βιομάζας όταν ο μ.ο. της υγρασίας του σπόρου ήταν 14%, δίδεται από την εξίσωση (1).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. National Statistics Service, 2002. *Monthly statistical bulletin*, vol.47 No 8, Athens.
2. Μ. Αποστολάκη-Σ.Κυρίτση-Χ. Σούτερ, 1987. *Το Ενεργειακό δυναμικό της Βιομάζας*. Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, 49-74.
3. Mann L, Tolbert V, Cushman J., 2002. Potential environmental effects of corn (*Zea mays* L.) stover removal with emphasis on soil organic matter and erosion: a review. Agriculture, *Ecosystems and Environment,* 89(3).
4. Lal R, Kimble JM, Follett RF, Cole CV., 1998. *The potential of US cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect.* Chelsea, MI: Ann Arbor Press.
5. R.G. Nelson , 2002. Resource assessment and removal analysis for corn stover and wheat in Eastern and Midwestern United States—rainfall and wind-induced soil erosion methodology. *Biomass and Bioenergy.* 22. 349–363.
6. Shahab Sokhansanj, Anthony Turhollow, Janet Cushman and John Cundiff, *November* 2002. Engineering aspects of collecting corn stover for bioenergy, *Biomass and Bioenergy.* Vol.23, Issue 5, 347-355.
7. Richey CB, Liljedahl JB, Lechtenberg VL., 1982. Corn stover harvest for energy production. *Transactions of the ASAE*. 25(4). 834–844.
8. Sokhansanj S, Turhollow A., 2002. Baseline cost for corn stover collection. *Applied Engineering in Agriculture*, in press.
9. Zarogiannis V., 1979. *Beregnung und Standraum bei Mais (Zea mays L.).* fur Bodenkultur, In Wien, 30(3). 281-303.
10. Klapp E., 1967. *Lehrbuch des Acker - und Pflanzenbaues.* Auflage, Bone, 6.
11. Μπουντώνας Γ. και Ι. Καραλάζος, 1968. *Το καλαμπόκι στην Ελλάδα.* Ινστιτούτο Σιτηρών, Θεσσαλονίκη.
12. Rench W.Eugene and R.H.Shaw, 1971. Black layer development in corn. *Agron. Journal.* 63. 303-305.

ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΑΓΔΗΝ

Π. Ντιούδης[1], Αγ. Φιλίντας[1], Θ. Λέλλης[1], Μ. Σακελλαρίου[2].
[1]Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, 41110, Λάρισα.
[2]Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Φυτόκο, 38334, Νέα Ιωνία Μαγνησίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πραγματοποιήθηκε έρευνα σε καλλιέργεια αραβοσίτου αρδευόμενη με στάγδην, στην οποία μελετήθηκε η παραγωγή της κι η κατανομή της εδαφικής υγρασίας συναρτήσει του εύρους άρδευσης. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Λάρισας το 2001. Το πειραματικό αποτελείτο από 3 επεμβάσεις (εύρος άρδευσης=Ε : 2, 5 και 9 ημέρες) επί 4 επαναλήψεις. Υπολογίστηκε η εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας για κάθε εύρος άρδευσης από καθημερινές μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο Τ.D.R. Μετρήθηκε η παραγωγή (=Π) και προέκυψε η σχέση: $\Pi_{E2}>\Pi_{E5}>\Pi_{E9}$. Όμως από την στατιστική ανάλυση η ανωτέρω σχέση δεν επιβεβαιώθηκε στατιστικά.

Λέξεις κλειδιά: Παραγωγή αραβοσίτου, εύρος άρδευσης, στάγδην άρδευση.

PRODUCTIVITY OF A DRIP IRRIGATED CORN CULTIVATION WITH REGARD TO IRRIGATION SCHEDULING

[1]P. Ntioudis, [1]Ag. Filintas, [1]Th. Lellis, [2]M. Sakellariou.
[1]Technological Educational Institute of Larissa, School of Agriculture, Department of Agricultural Engineering and Irrigation, 41110, Larissa, Greece.
[2]University of Thessaly, Agriculture Dep., Fytoko, 38446, Nea Ionia Magnisias, Greece.

ABSTRACT

Corn yield and soil moisture distribution with regard to irrigation scheduling was the aim of the study in a drip irrigated corn cultivation. Experiments took place at the farm of T.E.I. Larissas in the year 2001. The experimental design consisted of 3 treatments (irrigation scheduling=E irrigation per 2 days, per 5 and per 9 days) with 4 replicates. The available water losses were calculated for every irrigation scheduling by daily measurements of soil moisture with the T.D.R. method. The corn yield (=Π) was measured and the result was the relation: $\Pi_{E2}>\Pi_{E5}>\Pi_{E9}$. However the above relation was not confirmed statistically by statistical analysis.

Keywords: Corn productivity, irrigation scheduling, drip irrigation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Ο αραβόσιτος (Zea mays L.) καλλιεργείται από 58^{O} Βόρειο Γεωγραφικό πλάτος μέχρι 40^{O} Νότιο Γεωγραφικό πλάτος και από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι 3.800 μέτρα υψόμετρο. Αποτελεί μία κατεξοχήν αρδευόμενη καλλέργεια ανά τον κόσμο [8] με κύρια παραγωγό χώρα τις Η.Π.Α.

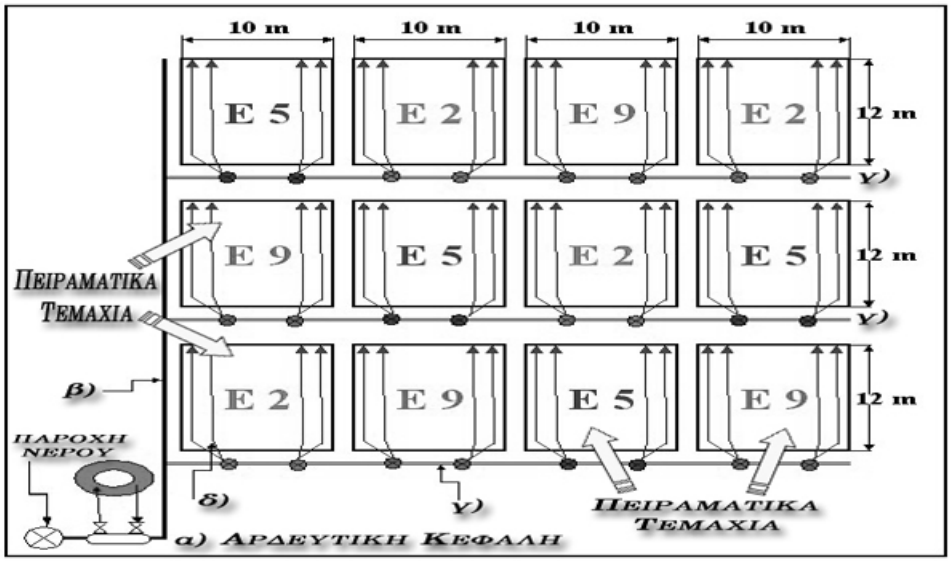
Στην Ελλάδα η καλλιέργεια αραβοσίτου καλύπτει έκταση 2.667.000 στρεμμάτων [13] δηλαδή το 5 % του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων στη χώρα μας. Το 2001 η μέση παραγωγή αραβοσίτου στη χώρα μας ήταν 1.310 Kg ανά στρέμμα [13]. Ο αραβόσιτος κατά τους Musick and Dusek [9], για να επιτύχει μέγιστες αποδόσεις έχει υψηλές εποχικές απαιτήσεις σε νερό. Στο παραπάνω συμπέρασμα καταλήγουν και οι Πανώρας κ.α. [10] και παρατηρούν ότι εφαρμογή περιορισμένων ποσοτήτων νερού άρδευσης (65-66% ικανοποίησης του ελλείματος) στον αραβόσιτο σε πείραμα που πραγματοποίησαν στη πεδιάδα θεσσαλονίκης μείωσε την παραγωγή εως 37%. Οι Gill et al [3], εξέτασαν σε χονδρόκοκα εδάφη τις επιδράσεις της άροσης, της ενσωμάτωσης η μη υπολειμμάτων και της άρδευσης στην απόδοση της καλλιέργειας του αραβοσίτου. Οι ανωτέρω ερευνητές παρατήρησαν ότι οδηγήθηκαν σε αύξηση της παραγωγής αραβοσίτου από τον συνδιασμό της βαθειάς άροσης και της ενσωμάτωσης υπολειμμάτων (άχυρο) με την αύξηση της συχνότητας άρδευσης της καλλιέργειας. Διάφοροι άλλοι επιστήμονες-ερευνητές όπως Klapp [6], Storchshnabel [14], Μπουντώνας και Καραλάζος [7], Zarogiannis [5], οι οποίοι ασχολήθηκαν εκτεταμένα με την άρδευση της καλλιέργειας του αραβοσίτου συγκλίνουν στο ίδιο αποτέλεσμα δηλαδή ότι η άρδευση είναι σημαντική από την εμφάνιση των αρρένων ταξιανθιών μέχρι την γαλακτώδη ωρίμανση των κόκκων του σπάδικα. Στην γαλακτώδη ωρίμανση των κόκκων του σπάδικα, η εμφάνιση μαύρου στίγματος στο 50 % των κόκκων αραβοσίτου αποτελεί ένδειξη ότι η καλλιέργεια έχει ωριμάσει πλήρως σύμφωνα με τους Rench and Shaw [12]. Το ανωτέρω κριτήριο χρησιμοποιήθηκε στο πειραματικό για την ολοκλήρωση των αρδεύσεων. Για τις συνθήκες της Ελλάδος η άρδευση του αραβοσίτου εφαρμόζεται από Ιούνιο μέχρι την ωρίμανση που αναφέρθηκε ανωτέρω, η οποία συμπίπτει στα μέσα έως τέλη Αυγούστου [4]. Οι παραπάνω ερευνητικές εργασίες όπως και αρκετές άλλες στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται στην επίδραση της άρδευσης στην καλλιέργεια του αραβοσίτου, χρησιμοποιώντας ως συστήματα άρδευσης τον καταιονισμό ή την άρδευση με αυλάκια.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του εύρους άρδευσης τόσο στην εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας όσο και στην παραγωγικότητα της καλλιέργειας αραβοσίτου που αρδεύονταν με σύστημα στάγδην άρδευσης. Η μελέτη έγινε κατά την αρδευτική περίοδο του έτους 2001 στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Λάρισας και αποτελεί συνέχεια παρόμοιας έρευνας η οποία διεξήχθη στον ίδιο χώρο κατά το έτος 2000. Κατά την εφαρμογή της στάγδην άρδευσης και σχετικά με την κατανομή της εδαφικής υγρασίας στο εδαφικό υπόστρωμα έχει παρατηρηθεί ότι η μεγαλύτερη επιφάνεια υγράνσεως

εμφανίζεται σε οριζόντια τομή σε βάθος 30 cm περίπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους [11]. Η εξάντληση της εδαφικής υγρασίας μέσα στο έδαφος κάτω από μία πηγή στάγδην άρδευσης έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας τόσο πειραματικής στο εργαστήριο, όσο και θεωρητικής [1, 16].

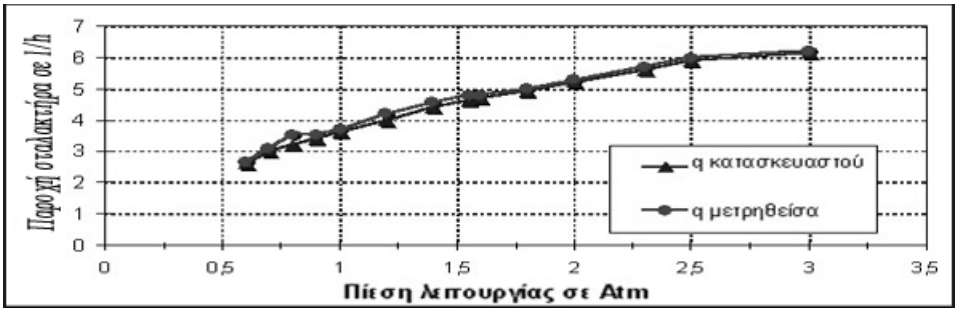
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.

Το δίκτυο στάγδην άρδευσης (Σχήμα 1) αποτελείτο: α) Από την αρδευτική κεφαλή νερού (υδροκυκλωνικό φίλτρο σίτας, υδρολιπαντήρας κι εξαρτήματα). β) Από τον κύριο αγωγό μεταφοράς (μεταλλικοί εξάμετροι σωλήνες 89mm με ταχυσυνδέσμους). γ) Από τους δευτερεύοντες αγωγούς (PEHD, 40mm, 6Atm).



Σχήμα 1. Σχέδιο διάταξης πειραματικών τεμαχίων: Επέμβαση E2, E5, E9 = προγραμματισμός άρδευσης ανά 2 ημέρες, ανά 5 ημέρες, ανά 9 ημέρες.

δ) Από τους τριτεύοντες αγωγούς ή γραμμές άρδευσης δηλαδή τους σταλακτηφόρους σωλήνες (από PELD, 20mm με ενσωματωμένους απλούς σταλακτήρες παροχής 4 lt/h για πίεση λειτουργίας 1,2 Atm κι ισαποχής 0,50m). Οι σταλακτήρες αυτοί διαθέτουν βαθύ λαβύρινθο μαιανδρικής διαδρομής, ώστε να εξασφαλίζουν την τυρβώδη ροή του νερού και την ελάχιστη ευαισθησία στις εμφράξεις. Από μετρήσεις της παροχής των σταλακτήρων διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις της ήταν μέσα στα επιτρεπτά από τον κατασκευαστή όρια (Σχήμα 2). Έγιναν μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας του εδάφους του πειραματικού καθημερινά για όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Χωροχρονικής Ανακλασιμετρίας ή TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία είναι μία μη ραδιενεργός μέθοδος γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους. Έγινε χρήση συσκευής TDR του οίκου ESI η οποία έχει τη δυνατότητα να δίδει μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας



Σχήμα 2. Διάγραμμα καμπυλών πιέσεως - παροχής σταλακτήρων από τις μετρήσεις: α) του κατασκευαστού και β) από τις μετρήσεις στο εργαστήριο.

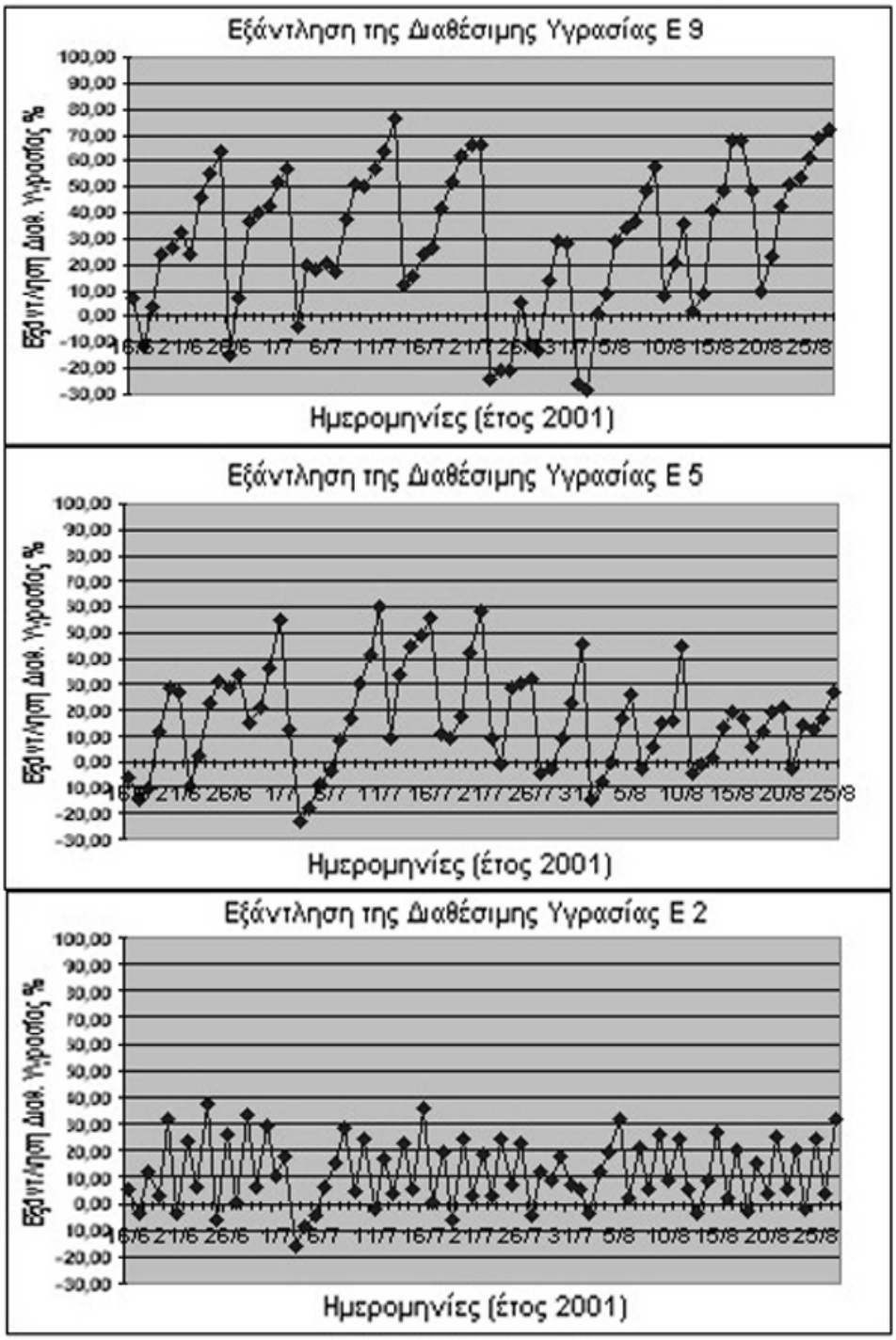
σε βάθη 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm, εξασφαλίζοντας πολύ καλή ακρίβεια μετρήσεων, αφού ο αισθητήρας προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το έδαφος [2].

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.

Το αγροτεμάχιο του αγροκτήματος του Τ.Ε.Ι. Λάρισας ήταν η τοποθεσία εγκατάστασης του πειραματικού καλλιέργειας αραβοσίτου. Τα πειράματα έλαβαν χώρα κατά την αρδευτική περίοδο του έτους 2001. Έγινε εγκατάσταση συστήματος στάγδην άρδευσης, μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η επίδραση του εύρους άρδευσης (2, 5 και 9 ημέρες) στην παραγωγικότητα του αραβοσίτου. Επίσης παρακολουθήθηκε και αξιολογήθηκε σε καθημερινή βάση η υγρασία του εδάφους. Το πειραματικό αποτελείτο από 3 επεμβάσεις (ήτοι εύρος άρδευσης=Ε ανά 2 {Ε2}, ανά 5 {Ε5} και ανά 9 {Ε9} ημέρες) επί 4 επαναλήψεις. Η διάταξη των επεμβάσεων δίδεται στον σχήμα 1. Κάθε τεμάχιο είχε πλάτος 10 μέτρα (κάθετα στις γραμμές σποράς) και μήκος 12 μέτρα (παράλληλα στις γραμμές σποράς). Η απόσταση μεταξύ των γραμμών του αραβοσίτου ήταν 0,75 μέτρα. Η εφαρμοζόμενη ποσότητα αρδευτικού νερού για κάθε άρδευση καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α (Evaporation pan type A), με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση. Η ανωτέρω μέθοδος το 2001 χρησιμοποιήθηκε στην Αγγλία ως μέθοδος προγραμματισμού άρδευσης σε ποσοστό περίπου 45% των αρδευόμενων εκτάσεων (εξωτερικές καλλιέργειες κι όχι θερμοκηπίου) [15]. Το ανωτέρω ποσοστό αναφέρεται σε αρδευόμενες εκτάσεις στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν επιστημονικές μέθοδοι. Έγιναν μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους καθημερινά για όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου σε βάθη 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.

Το έδαφος του πειραματικού αγρού ήταν αργιλώδες. Άμμος 28,50%, ιλύς 25,50%, άργιλος 46,00%, με υδατοϊκανότητα 31,21% ξηρού βάρους εδάφους, σημείο μόνιμης μάρανσης 17,14% ξηρού βάρους εδάφους, Φ.Ε.Β. 1,42 gr/cm^3.

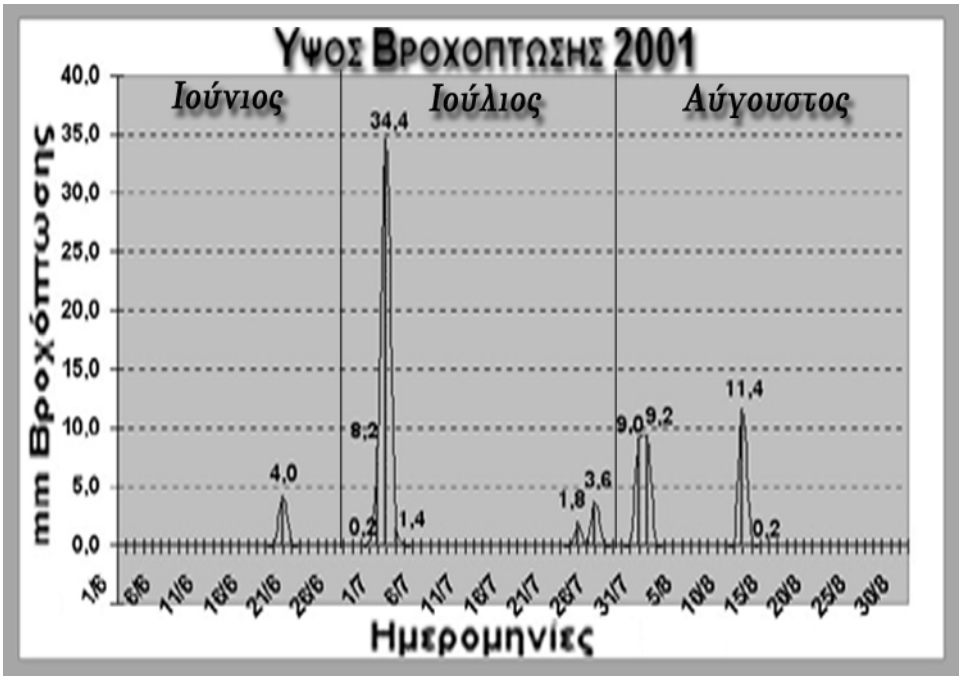


Σχήμα 3. Καμπύλες εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για τις τρεις επεμβάσεις (Ε2, Ε5 και Ε9).

Οι ανωτέρω τιμές προέκυψαν ως μέσοι όροι μετρήσεων. Η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού μετρήθηκε με Guelph Permeameter και βρέθηκε ίση με $3,0x10^{-5}$ cm/sec στα πρώτα 15 cm και $3,2x10^{-5}$ cm/sec σε βάθος 45 cm. Από τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας (μέσος όρος των μετρήσεων για τα πέντε βάθη), υπολογίστηκε σε καθημερινή βάση η εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας και δημιουργήθηκαν καμπύλες εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για κάθε συχνότητα άρδευσης (Σχήμα 3). Οι αρνητικές τιμές που εμφανίζονται στο σχήμα 3 (αντιστοιχούν σε τιμές υγρασίας μεγαλύτερων της υδατοϊκανότητας) προφανώς δεν έχουν σχέση με την εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας αλλά εμφανίζονται για να γίνει μια εκτίμηση των απωλειών νερού λόγω διήθησης. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το εύρος άρδευσης οι ανωτέρω απώλειες αυξάνονται. Επίσης πρέπει να τονίσουμε ότι κάποιες από τις αρνητικές τιμές πιθανόν να οφείλονται στις βροχοπτώσεις (Σχήμα 4). Οι ανώτατες τιμές εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας για κάθε συχνότητα άρδευσης φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Ανώτατες Τιμές εξάντλησης της Διαθέσιμης Υγρασίας.

Έτος 2001 ΕΠΕΜΒΑΣΗ	**Ανώτατες Τιμές Εξάντλησης της Διαθέσιμης Υγρασίας %**
E2	37,27
E5	59,81
E9	75,96



Σχήμα 4. Διάγραμμα βροχόπτωσης αρδευτικής περιόδου του έτους 2001.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Πίνακας 2) παρατηρούμε ότι υπάρχουν μικρές διαφορές στην παραγωγή του αραβοσίτου, για την οποία ισχύει η κάτωθι σχέση:

$$\Pi_{E2} > \Pi_{E5} > \Pi_{E9} \quad (1)$$

όπου Π_{E2}=παραγωγή επέμβασης Ε2, Π_{E5}=παραγωγή επέμβασης Ε5 και Π_{E9}=παραγωγή επέμβασης Ε9. Από την στατιστική ανάλυση όμως (Πίνακας 2) φαίνεται ότι η διαφοροποίηση του εύρους άρδευσης (ανά 2, ανά 5 και ανά 9 ημέρες) δεν επέδρασε στατιστικώς σημαντικά στην απόδοση του αραβοσίτου. Οι αποδόσεις που φαίνονται στον Πίνακα 2 αντιστοιχούν σε υγρασία 14% των κόκκων αραβοσίτου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Στατιστική Ανάλυση έτους 2001.

ΕΠΕΜΒΑΣΗ Εύρος άρδευσης (σε ημέρες)	**Αριθμός παρατη-ρήσεων**	**Τυπική απόκλιση**	**Συνολική τυπική απόκλιση**	**Μ.Ο. Παραγωγής (Kgr/στρ)**
2	4	55,7	67,1	1.619,5
5	4	44,7		1.585,4
9	4	91,8		1.546,0

Μέσο Τετράγωνο (MS)		**Τιμή F-test**	**Σημαντικότητα F-test**
Επέμβαση	5.404	1,20	0,346 Μ.Σ.
Λάθος	4.509		

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Έγιναν πειράματα κατά την αρδευτική περίοδο του έτους 2001 σε πειραματικό αγρό καλλιέργειας αραβοσίτου στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Λάρισας για να μελετηθεί η επίδραση του εύρους άρδευσης (ανά 2, ανά 5 και ανά 9 ημέρες) τόσο στην εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας όσο και στην απόδοση του αραβοσίτου. Από τα πειράματα παρατηρήθηκε μεγαλύτερη παραγωγή στην επέμβαση με εύρος ανά 2 ημέρες, ακολούθησε η παραγωγή της επέμβασης με εύρος ανά 5 ημέρες και τέλος μικρότερη ήταν η παραγωγή στην επέμβαση με εύρος ανά 9 ημέρες.

Ωστόσο από τη στατιστική ανάλυση φάνηκε ότι δεν προέκυψαν στις αποδόσεις του αραβοσίτου στατιστικώς σημαντικές διαφορές για διαφορετικό εύρος άρδευσης (ανά 2, ανά 5 και ανά 9 ημέρες).

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι στο εύρος άρδευσης των 2 ημερών (επέμβαση Ε2) έχουμε καλύτερη διαχείριση του αρδευτικού νερού (μικρότερες απώλειες λόγω διήθησης), όμως το κόστος άρδευσης ανά 2 ημέρες είναι προφανώς μεγαλύτερο από αυτό των 5 και 9 ημερών.

Τα πειράματα θα συνεχιστούν και σε επόμενες καλλιεργητικές περιόδους, ώστε να προκύψουν περισσότερα και ασφαλέστερα συμπεράσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1) Brand A., Bresler E., Diner N., Ben-Asher I., Heller J. and Goldberg D., 1971. *Infiltration from a trickle source. Mathematical models.* Soil Sci. Soc. Am. Proc., Vol 35:675-682.
2) E.S.I. Enviromental Sensors INC., 1997. *MP-917 Soil Moisture Instrument Operational Manual.* E.S.I., Canada.
3) Gill K.S., Gajri P.R., Chaudhary M.R., Baldev Singh, 1996. *Tillage, mulch and irrigation effects on corn (Zea mays L.) in relation to evaporative demand.* Soil & Tillage Research, 39:213-227.
4) Ζαρογιάννης Β., 1989. *Άρδευση γεωργικών καλλιεργειών.* Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Λάρισα, σελ.14-23.
5) Zarogiannis V., 1979. *Beregnung und Standraum bei Mais (Zea mays L.).* fur Bodenkultur, In Wien, 30(3):281-303.
6) Klapp E., 1967. *Lehrbuch des Acker - und Pflanzenbaues.* Auflage, Bone, 6.
7) Μπουντώνας Γ. και Ι. Καραλάζος, 1968. *Το καλαμπόκι στην Ελλάδα.* Ινστιτούτο Σιτηρών, Θεσσαλονίκη.
8) Musick J.T., F.B. Pringle, W.L. Harman, and B.A. Stewart, 1990. *Long-term irrigation trends: Texas High Plains*. Appl. Eng. Agric. 6:717-724.
9) Musick J.T. and D.A. Dusek, 1980. *Irrigated corn yield response to water.* Trans. ASAE 23:92-98,103.
10) Πανώρας Αθανάσιος, Γιαννακάρης Αργύρης, Λέλλιος Μιχαήλ, Dimov Stoico, Eneva Stoyanka, 1997, *Σχέση νερού-παραγωγής καλαμποκιού στις συνθήκες της πεδιάδας θεσσαλονίκης,* Υδροτεχνικά, 7:39-51.
11) Παπαζαφειρίου Ζ., 1977. *Σχεδίαση και υπολογισμός αρδευτικών συστημάτων με σταλακτήρες.* Υπουργείο Γεωργίας, Υπηρεσία Γεωργικών Ερευνών, Ινστιτούτο Έγγειων Βελτιώσεων, Θεσσαλονίκη, σελ. 58.
12) Rench W.Eugene and R.H.Shaw, 1971. *Black layer development in corn.* Agron. Journal, 63:303-305.
13) Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, Αύγουστος 2002. *Monthly statistical bulletin* vol.47 No 8, Athens.
14) Storchschnabel G., 1965. *Der Einflub des Wasserangebotszeitpunktew auf die Wurzel - und Ertragsbildung bei Kornarmais,* fur Bodenkultur, In Wien, 16(4):314-320.
15) Weatherhead, E.K. and Danert, K. , 2002.*Survey of irrigation of outdoor crops in 2001 - England.* Cranfield University, Silsoe.
16) Wooding R. A., 1968. *Steady Infiltration from a circular pond.* Water Resour. Res., Vol 4:1259-1273.

ΣΧΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Δ. Καλφούντζος, Ι. Αλεξίου, Π. Βύρλας, Σ. Κωτσόπουλος και Γ. Ζέρβα

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας,
Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας,
Θεοφράστου 1, Λάρισα 413 35, e-mail: iscml@bee.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή και η ποιότητα του τελικού προϊόντος στο βαμβάκι είναι άρρηκτα συνδεδεμένες. Η επάρκεια νερού, θρεπτικών συστατικών και η ηλιοφάνεια είναι οι απαραίτητοι παράγοντες για την ανάπτυξη του καρυδιού και την σύνθεση της κυτταρίνης. Σ' ένα κρίσιμο διάστημα η ανάπτυξη του μήκους και η αντοχή της ίνας εξαρτώνται από το διαθέσιμο νερό. Η παρούσα εργασία διερευνά τις σχέσεις αρδευτικού νερού και ποιοτικών χαρακτηριστικών βαμβακιού. Από τα πειραματικά δεδομένα προκύπτει θετική συσχέτιση του αρδευτικού νερού με μερικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν στη βέλτιστη χρήση του αρδευτικού νερού.

Λέξεις κλειδιά: βαμβάκι, μήκος ίνας, ομοιομορφία, αντοχή, επιμήκυνση, λεπτότητα – ωριμότητα.

WATER – COTTON FIBRE QUALITY RELATIONSHIPS

D. Kalfountzos, J. Alexiou, P. Vyrlas, S. Kotsopoulos and G. Zerva

National Agricultural Research Foundation
Institute of Soil Classification and Mapping of Larisa
Theofrastou 1, Larissa, 41335, GREECE

ABSTRACT

Cotton yield and fibre quality are closely related parameters. Adequate water, fertilizers, and sunshine are prerequisites for the optimal development of the bolls and the composition of cellulose. During a critical period of crop growth both the fibre length and strength depend on the availability of water. The present work examines the relationships between the irrigation water and the quality characteristics of cotton fibres. The experimental results show that some fibre quality characteristics are positively related to the applied water. These results may be utilised for the optimal use of the available irrigation water.

Keywords: cotton, fibre length, uniformity, strength, elongation, micronair

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξάρτηση της γεωργικής παραγωγής από το νερό είναι εμφανής και καταγραμμένη με τη μορφή εξισώσεων σε πλήθος ερευνητικών εργασιών [5, 7, 13, 9]. Πολλές από τις εξισώσεις αυτές ή είναι γενικές ή αναφέρονται σε ορισμένες περιοχές και καλλιέργειες. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις η διαπνοή ή η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά τα διάφορα στάδια ανάπτυξής της συσχετίζεται με την παραγωγή [1, 4]. Μια τέτοια αντιμετώπιση ενώ θεωρείται περισσότερο αξιόπιστη εν τούτοις είναι πρακτικά δυσχερής γιατί η υλοποίησή της απαιτεί τη χρήση πληθώρας κλιματικών και άλλων παραμέτρων. Για καθορισμένες όμως περιοχές και συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες σχέσεις νερού και ποιότητας βαμβακιού μπορούν να αξιοποιηθούν εύκολα και αποτελεσματικά για τη διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Ο όρος ποιότητα έχει διαφορετική έννοια για κάθε έναν που ενδιαφέρεται για το προϊόν που λέγεται βαμβάκι και καθένας το εκτιμά με το δικό του τρόπο [2, 8]. Τον έμπορο ενδιαφέρει το κιτίο (χρώμα, ξένες ύλες και εμφάνιση), το μήκος και πρόσφατα το Micronair, διότι αυτά καθορίζουν την τιμή του προϊόντος. Τον κλώστη ενδιαφέρουν και άλλα χαρακτηριστικά των ινών που σχετίζονται με την κλωσιμότητά τους και την ποιότητα των παραγομένων προϊόντων. Χαρακτηριστικά, όπως το μήκος η ομοιομορφία, η αντοχή η λεπτότητα, ή ωριμότητα, το ποσοστό κοντών ινών και ο ορισμός των neps επηρεάζουν την παραγωγική διαδικασία και γενικά την ποιότητα του βαμβακιού.

Η υψηλή παραγωγικότητα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για ένα σύγχρονο κλωστήριο για να είναι αποδοτικό, απαιτεί όμως προϊόν υψηλής ποιότητας, διότι οι μεγάλες ταχύτητες ταλαιπωρούν τις ίνες και ένα χαμηλής ποιότητας βαμβάκι υποβαθμίζεται περισσότερο. Οι αυξημένες απαιτήσεις των καταναλωτών για διάρκεια κι εμφάνιση μεταφράζονται σε νέες απαιτήσεις ως προς την ποιότητα του βαμβακιού. Το βαμβάκι πρέπει να έχει ένα ικανοποιητικό επίπεδο μήκους, αντοχής ελαστικότητας κλπ., ώστε να αντέξει στη βιομηχανοποίηση και να δώσει προϊόν ανθεκτικό και ελκυστικό. Κατά συνέπεια ποιότητα του βαμβακιού, παραγωγικότητα και ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι άρρηκτα συνδεδεμένα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του βαμβακιού διακρίνονται σε εσωγενείς και εξωγενείς. Στους πρώτους ανήκει η ποικιλία, στους δεύτερους το περιβάλλον και η διαχείριση. Η ποικιλία και η επιλογή της, είναι το πρώτο βήμα στην παραγωγή υψηλής ποιότητας βαμβακιού [8]. Η γενετική σύνθεση της ποικιλίας και η φυσιολογική λειτουργία της ανάπτυξης των ινών στο φυτό καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά προτού ακόμα ανοίξει το καρύδι. Η τελική διαμόρφωση των χαρακτηριστικών των ινών είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ ποικιλίας και περιβάλλοντος [11].

Οι ίνες του βαμβακιού αναπτύσσονται στην επιφάνεια του σπόρου, η ανάπτυξή τους δε αρχίζει με την άνθησή του και είναι αποτέλεσμα της δράσης των ορμονών. Οι ίνες μεγαλώνουν σε μήκος για 20-25 ημέρες, ανάλογα με την ποικιλία και στη συνέχεια αρχίζει η ωρίμανσή τους που διαρκεί 40-65 ημέρες ανάλογα με την ποικιλία αλλά και την εποχή που αναπτύσσεται το καρύδι. Το διάστημα των 25 ημερών είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη του μήκους που εξαρτάται από το διαθέσιμο νερό. Αυτό το διάστημα το φυτό πρέπει να έχει στη διάθεση του άφθονο νερό. Από την 25^{η} ημέρα αρχίζει η πάχυνση της ίνας, που γίνεται με αλλεπάλληλα στρώματα κυτταρίνης νύχτα και ημέρα. Επάρκεια νερού, θρεπτικών συστατικών και ηλιοφάνεια είναι απαραίτητοι παράγοντες για κανονική πάχυνση. Σημαντικό επίσης είναι οι θερμοκρασίες να είναι κατάλληλες για τη σύνθεση κυτταρίνης δηλ. η νυχτερινή μεταξύ 19-20 ^{o}C και η ημερήσια πάνω από 29 ^{o}C [10]. Αν οι αρδεύσεις σταματήσουν νωρίς για να αναγκασθούν τα καρύδια ν'

ανοίξουν και αν η αποφύλλωση γίνει επίσης νωρίς τα φυτά δεν μπορούν να συνθέσουν κυτταρίνη με αποτέλεσμα να έχουμε ανώριμες ίνες και χαμηλό Micronaire. Διαταραχές στην φυσιολογία του φυτού από διάφορα αίτια συντελούν στη δημιουργία ανωμάλων ινών που επηρεάζουν αρνητικά την αντοχή.

Τα βασικότερα τεχνολογικά χαρακτηριστικά, που προσδιορίζουν την ποιότητα του σύσπορου βαμβακιού είναι:

α. Μήκος ινών:

Μήκος του 2,5 % των ινών που είναι το ελάχιστο μήκος σε χιλιοστά που μπορεί να έχει το 2,5 % των ινών του δείγματος

Μήκος του 50 % των ινών που είναι το ελάχιστο μήκος σε χιλιοστά που μπορεί να έχει το 50 % των ινών του δείγματος.

Οι ελληνικές ποικιλίες έχουν μήκος μεταξύ 25 και 30 χιλιοστά.

β. Ομοιομορφία του μήκους των ινών:

Είναι η σχέση μεταξύ του μήκους του 50% των ινών, προς το μήκος του 2,5% και εκφράζει πόσο ομοιόμορφες, ως προς το μήκος τους είναι οι ίνες του βαμβακιού σε μια δέσμη.

γ. Αντοχή των ινών

Με τον όρο αυτό προσδιορίζεται η αντοχή δέσμης ινών κατά την θραύση και εκφράζεται σε γραμμάρια ανά Tex.

δ. Επιμήκυνση

Ορίζεται σαν η μεταβολή μήκους δέσμης ινών κατά την στιγμή της θραύσης και εκφράζεται % του αρχικού μήκους της.

ε. Λεπτότητα –Ωριμότητα

Η λεπτότητα αναφέρεται στην διάμετρο ή περίμετρο των ινών και η ωριμότητα στο πάχος του δευτερογενούς τοιχώματος. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά εκφράζονται μαζί σαν δείκτης Micronair

Στην περιοχή της Θεσσαλίας μεγάλες εκτάσεις καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες βαμβακιού που αντιμετωπίζουν, όπως και οι άλλες καλλιέργειες, κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο ή και Σεπτέμβριο προβλήματα λειψυδρίας λόγω της εντατικοποίησης των αρδεύσεων και της υπερεκμετάλλευσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών.

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος "Υπολογισμός αναγκών σε νερό άρδευσης ορισμένων καλλιεργειών'' που χρηματοδοτήθηκε από το Β' Κ.Π.Σ. 1994-99, εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός βαμβακιού στη Λάρισα (αγρόκτημα ΙΚΦΒ) με στόχο τη διερεύνηση των σχέσεων νερού και παραγωγής βαμβακιού. Η άρδευση της καλλιέργειας γίνονταν με αυτοπροωθούμενο εκτοξευτήρα τύπου κανόνι με βασική επιδίωξη την ελεγχόμενα άνιση εφαρμογή του αρδευτικού νερού στα διάφορα πειραματικά τεμάχια μέσω ασύμμετρης γωνίας λειτουργίας του εκτοξευτήρα [10] που συνεπάγεται τελικά και διαφοροποίηση της παραγωγής του βαμβακιού.

Η παρούσα εργασία διερευνά τις σχέσεις νερού και ποιότητας βαμβακιού στο Ν. Λάρισας με βάση τα αποτελέσματα βροχομετρίας του αυτοπροωθούμενου εκτοξευτήρα και τα μετεωρολογικά δεδομένα από τον εγκατεστημένο μετεωρολογικό σταθμό του Υπ. Γεωργίας με αντικειμενικό σκοπό τη βέλτιστη αξιοποίηση του αρδευτικού νερού.

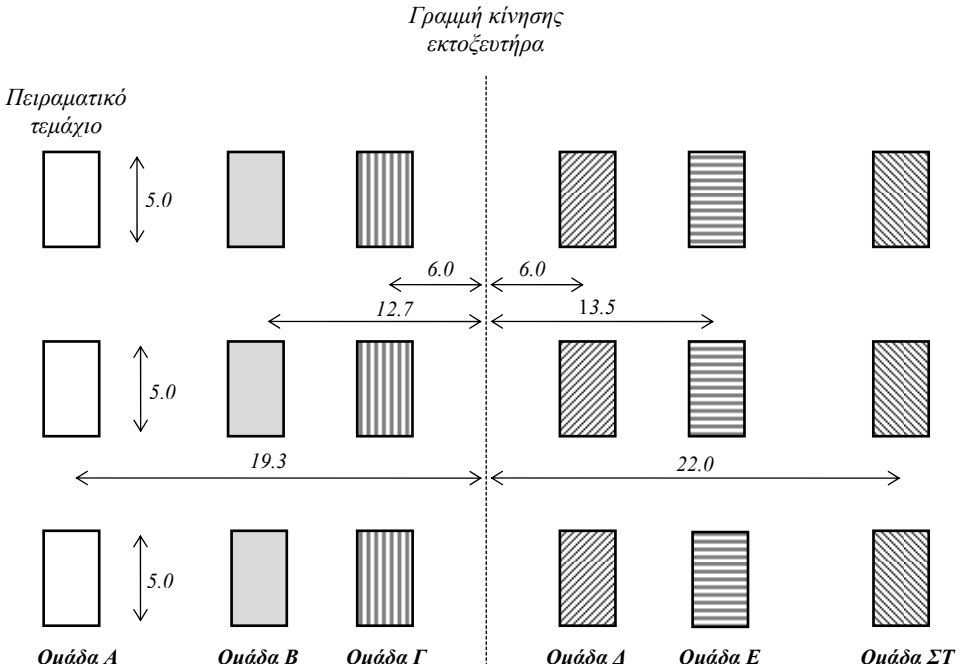
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την υλοποίηση του ερευνητικού προγράμματος "Υπολογισμός αναγκών σε νερό άρδευσης ορισμένων καλλιεργειών'' εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός βαμβακιού στη Λάρισα (αγρόκτημα ΙΚΦΒ) που αρδεύεται με αυτοκινούμενο εκτοξευτήρα

ασύμμετρης γωνίας λειτουργίας για την επίτευξη ελεγχόμενα άνισης εφαρμογής του αρδευτικού νερού [10] στα διάφορα πειραματικά τεμάχια (Σχήμα 1).

Με βάση τον αρχικό σχεδιασμό για την εφαρμογή των αρδεύσεων λαμβάνονται υπόψη εδαφολογικά στοιχεία (FC, PWP, διηθητικότητα) και χαρακτηριστικά λειτουργίας του εκτοξευτήρα (κατασκευαστικά και μετρήσεις βροχομετρίας από στατικό εκτοξευτήρα). Παράλληλα, καθ΄ όλη την καλλιεργητική περίοδο διενεργούνται σε επιλεγμένες θέσεις μετρήσεις εδαφικής υγρασίας και βροχομετρίας του αυτοκινούμενου εκτοξευτήρα σε κάθε άρδευση.

Η εφαρμογή των αρδεύσεων ακολουθεί την εφαρμοζόμενη στην περιοχή πρακτική και διενεργείται όταν έχει εξαντληθεί από το βάθος του ριζοστρώματος ποσότητα νερού περίπου ίση με την ωφέλιμη υγρασία [12] στα πλέον αρδευόμενα πειραματικά τεμάχια. Έτσι, από τη λειτουργία των εκτοξευτήρων υπάρχουν τμήματα των δύο πειραματικών αγρών που αρδεύονται επαρκώς έως καθόλου.



Σχήμα 1. Σχηματική διάταξη πειραματικών τεμαχίων καλλιέργειας βαμβακιού αγροκτήματος Λάρισας

Η παραγωγή συλλέχθηκε και ζυγίστηκε ανά σειρά χωριστά στα διάφορα πειραματικά τεμάχια του πειραματικού αγρού. Κάθε πειραματικό τεμάχιο περιλαμβάνει τρεις σειρές βαμβακιού σε αποστάσεις 95 cm μεταξύ τους και μήκους 5.0 m. Υπάρχουν έξι τέτοια τεμάχια για τον πειραματικό αγρό, ενώ γίνονται τρεις επαναλήψεις (Σχήμα 1) στις θέσεις που θεωρητικά αναμένεται η εφαρμογή ίδιων ποσοτήτων νερού. Για κάθε πειραματικό τεμάχιο και κάθε επανάληψη εξετάστηκαν τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού που αναφέρονται στους Πίνακες 1 και 2. Ο προσδιορισμός των

παραμέτρων έγινε στο εργαστήριο της κλωστοϋφαντουργίας «ΕΠΙΛΕΚΤΟΣ» η οποία διαθέτει τη συσκευή HVI (High Volume Instrument).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών του βαμβακιού αναφέρονται στα έτη 1998 και 1999. Τα αποτελέσματα της συνολικά μετρημένης ποσότητας νερού (αθροιστική βροχομέτρηση εκτοξευτήρα) καθώς οι μέσοι όροι των επαναλήψεων της παραγωγής βαμβακιού για κάθε επίπεδο άρδευσης και οι μέσοι όροι (ΜΟ) του κάθε ποιοτικού χαρακτηριστικού με την τυπική του απόκλιση (STD) και το συντελεστή παραλλακτικότητας (CV) των επαναλήψεων παρουσιάζονται στους πίνακες 1 και 2. Η τιμή της κάθε παραμέτρου σε κάθε επανάληψη είναι ο μέσος όρος πέντε μετρήσεων του κάθε δείγματος. Στις γραμμές ΜΟ των πινάκων 1 και 2, οι ΜΟ που συνοδεύονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 όπως προέκυψε από την εφαρμογή της δοκιμής Duncan για την σύγκριση των μέσων όρων [3]. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα (α) του σχήματος 2, το μήκος της ίνας παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τα επίπεδα του νερού άρδευσης. Από τους πίνακες 1 και 2 φαίνεται ότι οι ΜΟ. του μήκους της ίνας παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων νερού. Το μήκος της ίνας έφθασε το μήκος που χαρακτηρίζει τις ποικιλίες (28,3 για την Corina και 28,5 για την Lansata) [8], μόνο όταν το νερό άρδευσης ικανοποιούσε τις ανάγκες της καλλιέργειας. Η ομοιομορφία η αντοχή και η επιμήκυνση δεν παρουσιάζουν κάποια σχέση με τα επίπεδα άρδευσης και για τα δύο χρόνια πειραματισμού όπως δείχνουν τα διαγράμματα β, γ και δ του σχήματος 2. Όσον αφορά τους δείκτες Micronair παρατηρείται αρνητική συσχέτιση με τα επίπεδα νερού για το έτος 1998 όπως φαίνεται στο διάγραμμα ε του σχήματος 2, ενώ δεν ισχύει το ίδιο για το έτος 1999. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [1] οι δείκτες Micronair σχετίζονται θετικά με το νερό άρδευσης. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται και στα χαρακτηριστικά της ποικιλίας Corina η οποία έχει χαμηλούς δείκτες Micronair.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των δεδομένων δύο ετών που αφορούν στην μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του βαμβακιού στην περιοχή της Λάρισας προκύπτει ότι :

Το μήκος της ίνας, η σπουδαιότερη παράμετρος που προσδιορίζει την ποιότητα του βαμβακιού επηρεάζεται από το διαθέσιμο στην καλλιέργεια νερό καθ΄ όλη τη βλαστική περίοδο. Για τον λόγο αυτό η καλλιέργεια βαμβακιού πρέπει να γίνεται σε περιοχές με επάρκεια αρδευτικού νερού ώστε το παραγόμενο προϊόν να είναι καλής ποιότητας.

Οι άλλες παράμετροι με εξαίρεση το micronair δεν φαίνεται να επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τα διάφορα επίπεδα άρδευσης. Ως προς τους δείκτες λεπτότητας και ωριμότητας (micronair), όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία θα περίμενε κάποιος να υπάρχει θετική συσχέτιση, τα αποτελέσματα έδειξαν για το έτος 1998 αρνητική συσχέτιση ως προς το επίπεδο άρδευσης ενώ για το έτος 1999 φαίνονται ασυσχέτιστα.

Χρειάζονται ακόμη αρκετός πειραματισμός τουλάχιστον στις πλέον διαδεδομένες ποικιλίες βαμβακιού της χώρας για να γενικευτούν τα συμπεράσματα, ώστε να καταστεί δυνατή η σύνδεση της τιμής του βαμβακιού με την ποιότητα.

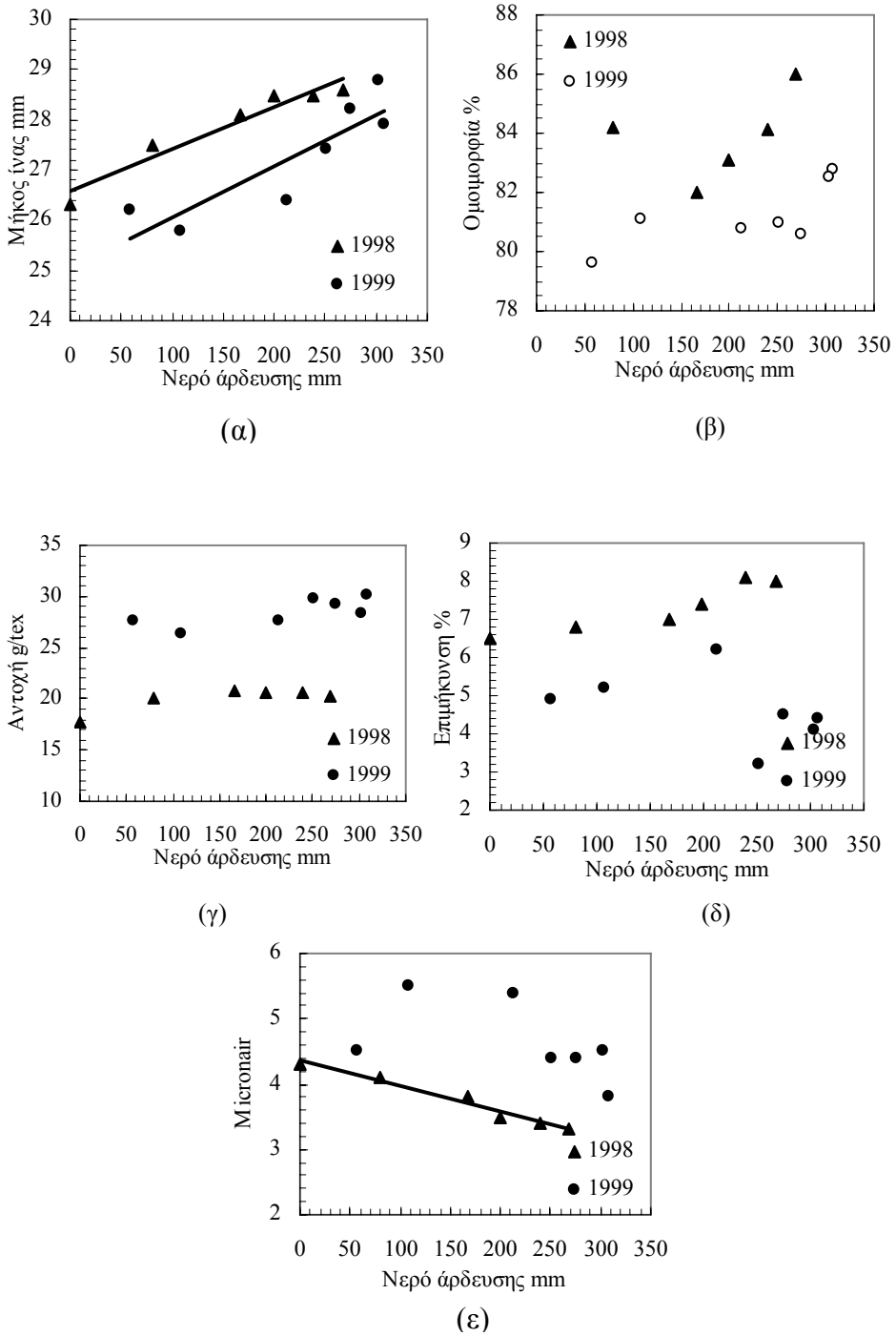
Πίνακας 1. Στατιστική ανάλυση (Duncan test) ποιοτικών χαρακτηριστικών βαμβακιού (ποικιλία Corina) κατά επίπεδο άρδευσης για το έτος 1998.

		Επίπεδα άρδευσης					
Ύψος άρδευσης mm		0	80	167	199	239	268
Παραγωγή Kgr/στρ.	MO	122	207	276	270	330	320
Μήκος ίνας mm	MO	26,3[a]	27,5[b]	28,1[bc]	28,5[c]	28,5[c]	28,6[c]
	STD	0,7	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2
	CV	2,6	0,9	0,7	1,1	1,2	0,7
Ομοιομορφία %	MO	84,2[ab]	84,1[ab]	86,0[b]	82,0[a]	83,1[a]	81,8[a]
	STD	1,4	1,0	0,4	0,6	2,4	0,6
	CV	1,7	1,2	0,4	0,8	2,9	0,7
Αντοχή	MO	17,8[a]	20,0[b]	20,8[b]	20,7[b]	20,7[b]	20,3[b]
	STD	0,9	0,3	0,7	0,7	0,6	0,2
	CV	4,8	1,7	3,3	3,2	3,0	0,7
Επιμήκυνση	MO	6,5[a]	6,8[a]	7,0[ab]	7,4[b]	8,1[c]	8,0[c]
	STD	0,1	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
	CV	1,1	3,9	5,9	3,4	3,5	3,2
Micronair	MO	4,3[c]	4,1[c]	3,8[b]	3,5[a]	3,4[a]	3,3[a]
	STD	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
	CV	3,6	4,1	2,6	1,6	3,7	2,2

Πίνακας 2**.** Στατιστική ανάλυση (Duncan test) ποιοτικών χαρακτηριστικών βαμβακιού (ποικιλία Lansata) κατά επίπεδο άρδευσης για το έτος 1999.

		Επίπεδα άρδευσης						
Ύψος άρδευσης mm		58	108	213	251	275	303	308
Παραγωγή Kgr/στρ.	MO	131	256	298	361	327	369	403
Μήκος ίνας mm	MO	26,2[a]	26,4[a]	25,8b[a]	27,4[ab]	27,8[c]	28,8[c]	27,9[c]
	STD	1,2	0,9	1,3	1,0	1,2	0,7	1,1
	CV	2,6	3,2	5,0	3,5	4,1	2,3	4,0
Ομοιομορφία %	MO	81,0[a]	79,6[ab]	80,8[ab]	81,0[ab]	80,6[b]	82,5[b]	82,8[ab]
	STD	81,1	82,3	81,0	81,1	85,7	82,7	81,7
	CV	79,2	81,8	82,0	81,1	83,0	82,9	81,2
Αντοχή	MO	27,6[a]	26,3[a]	27,7[a]	29,7[a]	29,3[a]	28,4[a]	30,1[a]
	STD	0,9	2,1	0,4	1,5	2,6	2,1	1,0
	CV	3,1	8,1	1,3	5,0	8,7	7,5	3,4
Επιμήκυνση	MO	4,9[ab]	5,2[ab]	6,2[a]	3,2[a]	4,5[ab]	4,1[ab]	4,4[ab]
	STD	1,1	1,7	0,6	0,1	0,9	1,3	1,2
	CV	22,1	32,1	8,9	1,8	20,5	31,9	26,5
Micronair	MO	4,5[abc]	5,5[c]	5,1[bc]	4,4[ab]	4,4[ab]	4,5[abc]	3,8[a]
	STD	0,4	0,6	0,4	0,8	0,5	0,7	0,5
	CV	7,9	10,9	8,1	18,4	10,4	15,9	12,9

όπου (STD), η τυπική απόκλιση και (CV), ο συντελεστής παραλλακτικότητας των επαναλήψεων
[abc] μέσοι όροι που συνδέονται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά, (P=0,05)



Σχήμα 2. Σχέσεις νερού άρδευσης και ποιοτικών χαρακτηριστικών βαμβακιού

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά την επιχείρηση «ΕΠΙΛΕΚΤΟΣ ΑΕ» για τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων των δειγμάτων βαμβακιού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αλεξίου Ι., Κωτσόπουλος Σ., Καλφούντζος Δ., και Βύρλας Π., 2000. Εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής μέσω συναρτήσεων διαθεσιμότητας της εδαφικής υγρασίας. *8ο Πανελλήνιο Συνέδριο, Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης,* Αθήνα, Πρακτικά , 493-500.
2. Bradow, M. J. and Davidonis, H. G., 2000. Quantitation of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist's perspective**.** *J. Cotton Science* 4:34-64.
3. Chatfield C. 1983. *Statistics for Technology,* Chapman and Hall, London, 380p.
4. Doorenbos, J. and Pruitt W. O. 1977. *Crop Water Requirements***.** FAO Irrigation and Drainage Paper No 24. 144 p.
5. Doorenbos, J. and Kassam, A. H., 1979. *Yield Response to Water***,** FAO Irrigation and Drainage Paper No 33. 193 p.
6. Gipson, J. R. and Ray, L. L., 1970. Temperature-variety interrelationships in cotton. I. Boll and fiber development. Cotton Growers Rev. 47:257-271.
7. Hexen, R. W. and Heady E. O., 1978. *Water Production Functions in Irrigated Agriculture,* The Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa.
8. Κεχαγιά Ο., 2000. Ποιότητα βαμβακιού. *Βήμα Γεωπονικού Συλλόγου Λάρισας*. Α.Φ. 7. 73-78.
9. Κωτσόπουλος Σ., Αλεξιου Ι., Καλφούντζος Δ. και Βύρλας Π. 1999. Σχέσεις νερού και παραγωγής βαμβακιού σε περιοχές της Θεσσαλίας. *4ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ* Βόλος, Πρακτικά Τεύχος Α', 177-182.
10. Λουϊζάκης Α. Δ., 1996. Άρδευση με μετακινούμενο εκτοξευτήρα. *Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου ΓΕΩΤΕΕ Κ. Ελλάδας ''Εγγειοβελτιωτικά Έργα - Διαχείριση Υδατικών Πόρων - Εκμηχάνιση Γεωργίας'',* Λάρισα 24-27 Απριλίου 1996, 298-306.
11. Panoras, A., Kexagia, O., Xanthopoulos, F., Doitsidis, A., Samaras, I., and Zdragas, A. 2001 Cotton irrigation with reclaimed municipal wastewater. *Proc. of the Inter-Regional Research Network Meeting of Cotton Conference. Chania Greece.*
12. Παπαζαφειρίου Ζ. Γ. 1984. *Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων***,** Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
13. Stewart, J. R. and Hagan, R. M., 1973. Functions to predict effects of crop water deficits. *J. Irrig. and Drain. Engng, ASCE,* 99 pp 421-439.

Γεωργικά Μηχανήματα

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΜΕ ΑΒΑΘΗ ΣΤΕΛΕΧΗ

Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Δ. Παπαμιχαήλ, Θ.Α. Γέμτος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Φυτόκο, 38446 Ν.Ιωνία Μαγνησίας. E-mail ipapathan@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της ανάπτυξης του βαμβακιού, όταν για την κατεργασία του εδάφους χρησιμοποιείται υπεδαφοκαλλιεργητής σε συνδυασμό με αβαθή στελέχη. Δοκιμάστηκαν πέντε διαφορετικοί σχεδιασμοί υπεδαφοκαλλιεργητή ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκε κατεργασία και με τη χρήση αρότρου. Η χρήση υπεδαφοκαλλιεργητή απαίτησε κατά 50% μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με το άροτρο, ενώ περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας παρατηρήθηκε όταν χρησιμοποιήθηκαν και αβαθή στελέχη στον υπεδαφοκαλλιεργητή. Η εξέλιξη της καλλιέργειας βαμβακιού ήταν παρόμοια για όλα τα πειραματικά τεμάχια όπως και ο έλεγχος των ζιζανίων.

Λέξεις κλειδιά: Υπεδαφοκαλλιεργητής, αβαθή στελέχη, κατανάλωση ενέργειας, ανάπτυξη βαμβακιού, έλεγχος ζιζανίων

COTTON GROWTH UNDER CULTIVATION WITH A SUBSOILER WITH SHALLOWER TINES

I. Papathanassiou, Chr. Karamoutis, Chr. Kavalaris, D. Papamichail T.A.Gemtos

University of Thessaly, School of Agricultural sciences, Lab. of Farm Mechanization, Fytoko, 38446 N. Ionia Magnisias. E-mail ipapathan@agr.uth.gr

ABSTRACT

The aim of this work was the study of cotton growth after the cultivation with a combination of a subsoiler with shallower tines. Five different combinations of a subsoiler were tested and some experiment fields were ploughed. Conducted tests showed that experiment fields which were cultivated with the subsoiler required less energy consumption (up to 50%). Furthermore, mounting shallower tines, energy consumption decreased more. Cotton growth was the same for all the experiment fields as well the weed control.

Key words: Subsoiler, Shallower tines, energy consumption, cotton growth, weed control

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βαμβάκι αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες στην Ελλάδα καθώς και στις υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου. Η εφαρμοζόμενη σήμερα καλλιεργητική τεχνική των Ελλήνων αγροτών είναι η άροση το Φθινόπωρο και η προετοιμασία της σποροκλίνης την Άνοιξη με δισκοσβάρνες, ελαφρείς καλλιεργητές προετοιμασίας ή περιστροφικούς καλλιεργητές. Η ανάγκη για καλύτερη διαχείριση του εδάφους καθώς και της καταναλισκόμενης ενέργειας οδήγησε στην διερεύνηση άλλων μεθόδων κατεργασίας [1]. Επιπροσθέτως η σημερινή κατάσταση της καλλιέργειας του βαμβακιού στην Ελλάδα κάνει επιτακτική την ανάγκη μείωσης του κόστους παραγωγής και αύξησης της ανταγωνιστικότητάς του σε παγκόσμιο επίπεδο.

Μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούνται κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου καταναλώνονται στο στάδιο της προετοιμασίας του εδάφους. Η τάση της σύγχρονης γεωργίας είναι η αντικατάσταση της παραδοσιακής μεθόδου προετοιμασίας του εδάφους με άλλες λιγότερο απαιτητικές σε ενέργεια ή και πλήρης ακαλλιέργεια του εδάφους [1]. Η αντικατάσταση της χρήσης του αρότρου από έναν υπεδαφοκαλλιεργητή είναι δυνατό να περιορίσει την κατανάλωση ενέργειας χωρίς να υποβαθμιστεί η ποιότητα αναμόχλευσης που επιτυγχάνεται στο έδαφος [2], [3]. Η εξασφάλιση ικανοποιητικού βαθμού αναμόχλευσης του εδάφους με τη χρήση υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να εγγυηθεί για την κανονική απόδοση της καλλιέργειας βαμβακιού. Επιπρόσθετα αν η χρήση υπεδαφοκαλλιεργητή συνδυαστεί και με επαρκή έλεγχο των ζιζανίων τότε η αντικατάσταση του αρότρου για την πρωτογενή κατεργασία του εδάφους μπορεί να είναι πλήρης. Στη συνέχεια για τη δευτερογενή κατεργασία του εδάφους μπορούν να εξακολουθήσουν να χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και σήμερα στη γεωργική πράξη (ελαφρείς καλλιεργητές, δισκοσβάρνες, περιστροφικοί καλλιεργητές). Η κατανάλωση ενέργειας καθώς και η ποιότητα εργασίας των υπεδαφοκαλλιεργητών επηρεάζεται σημαντικά από το σχεδιασμό τους. Περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με απλό επανασχεδιασμό των τμημάτων από τα οποία αποτελούνται ή με προσθήκη και άλλων. Η προσθήκη αβαθών βοηθητικών στελεχών που προηγούνται των κύριων στελεχών ενός υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 15% καθώς και σε ποιοτικότερη αναμόχλευση του εδάφους [4], [5]. Επομένως γίνεται επιτακτική η ανάγκη εύρεσης του ικανοποιητικού σχεδιασμού ενός υπεδαφοκαλλιεργητή που θα αντικαταστήσει το άροτρο στην πρωτογενή κατεργασία του εδάφους και θα περιορίσει το κόστος παραγωγής ενώ παράλληλα θα εξασφαλίζει την κανονική ανάπτυξη της καλλιέργειας βαμβακιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η συγκεκριμένη εργασία περιελάμβανε τη χρήση διάφορων σχεδιασμών ενός υπεδαφοκαλλιεργητή για την πρωτογενή κατεργασία του εδάφους σε σύγκριση με την παραδοσιακή μέθοδο της άροσης. Σε ένα πείραμα που πραγματοποιήθηκε το 2001 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Σχήμα 1) πλήρως τυχαιοποιημένο με τέσσερις επαναλήψεις πραγματοποιήθηκαν κατεργασίες του εδάφους με πέντε διαφορετικούς σχεδιασμούς ενός υπεδαφοκαλλιεργητή σε σύγκριση με τη χρήση αρότρου. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε έκταση 60 m^2 (4X15 m).

ΑΡΟΤΡΟ	ΒΚ60	ΒΚ80ΣΤ2
ΒΚ80ΣΤ1	ΒΚ60ΣΤ1	ΒΚ80ΣΤ1
ΒΚ60	ΑΡΟΤΡΟ	ΒΚ80ΣΤ2
ΒΚ60ΣΤ2	ΑΡΟΤΡΟ	ΒΚ60
ΒΚ60ΣΤ1	ΒΚ60ΣΤ2	ΒΚ80ΣΤ2
ΒΚ60ΣΤ1	ΒΚ60	ΒΚ80ΣΤ1
ΑΡΟΤΡΟ	ΒΚ80ΣΤ2	ΒΚ60ΣΤ2
ΒΚ60ΣΤ2	ΒΚ80ΣΤ1	ΒΚ60ΣΤ1

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΒΚ60: Υπεδαφο καλλιεργητής με απόσταση κύριων στελεχών 60 cm χωρίς αβαθή στελέχη.
ΒΚ60ΣΤ1: Υπεδαφο καλλιεργητής με απόσταση κύριων στελεχών 60 cm και απόσταση αβαθών 40 cm.
ΒΚ60ΣΤ2: Υπεδαφο καλλιεργητής με απόσταση κύριων στελεχών 60 cm και απόσταση αβαθών 20 cm.
ΒΚ80ΣΤ1: Υπεδαφο καλλιεργητής με απόσταση κύριων στελεχών 80 cm και απόσταση αβαθών 40 cm.
ΒΚ80ΣΤ2: Υπεδαφο καλλιεργητής με απόσταση κύριων στελεχών 80 cm και απόσταση αβαθών 20 cm.

Σχήμα 1. Σχέδιο πειράματος

Οι διαφορετικοί σχεδιασμοί του υπεδαφοκαλλιεργητή προέκυψαν είτε από τη προσθήκη αβαθών στελεχών που προηγούνταν των κύριων είτε με αύξηση της απόστασης των δευτέρων μεταξύ τους (Πίνακας 1). Στο μέσο του χειμώνα πραγματοποιήθηκαν οι κατεργασίες με τους διάφορους σχεδιασμούς του υπεδαφοκαλλιεργητή με ταυτόχρονη δυναμομέτρηση και επομένως εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών τους. Η κατεργασία με κάθε σχεδιασμό του υπεδαφοκαλλιερητή πραγματοποιήθηκε στο ίδιο βάθος (40 cm), με την ίδια ταχύτητα καθώς και την ίδια μέρα, ώστε να υπάρχει πλήρης σύγκριση μεταξύ τους. Η σταθερότητα του βάθους κατεργασίας επιτεύχθηκε με τη χρήση τροχών εδάφους που κρατούσαν σταθερή τη θέση του υπεδαφοκαλλιεργητή. Για τη μέτρηση της καταναλισκόμενης ενέργειας για την κατεργασία των πειραματικών τεμαχίων που κατεργάστηκαν με τον υπεδαφοκαλλιεργητή χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας με αισθητήρια μέτρησης των παραμέτρων λειτουργίας του [6]. Οι παράμετροι που μετρούνταν ήταν η απαιτούμενη ελκτική δύναμη για κάθε πέρασμα, η ταχύτητα με την οποία πραγματοποιούνταν, το βάθος κατεργασίας και η κατανάλωση καυσίμου. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε κατεργασία σε τέσσερα πειραματικά τεμάχια με άροτρο, επίσης την ίδια μέρα και εκτιμήθηκαν επίσης οι ενεργειακές ανάγκες για την πραγματοποίηση της κατεργασίας [6]. Κατά την έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου εκτιμήθηκε ο βαθμός αναμόχλευσης που επιτεύχθηκε σε όλα τα πειραματικά τεμάχια με μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση κώνου, με χρήση ηλεκτρονικού διεισδυσίμετρου [7].

Πραγματοποιούνταν είκοσι μετρήσεις αντίστασης στη διείσδυση σε κάθε πειραματικό τεμάχιο το οποίο κατεργάστηκε με κάθε εναλλακτικό σχεδιασμό του υπεδαφοκαλλιεργητή και άροτρο από τις οποίες χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος. Την Άνοιξη πραγματοποιήθηκε σε όλα τα τεμάχια προετοιμασία της σποροκλίνης με περιστροφικό καλλιεργητή και ακολούθησε η σπορά του βαμβακιού. Στη συνέχεια και για όλη την καλλιεργητική περίοδο οι υπόλοιπες εισροές (λίπανση, ζιζανιοκτονία, άρδευση) ήταν ίδιες, σε όλα τα πειραματικά τεμάχια ώστε τα αποτελέσματα της καλλιέργειας να είναι συγκρίσιμα.

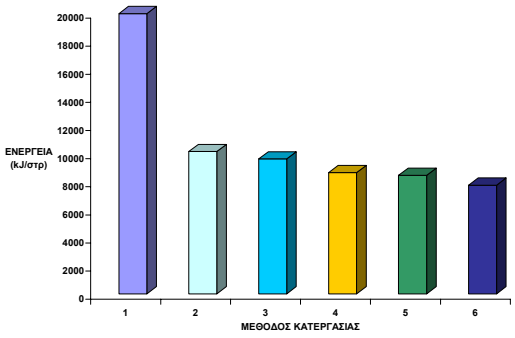
Πίνακας 1. Μέθοδοι κατεργασίας των πειραματικών τεμαχίων.

	Μέθοδος κατεργασίας	Απόσταση κύριων στελεχών (cm)	Απόσταση αβαθών στελεχών μεταξύ τους (cm)
1	Άροτρο	-	-
2	Υπεδαφοκαλλιεργητής	60	(χωρίς στελέχη)
3	Υπεδαφοκαλλιεργητής	60	40
4	Υπεδαφοκαλλιεργητής	60	20
5	Υπεδαφοκαλλιεργητής	80	40
6	Υπεδαφοκαλλιεργητής	80	20

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της προόδου του φυτρώματος των φυτών βαμβακιού καθώς και της ανάπτυξής τους σε όλη την καλλιεργητική περίοδο (ύψος φυτών) καθώς και η τελική απόδοσή τους. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε οριοθετημένα τμήματα (2 m) στις δύο μεσαίες σειρές κάθε πειραματικού τεμαχίου. Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις του βαθμού ανάπτυξης των ζιζανίων στην αρχή και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

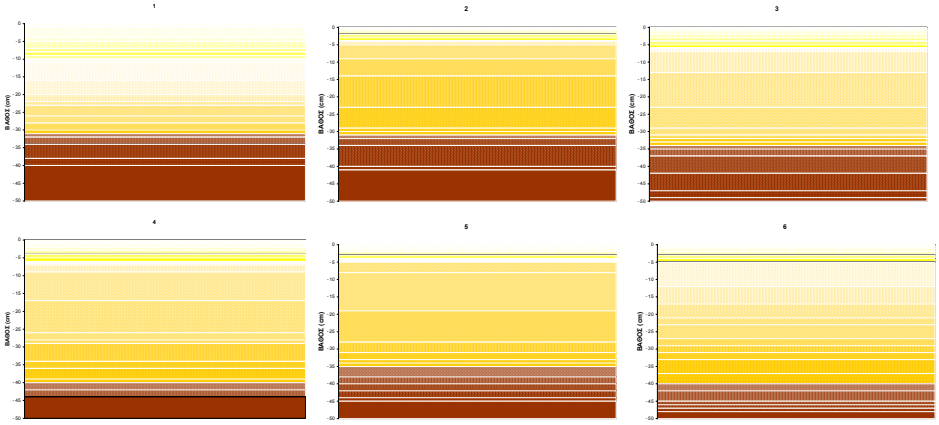
Η ενέργεια που καταναλώθηκε για κάθε μέθοδο κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκε (1-6) ήταν αντίστοιχα: 19930 kJ/στρέμμα, 10120 kJ/στρέμμα 9593 kJ/στρέμμα, 8614 kJ/στρέμμα, 8425 kJ/στρέμμα, 7730 kJ/στρέμμα, (Γράφημα 1).



Γράφημα 1. Κατανάλωση ενέργειας για κάθε μέθοδο κατεργασίας.

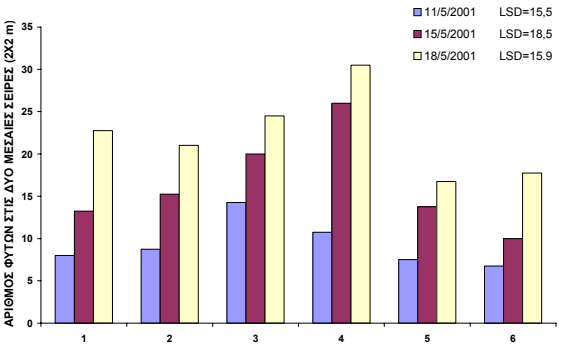
Παρατηρείται μια σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (50 %) για την κατεργασία του εδάφους όταν χρησιμοποιείται ο υπεδαφοκαλλιεργητής, σε οποιαδήποτε μορφή του, σε σχέση με το άροτρο. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι η διαφορά αυτή είναι στατιστικώς σημαντική. Επίσης η χρήση αβαθών στελεχών μειώνει την κατανάλωση ενέργειας σε σημαντικό βαθμό (5-15 %), ανάλογα και με την απόσταση των αβαθών στελεχών μεταξύ τους, σε σχέση με τη μέθοδο κατεργασίας στην οποία δεν χρησιμοποιήθηκαν βοηθητικά στελέχη. Οι διαφορές είναι στατιστικώς σημαντικές. Τέλος η αύξηση της απόστασης των κύριων στελεχών μείωσε σε μεγαλύτερο βαθμό την καταναλισκόμενη ενέργεια (10%), διαφορά που ήταν στατιστικώς σημαντική.

Στη συνέχεια, όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του βαθμού αναμόχλευσης που επιτεύχθηκε στο έδαφος με κάθε μέθοδο κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκε. Οι πραγματοποιηθείσες μετρήσεις έδειξαν πως στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε άροτρο επιτεύχθηκε καλύτερη αναμόχλευση του εδάφους όπως και όταν χρησιμοποιήθηκαν αβαθή στελέχη στους σχεδιασμούς του υπεδαφοκαλλιεργητή. Επίσης η μείωση της απόστασης των αβαθών στελεχών μεταξύ τους οδήγησε σε καλύτερη αναμόχλευση ενώ η αύξηση της απόστασης των κύριων στελεχών δεν είχε σημαντικό αποτέλεσμα στο βαθμό αναμόχλευσης (Γράφημα 2).



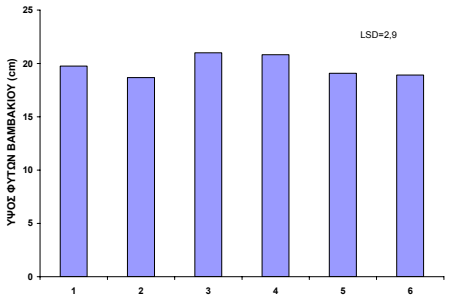
Γράφημα 2. Βαθμός αναμόχλευσης του εδάφους για κάθε μέθοδο κατεργασίας. Οι ζώνες του εδάφους είναι χωρισμένες ανάλογα με την αντίσταση στη διείσδυση που παρουσιάζουν ανά 100 kPa.

Ακολούθησε η προετοιμασία της σποροκλίνης και στη συνέχεια η σπορά του βαμβακιού στα πειραματικά τεμάχια. Πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις της προόδου φυτρώματος ανά μία εβδομάδα (Γράφημα 3) οι οποίες δεν έδειξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των πειραματικών τεμαχίων.

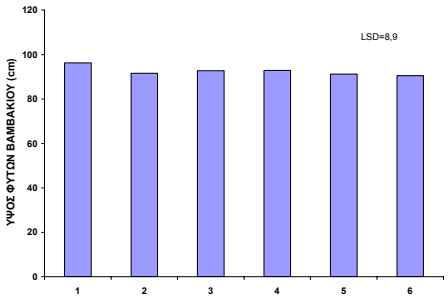


Γράφημα 3. Πρόοδος φυτρώματος φυτών βαμβακιού.

Στο μέσο της καλλιεργητικής περιόδου και όταν πλέον είχαν φυτρώσει όλα τα φυτά του βαμβακιού και είχαν αρχίσει να αναπτύσσονται κανονικά πραγματοποιήθηκε μέτρηση της ανάπτυξής τους (Γράφημα 4). Η ίδια μέτρηση επαναλήφθηκε και ένα μήνα αργότερα (Γράφημα 5). Η ανάπτυξη των φυτών βαμβακιού δεν παρουσίαζε σε καμία μέτρηση στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεθόδων κατεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν.

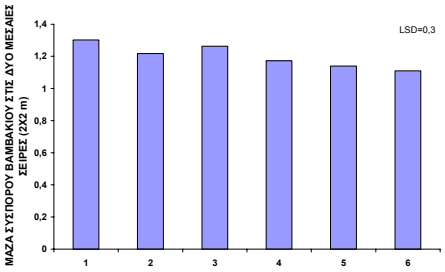


Γράφημα 4. Ανάπτυξη φυτών βαμβακιού.



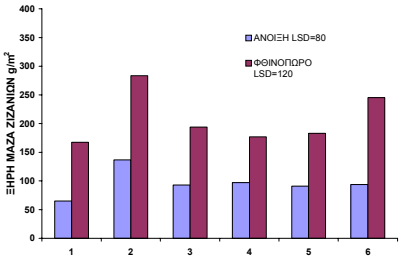
Γράφημα 5. Ανάπτυξη φυτών βαμβακιού.

Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου πραγματοποιήθηκε η συγκομιδή του βαμβακιού στα ίδια τμήματα στα οποία πραγματοποιήθηκαν σε όλη την καλλιεργητική περίοδο οι διάφορες μετρήσεις. Οι διαφορές που προέκυψαν μεταξύ των διαφόρων μεθόδων κατεργασίας δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές (Γράφημα 6).



Γράφημα 6. Συγκομιδή βαμβακιού.

Οι μετρήσεις του βαθμού ελέγχου της εμφάνισης και ανάπτυξης των ζιζανίων που πραγματοποιήθηκαν στο τέλος της άνοιξης και στο τέλος καλοκαιριού έδειξαν πως στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε το άροτρο επιτεύχθηκε καλύτερος έλεγχος των ζιζανίων όπως και όταν χρησιμοποιήθηκαν αβαθή στελέχη. Η μείωση της απόστασης των αβαθών στελεχών όπως και η αύξηση της απόστασης των κύριων δεν έδειξαν να επηρεάζουν σημαντικά την εμφάνιση και ανάπτυξη των ζιζανίων. Ωστόσο σε καμία περίπτωση οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές (Γράφημα 7).



Γράφημα 7. Ξηρή μάζα ζιζανίων για κάθε μέθοδο κατεργασίας

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η αντικατάσταση του αρότρου από ένα υπεδαφοκαλλιεργητή, με οποιαδήποτε μορφή του, για την πραγματοποίηση της πρωτογενούς κατεργασίας του εδάφους μπορεί να μειώσει στο μισό την κατανάλωση της ενέργειας.
2. Δεν επηρεάζεται σημαντικά η ανάπτυξη καθώς και η απόδοση της καλλιέργειας.
3. Δεν επηρεάζεται σημαντικά η εμφάνιση καθώς και η ανάπτυξη των ζιζανίων που μπορεί να δράσουν ανταγωνιστικά στην καλλιέργεια.
4. Η εύρεση του κατάλληλου σχεδιασμού του υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να μειώσει σε μεγαλύτερο βαθμό την κατανάλωση ενέργειας χωρίς να επηρεαστεί αρνητικά η ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας βαμβακιού αλλά ούτε και η

εμφάνιση και ανάπτυξη των ζιζανίων. Οι πραγματοποιηθείσες μετρήσεις έδειξαν πως η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

- Αυξάνοντας την απόσταση των κύριων στελεχών από τα 60 στα 80 cm.
- Τοποθετώντας και δεύτερη σειρά αβαθών στελεχών ώστε να μειωθεί η μεταξύ τους απόσταση από τα 40 στα 20 cm.

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. Smart J. R., Bradford J. M., and Makus D. J.. 1996. Weed management in conservation tillage cotton. Proc. Beltwide Cotton Conf. 2. 1550-1556.
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. 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).
6. 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.
7. ASAE Standards 2002. Soil cone penetrometer. American Society of Agricultural Engineers 861-862.

ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΕΔΑΦΟΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΥΝΙΩΝ ΓΙΑ ΑΒΑΘΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Φυτόκο, 38446 Ν.Ιωνία Μαγνησίας. E-mail ipapathan@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας ενός υπεδαφοκαλλιεργητή. Τοποθετήθηκαν αβαθή στελέχη, σε διαφορετικές θέσεις σε σχέση με τα κύρια αλλά και μεταξύ τους. Οι δοκιμές έδειξαν ότι η κατανάλωση ενέργειας για την κατεργασία είναι μικρότερη, μέχρι και 15%, όταν τα αβαθή στελέχη τοποθετήθηκαν σε απόσταση 46 ως 60 cm μπροστά από τα κύρια, όπως επίσης και όταν τοποθετήθηκαν σε βάθος 15 cm. Περαιτέρω μείωση (κατά 10%) σημειώθηκε όταν μειώθηκε η μεταξύ των βοηθητικών στελεχών απόσταση με την προσθήκη και δεύτερης σειράς. Η ποιότητα αναμόχλευσης δεν επηρεάστηκε σημαντικά στις δύο πρώτες περιπτώσεις, ενώ βελτιώθηκε στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, στην τρίτη περίπτωση.

Λέξεις κλειδιά: Υπεδαφοκαλλιεργητής, βοηθητικά στελέχη, κατανάλωση ενέργειας, ποιότητα αναμόχλευσης

USE OF SHALLOW TINES TO MINIMIZE THE ENERGY CONSUMPTION OF A SUBSOILER

I. Papathanassiou, Chr. Karamoutis, Chr. Kavalaris, T.A.Gemtos
University of Thessaly, School of Agricultural sciences, Lab. of Farm Mechanization, Fytoko, 38446 N. Ionia Magnisias. E-mail ipapathan@agr.uth.gr

ABSTRACT

The aim of this work was the minimization of energy consumption of a subsoiler. Shallower assistant tines were put in different positions relevantly to main tines as well and between them. Conducted tests showed that soil cultivation required less energy consumption in case assistant tines were 46-60 cm in front of main tines, as well as their working depth was 15 cm (up to 15%). Furthermore, by decreasing assistant tines spacing, energy consumption was decreased (up to 10%). In first two cases there were no influence to cultivation quality but better cultivation to deeper layers of soil observed in last case.

Key words: Subsoiler, assistant tines, energy consumption, cultivation quality.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της σύγχρονης γεωργίας είναι η πλήρης αξιοποίηση των καλλιεργειών, με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των εισροών, ώστε να περιοριστεί το κόστος παραγωγής των προϊόντων και να προστατευθεί σε μεγαλύτερο βαθμό το περιβάλλον. Περιορίζοντας την ενέργεια που καταναλώνεται στη γεωργία επιτυγχάνονται σε μεγάλο βαθμό οι παραπάνω στόχοι. Μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούνται κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου καταναλώνονται στο στάδιο της προετοιμασίας του εδάφους στο οποίο θα εγκατασταθεί η καλλιέργεια. Οι συνήθεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη γεωργική πράξη είναι η πρωτογενής κατεργασία του εδάφους με άροση και στη συνέχεια η προετοιμασία της σποροκλίνης, διαδικασία που απαιτεί σημαντικά ποσά ενέργειας για να πραγματοποιηθεί και επομένως είναι σημαντικό να περιοριστεί. Η τάση της σύγχρονης γεωργίας είναι η αντικατάσταση της παραδοσιακής μεθόδου προετοιμασίας του εδάφους με άλλες λιγότερο απαιτητικές σε ενέργεια ή και πλήρης ακαλλιέργεια του εδάφους [1]. Η χρήση ενός υπεδαφοκαλλιεργητή είναι δυνατόν να μειώσει την ενέργεια που απαιτείται για την κατεργασία του εδάφους [2]. Η κατανάλωση ενέργειας καθώς και η ποιότητα εργασίας των υπεδαφοκαλλιεργητών επηρεάζεται σημαντικά από το σχεδιασμό τους. Περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με απλό επανασχεδιασμό των τμημάτων από τα οποία αποτελούνται ή με προσθήκη και άλλων. Η προσθήκη αβαθών βοηθητικών στελεχών που προηγούνται των κύριων στελεχών ενός υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 15% καθώς και σε ποιοτικότερη αναμόχλευση του εδάφους [3], [4].

Σκοπός της παρούσης εργασίας ήταν η εύρεση της κατάλληλης απόστασης των αβαθών βοηθητικών στελεχών, από τα κύρια στελέχη του υπεδαφοκαλλιεργητή καθώς και το κατάλληλο βάθος των αβαθών στελεχών. Στη συνέχεια και αφού διαπιστώθηκε η ιδανικότερη απόσταση και βάθος των βοηθητικών στελεχών διερευνήθηκε η απόσταση μεταξύ των αβαθών στελεχών με τη προσθήκη και δεύτερης σειράς ώστε να διαπιστωθεί ο σχεδιασμός του υπεδαφοκαλλιεργητή με τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση καθώς και την καλύτερη προσφερόμενη ποιότητα αναμόχλευσης του εδάφους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι δοκιμές διάφορων σχεδιασμών ενός υπεδαφοκαλλιεργητή. Η δοκιμή κάθε εναλλακτικού σχεδιασμού περιελάμβανε δυναμομέτρηση και επομένως εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών, κατά τη στιγμή της πραγματοποίησης της κατεργασίας καθώς και εκτίμηση της ποιότητας αναμόχλευσης που επιτυγχάνονταν στο έδαφος με μέτρηση του βαθμού συμπίεσης που παρουσιάζονταν μετά την

κατεργασία. Κάθε δοκιμή επαναλαμβάνονταν τρεις φορές ενώ όλες πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο έδαφος (Πίνακας 1) και την ίδια εποχή ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσα συγκρίσιμα. Η διαμόρφωση των κύριων στελεχών του υπεδαφοκαλλιεργητή παρέμενε σταθερή (Αριθμός κύριων στελεχών 3, απόσταση μεταξύ τους 60 cm και βάθος κατεργασίας 40 cm) όπως σταθερή ήταν και η ταχύτητα σε όλες τις δοκιμές (0,95-1 m/s). Η σταθερότητα του βάθους κατεργασίας επιτεύχθηκε με τη χρήση τροχών εδάφους που κρατούσαν σταθερή τη θέση του υπεδαφοκαλλιεργητή. Για τη μέτρηση της καταναλισκόμενης ενέργειας κάθε διαδρομής του υπεδαφοκαλλιεργητή χρησιμοποιήθηκε γεωργικός ελκυστήρας με αισθητήρια μέτρησης των παραμέτρων λειτουργίας του [5]. Οι παράμετροι που μετρούνταν ήταν η απαιτούμενη ελκτική δύναμη για κάθε πέρασμα, η ταχύτητα με την οποία πραγματοποιούνταν, 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 [6]. Με τη χρήση μιας πλάκας, πλάτους 120 cm, 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 εκατέρωθεν του μεσαίου στελέχους του υπεδαφοκαλλιεργητή.

Πίνακας 1. Ιδιότητες εδάφους στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές.

Άμμος (%)	25
Ιλύς (%)	36
Άργιλλος (%)	39
Υγρασία (% κ.β.)	19

Οι εναλλακτικοί σχεδιασμοί που δοκιμάστηκαν προέκυψαν από τη τοποθέτηση των βοηθητικών στελεχών σε διάφορες θέσεις σε σχέση με τα κύρια στελέχη. Αρχικά δοκιμάστηκε ο υπεδαφοκαλλιεργητής χωρίς την προσθήκη βοηθητικών στελεχών, ώστε να διερευνηθεί η ευνοϊκή επίδραση των βοηθητικών στελεχών σε κάθε περίπτωση. Ακολούθησε δοκιμή της επίδρασης μιας σειράς βοηθητικών στελεχών σε έξι διαφορετικές αποστάσεις από τα κύρια, σε τρία διαφορετικά βάθη κατεργασίας αυτών (αποστάσεις 40 40,6 53 59,5 66, 72,5 cm και βάθη 10, 15, 20 cm) . Στη συνέχεια και αφού προσδιορίστηκε η κατάλληλη απόσταση της πρώτης σειράς βοηθητικών στελεχών από τα κύρια, προστέθηκε και δεύτερη σειρά με βοηθητικά στελέχη με αποτέλεσμα να μειωθεί η απόσταση μεταξύ των βοηθητικών στελεχών. Η δεύτερη σειρά τοποθετήθηκε σε τέτοια απόσταση από την πρώτη ώστε να μη παρεμποδίζεται η εργασία τους (40 cm μεταξύ των σειρών και ταυτόχρονα στα κενά της πρώτης σειράς ώστε να επιτευχθεί η μείωση της απόστασής τους). Για την προσαρμογή των 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. Το σύνολο των εναλλακτικών σχεδιασμών που δοκιμάστηκαν απεικονίζεται στον Πίνακα 2.

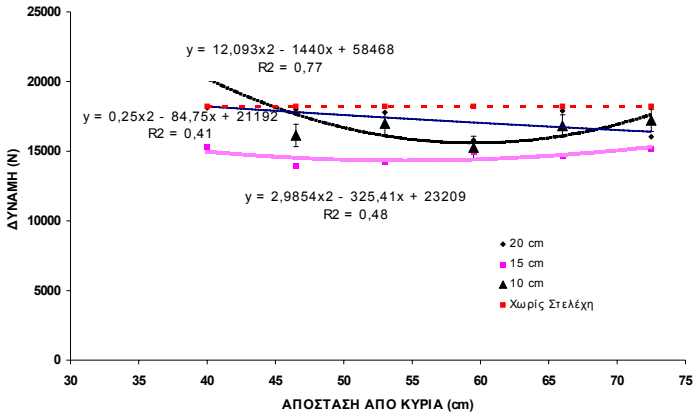
Πίνακας 2. Εναλλακτικοί σχεδιασμοί του υπεδαφοκαλλιεργητή.

Σχεδιασμοί	Βάθος εργασίας και απόσταση βοηθητικών στελεχών μεταξύ τους (cm)	Απόσταση πρώτης σειράς βοηθητικών στελεχών από κύρια (cm)
0 *	-	-
1-6	10 και 40	40 46,5 53 59,5 66 72,5
7-12	15 και 40	40 46,5 53 59,5 66 72,5
13-18	20 και 40	40 46,5 53 59.5 66 72,5
19**	15 και 20	46,5

* Δοκιμή υπεδαφοκαλλιεργητή χωρίς βοηθητικά στελέχη.
** Προσθήκη δεύτερης σειράς βοηθητικών στελεχών σε απόσταση 40 cm από την πρώτη.

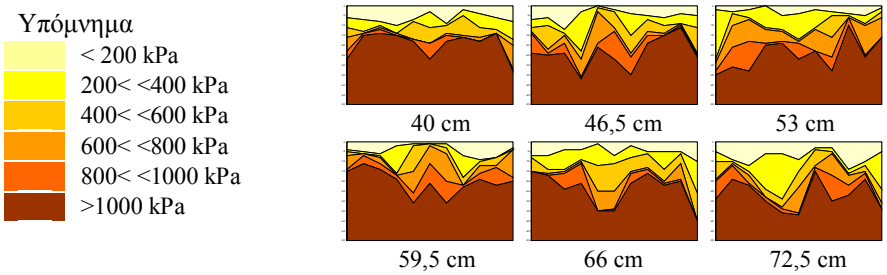
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η πρώτη δοκιμή πραγματοποιήθηκε με τον υπεδαφοκαλλιεργητή χωρίς βοηθητικά στελέχη. Η οριζόντια ελκτική δύναμη που απαιτήθηκε ήταν 18216 N. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε μία σειρά βοηθητικών στελεχών κατά τέτοιο τρόπο ώστε να κατεργάζονται το έδαφος σε βάθος 10 cm (Σχεδιασμοί 1-6). Οι οριζόντιες ελκτικές δυνάμεις που απαιτήθηκαν για κάθε σχεδιασμό (1-6) ήταν αντίστοιχα 20899 N, 16137 N, 16989 N, 15267 N, 16813 N, 17218 N (Γράφημα 1).



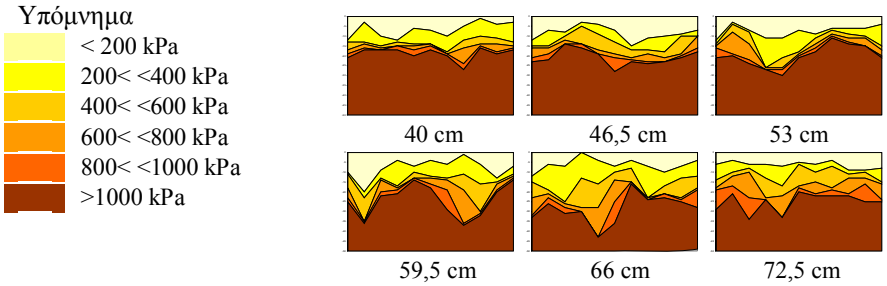
Γράφημα 1. Απαιτούμενες δυνάμεις για την κατεργασία του εδάφους σε σχέση με την απόσταση βοηθητικών και κύριων στελεχών.

Οι μετρήσεις έδειξαν ότι στο εύρος 46,5-72,5 cm απόστασης των βοηθητικών στελεχών από τα κύρια παρατηρήθηκε μείωση των δυνάμεων σε σχέση με την απόσταση των 40 cm ωστόσο οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές μεταξύ των αποστάσεων. Η χρήση των βοηθητικών στελεχών φάνηκε πως ήταν ευνοική σε όλες τις περιπτώσεις με εξαίρεση την απόσταση των 40 cm των βοηθητικών από τα κύρια στελέχη, όπου παρεμποδίζονταν η εργασία των δεύτερων με αποτέλεσμα να υπάρξει αύξηση των δυνάμεων. Οι μετρήσεις της ποιότητας αναμόχλευσης δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών αποστάσεων βοηθητικών και κύριων στελεχών (Γράφημα 2).



Γράφημα 2. Προφίλ εδάφους μετά την κατεργασία σε σχέση με την απόσταση βοηθητικών-κύριων στελεχών (βάθος βοηθητικών στελεχών 10 cm).
Στο γράφημα απεικονίζεται προφίλ εδάφους που εκτείνεται 60 cm εκατέρωθεν του μεσαίου κυρίου στελέχους (Μέχρι τα ίχνη των δύο ακραίων κύριων στελεχών).
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέχρι βάθους 50 cm

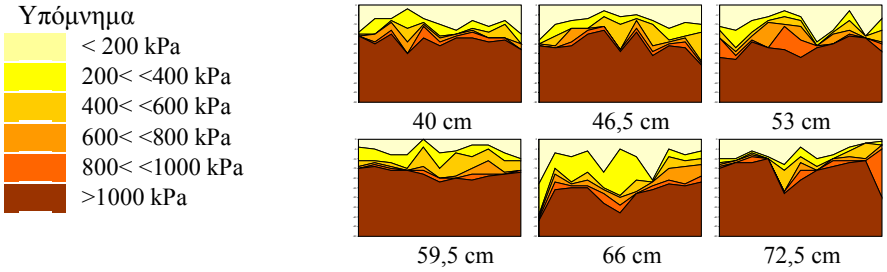
Στη συνέχεια αυξήθηκε το βάθος των βοηθητικών στελεχών και ρυθμίστηκε έτσι ώστε να κατεργάζονται το έδαφος σε βάθος 15 cm (σχεδιασμοί 7-12) και πραγματοποιήθηκαν οι ίδιες δοκιμές στις ίδιες αποστάσεις βοηθητικών και κύριων στελεχών. Οι δυνάμεις που απαιτήθηκαν ήταν αντίστοιχα για κάθε σχεδιασμό (7-12) 15291N, 13954 N, 14251 N, 14947 N, 14660 N, 15203 N. (Γράφημα 1). Οι μετρήσεις επιβεβαίωσαν το συμπέρασμα των προηγουμένων δοκιμών ότι στο εύρος 46,5-72,5 cm απόστασης των βοηθητικών στελεχών από τα κύρια παρατηρήθηκε μείωση των δυνάμεων σε σχέση με την απόσταση των 40 cm ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές μεταξύ των αποστάσεων. Οι μετρήσεις της ποιότητας αναμόχλευσης δεν έδειξαν επίσης στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών αποστάσεων βοηθητικών και κύριων στελεχών (Γράφημα 3).



Γράφημα 3. Προφίλ εδάφους μετά την κατεργασία σε σχέση με την απόσταση βοηθητικών-κύριων στελεχών (βάθος βοηθητικών στελεχών 15 cm).

Στο γράφημα απεικονίζεται προφίλ εδάφους που εκτείνεται 60 cm εκατέρωθεν του μεσαίου κυρίου στελέχους (Μέχρι τα ίχνη των δύο ακραίων κύριων στελεχών)
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέχρι βάθους 50 cm

Τέλος αυξήθηκε το βάθος των βοηθητικών στελεχών στα 20 cm (σχεδιασμοί 13-18) και πραγματοποιήθηκαν και εδώ οι ίδιες δοκιμές στις ίδιες αποστάσεις βοηθητικών και κύριων στελεχών. Οι δυνάμεις που απαιτήθηκαν ήταν αντίστοιχα για κάθε σχεδιασμό (13-18) 18119 N, 17997 N, 17787 N, 15786 N, 17900 N, 16041 N. (Γράφημα 1). Οι μετρήσεις επιβεβαίωσαν το συμπέρασμα όλων των προηγουμένων δοκιμών ότι στο εύρος 46,5-72,5 cm απόστασης των βοηθητικών στελεχών από τα κύρια παρατηρήθηκε μείωση των δυνάμεων σε σχέση με την απόσταση των 40 cm ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές μεταξύ των αποστάσεων. Τέλος οι μετρήσεις της ποιότητας αναμόχλευσης δεν έδειξαν και σε αυτή την περίπτωση σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών αποστάσεων βοηθητικών και κύριων στελεχών (Γράφημα 4).



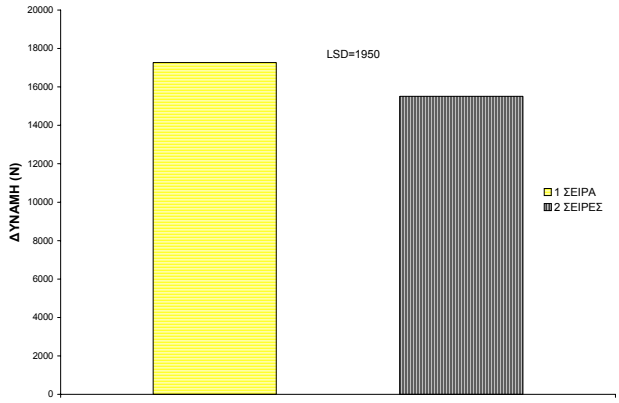
Γράφημα 4. Προφίλ εδάφους μετά την κατεργασία σε σχέση με την απόσταση βοηθητικών-κύριων στελεχών (βάθος βοηθητικών στελεχών 20 cm).

Στο γράφημα απεικονίζεται προφίλ εδάφους που εκτείνεται 60 cm εκατέρωθεν του μεσαίου κυρίου στελέχους (Μέχρι τα ίχνη των δύο ακραίων κύριων στελεχών)
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέχρι βάθους 50 cm

Η χρήση των βοηθητικών στελεχών φάνηκε πως ήταν ευνοϊκή σε όλες τις περιπτώσεις με εξαίρεση την απόσταση των βοηθητικών στελεχών από τα κύρια των 40 cm (σε όλα τα βάθη κατεργασίας των βοηθητικών στελεχών που δοκιμάστηκαν), όπου παρεμποδίζονταν η εργασία των δεύτερων με αποτέλεσμα να υπάρξει αύξηση των δυνάμεων σε όλες τις περιπτώσεις. Η δύναμη που

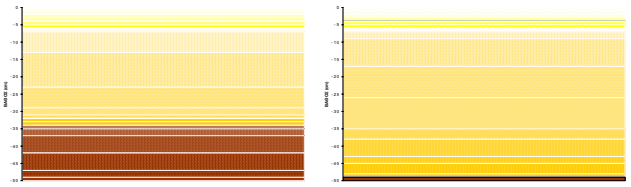
απαιτείται για την κατεργασία σχετίζεται με την απόσταση των βοηθητικών από τα κύρια στελέχη και φαίνεται πως ακολουθεί μια εξίσωση δευτέρου βαθμού για όλα τα βάθη που δοκιμάστηκαν (Γράφημα 1). Επίσης φάνηκε πως το ευνοϊκότερο βάθος κατεργασίας των βοηθητικών στελεχών είναι τα 15 cm γιατί απαιτήθηκαν οι μικρότερες δυνάμεις (στατιστικώς σημαντικές διαφορές), χωρίς να υπάρξει δυσμενής επίδραση στην ποιότητα αναμόχλευσης.

Η ευνοική επίδραση της χρήσης των βοηθητικών στελεχών σε ένα υπεδαφοκαλλιεργητή καθώς και η εύρεση της κατάλληλης απόστασης αυτών από τα κύρια οδήγησε στη προσθήκη και δεύτερης σειράς βοηθητικών στελεχών ώστε να μειωθεί η μεταξύ τους απόσταση. Το βάθος κατεργασίας των βοηθητικών στελεχών και των δύο σειρών ρυθμίστηκε στα 15 cm, σύμφωνα με τις προηγούμενες δοκιμές. Έτσι δοκιμάστηκε ο τελευταίος σχεδιασμός (19) σε σύγκριση με το σχεδιασμό 2, σε ένα έδαφος παρόμοιων ιδιοτήτων με αυτό στο οποίο πραγματοποιήθηκαν όλες οι προηγούμενες δοκιμές. Η απόσταση των βοηθητικών στελεχών ήταν 20 cm μεταξύ τους (από 40 cm που ήταν σε όλες τις προηγούμενες δοκιμές). Η απόσταση των δύο σειρών των βοηθητικών στελεχών ήταν 40 cm ώστε να μην παρεμποδίζονται μεταξύ τους ενώ η πρώτη σειρά απείχε από τα κύρια στελέχη 46,5 cm (σύμφωνα με τα παραπάνω), ώστε να εξασφαλιστεί το μικρότερο δυνατό μέγεθος της συνολικής διάταξης. Οι δοκιμές έδειξαν ότι υπάρχει μια περαιτέρω μείωση των απαιτουμένων δυνάμεων κατά 10% περίπου (στατιστικώς μη σημαντικές διαφορές). Οι απαιτούμενες δυνάμεις για τους σχεδιασμούς 2,19 αντίστοιχα ήταν 17268 N, 15506 N (Γράφημα 5).



Γράφημα 5. Σύγκριση απαιτουμένων δυνάμεων με μία και δύο σειρές βοηθητικών στελεχών προσαρμοσμένων στον υπεδαφοκαλλιεργητή.

Η χρήση και δεύτερης σειράς βοηθητικών στελεχών είχε ελαφρώς ευνοϊκότερη επίδραση στην αναμόχλευση του εδάφους. Η σύγκριση της ποιότητας αναμόχλευσης, μετά την κατεργασία, στις δύο περιπτώσεις έδειξε πως όταν χρησιμοποιούνται δύο σειρές βοηθητικών στελεχών υπάρχει μια ελαφρώς καλύτερη αναμόχλευση στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους (Γράφημα 6).



Μία σειρά Δύο σειρές

Γράφημα 6. Προφίλ εδάφους μετά την κατεργασία στην περίπτωση χρήσης μιας και δύο σειρών βοηθητικών στελεχών.

Σημείωση: Οι ζώνες που εμφανίζονται είναι χωρισμένες ανά 100 kPa και προέκυψαν από το μέσο όρο όλων των μετρήσεων στη ζώνη κατεργασίας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η προσθήκη βοηθητικών στελεχών σε ένα υπεδαφοκαλλιεργητή μπορεί να μειώσει τις δυνάμεις που απαιτούνται για την κατεργασία του εδάφους μέχρι και 15 % ενώ δεν επηρεάζει την ποιότητα αναμόχλευσης αρκεί να τηρηθούν οι παρακάτω προυποθέσεις:

- Απόσταση από τα κύρια στελέχη μεγαλύτερη των 45.
- Βάθος εργασίας των βοηθητικών στελεχών 15 cm.

2. Παράλληλα η προσθήκη και δεύτερης σειράς βοηθητικών στελεχών μπορεί να μειώσει σε μεγαλύτερο βαθμό τις δυνάμεις που απαιτούνται για την κατεργασία (10 %) ενώ προσφέρει καλύτερη αναμόχλευση στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

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. 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.

4. 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).

5. 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.

6. ASAE Standards 2002. Soil cone penetrometer. American Society of Agricultural Engineers 861-862.

ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Σπύρος Φουντάς[1], Θεοφάνης Γέμτος[2], Simon Blackmore[1]
[1] Τμήμα Γεωπονίας, Τομέας Γεωργικών Τεχνολογιών
Βασιλικό Κτηνιατρικό και Γεωργικό Πανεπιστήμιο, Κοπεγχάγη, Δανία. e-mail:spf@kvl.dk
[2] Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος e-mail:gemtos@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή παρουσιάζει τις προδιαγραφές ενός συστήματος λειτουργίας αυτοκινούμενων οχημάτων εφαρμόσιμο στη γεωργία. Τα οχήματα αυτά θα πρέπει να είναι μικρού μεγέθους και βάρους και να επιδεικνύουν ευφυή συμπεριφορά. Να έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας τόσο με παρελκόμενα όσο και μεταξύ τους, και να επικοινωνούν με τον υπολογιστή του αγροκτήματος για παρακολούθηση και έλεγχο της συμπεριφοράς, και το σπουδαιότερο επίσης να έχουν ασφαλή λειτουργία και ακριβή εκτέλεση εργασιών .

Λέξεις κλειδιά: αυτοκινούμενα μηχανήματα, ρομποτική, τεχνική νοημοσύνη, γεωργικά μηχανήματα

AUTONOMOUS VEHICLES IN AGRICULTURE

Spyros Fountas[1], Theofanis Gemtos[2], Simon Blackmore[1]
[1] Department of Agricultural Sciences, Section of AgroTechnology
The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark
[2] Department of Crop Sciences, School of Agriculture
University of Thessaly, Volos

ABSTRACT

This paper describes the specification requirements for operating autonomous vehicles in agriculture. The vehicles should be of small size and have intelligent behaviour. They should communicate with other agents and with their implements and give continuous signals to the farm office computer in order to control the performance. The most important would be to operate safely and carry out precise operations

Keywords: autonomous vehicles, robots, artificial intelligence, agricultural machinery

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες η τεχνολογία της πληροφορικής, έχει προσδώσει στη γεωργία μία καινοτόμο διάσταση. Με την εφαρμογή των γεωγραφικών συστημάτων πληροφορικής (GIS), του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (GPS) και ενός ευρέως φάσματος αισθητήρων, η διαχείριση της παραγωγής μπορεί να επιτευχθεί με τις αρχές της γεωργίας ακριβείας (Precision Agriculture). Η γεωργία ακριβείας είναι ένα σύνολο καλλιεργητικών μεθόδων, το οποίο χρησιμοποιεί GIS, GPS και διαχείριση συστημάτων πληροφορικής, με τη βοήθεια αισθητήρων και συστημάτων ελέγχου (controllers) για να μειώσει τη διαχείριση της καλλιέργειας από επίπεδο αγροτεμαχίου σε μικρές ζώνες γης με κοινά χαρακτηριστικά (management zones). Η επέκταση της γεωργίας ακριβείας είναι η διαχείριση μεμονωμένων φυτών (phytotechnology), η αρχική ιδέα της οποίας ξεκίνησε από την Ιαπωνία και αφορά φυτά υψηλής αξίας. Για την εφαρμογή των νέων αυτών μορφών διαχείρισης της παραγωγής, τα αυτοκινούμενα οχήματα μπορούν να συνεισφέρουν ώστε να καταστεί εφικτή μία ακριβέστερη προσέγγιση των φυτών. Επιπλέον τα οχήματα αυτά μπορούν να βοηθήσουν στην εκτέλεση πολύπλοκων και επαναλαμβανόμενων εργασιών, ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών.

Αυτοκινούμενα οχήματα έχουν κάνει την εμφάνισή τους εδώ και πολλά χρόνια. Με την εφαρμογή όμως του GPS έχουν αποκτήσει μία άλλη ώθηση. Στην γεωργία το ενδιαφέρον για τα αυτοκινούμενα οχήματα είναι σχετικά πρόσφατο, κυρίως λόγω του ενδιαφέροντος από τις κατασκευάστριες εταιρίες γεωργικών μηχανημάτων (κυρίως John Deere και CNH). Στην Ιαπωνία λόγω του μειωμένου ενδιαφέροντος από τους νέους στο να απασχοληθούν με τη γεωργία (μέσος όρος Ιαπώνων γεωργών: 63 χρόνων) έχουν δώσει μεγάλη βαρύτητα στην ενσωμάτωση τεχνολογιών υψηλής τεχνολογίας για να γίνει πιο ελκυστική από τους νέους που θα ασχοληθούν με τη γεωργία με αποτέλεσμα να υπάρχουν μέχρι τώρα πολλές εφαρμογές αυτοκινούμενων οχημάτων από τα Ιαπωνικά Πανεπιστήμια. Ο Torii Toru [4] περιγράφει τα ερευνητικά προγράμματα που έχουν διεξαχθεί στην Ιαπωνία στο χώρο των αυτοκινούμενων οχημάτων, όπου για παράδειγμα το 1998, 24 προγράμματα παρουσιάστηκαν στην ετήσια συνάντηση γεωργικών μηχανικών

Ο Jahns [4] δίνει μία συνοπτική ανασκόπηση για αυτοκινούμενα μηχανήματα και εκτός των άλλων αναφέρει πως η γεωργία επωφελείται από τις εξελίξεις και επιτεύγματα στον τομέα της υψηλής τεχνολογίας από άλλους τομείς όπως αυτούς της αεροναυπηγικής και των multimedia, όπου η χρηματοδότηση είναι πιο ισχυρή λόγω μεγαλύτερων αναγκών. Ο ίδιος ο συγγραφέας το 1983 [5] παρουσίασε μία αναφορά σε αυτόματη καθοδήγηση μηχανημάτων στη γεωργία, όπου οι βασικές ιδέες είναι παραπλήσιες. Τότε όμως οι έρευνες αναφερόντουσαν σε αυτόματη καθοδήγηση μηχανημάτων μόνο, ενώ τώρα σε πολύπλοκα αυτοκινούμενα μηχανήματα.

Οι Blackmore et al [2] αναφέρουν τις προδιαγραφές για αυτοκινούμενα οχήματα στη γεωργία. Αναφέρουν πως τα οχήματα αυτά θα πρέπει να έχουν μικρό μέγεθος, μικρό βάρος και αυτόνομη συμπεριφορά σε απρόοπτες 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. Πρόσφατα δε, έχουμε συναντήσει αυτοκινούμενα ηλεκτρικά τρένα σε αρκετές πόλεις της Ευρώπης και των ΗΠΑ, τα οποία ωστόσο λειτουργούν σε ελεγχόμενο χώρο. Σε συνθήκες όμως εργασίας κάτω από τις οποίες εργάζεται ένα γεωργικό μηχάνημα απαιτείται να μπορεί να αντιδρά αυτόβουλα και στιγμιαία όταν συναντήσει έναν άνθρωπο ή ζώο στον αγρό.

Το λογισμικό και ο τεχνικομηχανικός εξοπλισμός για τη δημιουργία αυτών των μηχανημάτων είναι ήδη διαθέσιμα, αλλά αυτό που χρειάζεται είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα τεχνικής νοημοσύνης προσαρμοσμένο στα γεωργικά δεδομένα. Με βάση το νόμο του Moore, που είναι αποτέλεσμα παρακολούθησης της βιομηχανίας υπολογιστών, η ταχύτητα των επεξεργαστών (micro-processors) διπλασιάζεται κάθε 18 μήνες και η τιμή παραμένει η ίδια. Μία εύλογη ερώτηση θα ήταν, πως ο τομέας της γεωργίας για παράδειγμα θα μπορούσε να επωφεληθεί από αυτές τις εξελίξεις. Μέχρι στιγμής, εφαρμογές, όπου οχήματα πραγματοποιούν εργασίες που έχουν εκ των προτέρων προγραμματιστεί (deterministic) είναι αρκετές. Η πρόκληση με τη βοήθεια της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας είναι να κατασκευαστούν αυτοκινούμενα οχήματα με πιο ευφυή συμπεριφορά, όπου θα είναι δυνατή η αντίδρασή τους σε μεμονωμένα ερεθίσματα που θα προέρχονται από τον περιβάλλοντα χώρο (reactive).

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα πρότυπο για το συνολικό σύστημα λειτουργίας (systems architecture) αυτοκινούμενων οχημάτων στη γεωργία. Το πρότυπο αυτό έχει δημιουργηθεί με βάση της αρχές της object oriented ανάλυσης και σχεδιασμού. Ένα διάγραμμα κλάσεων (class diagram) παρουσιάζει τις βασικές κλάσεις που θα πρέπει να απαρτίζουν την τεχνιτή νοημοσύνη του οχήματος. Ένα διάγραμμα μεταβολής καταστάσεων (state transition diagram) παρουσιάζει τις διάφορες συμπεριφορές που το όχημα θα πρέπει να έχει για να πραγματοποιεί τις απαιτούμενες εργασίες. Τελικά, με τη βοήθεια ενός ερευνητικού αυτοκινούμενου οχήματος πραγματοποιήθηκαν πειράματα για να ελεγχθούν τμήματα του προτεινόμενου συστήματος λειτουργίας.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για το σχεδιασμό λειτουργίας υψηλής τεχνιτής νοημοσύνης αυτοκινούμενων οχημάτων στη γεωργία, χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα UML (unified modelling language) που είναι κατάλληλη για ανάλυση και σχεδιασμό λογισμικών συστημάτων. Η γλώσσα αυτή δημιουργεί αντικειμενοστραφή (object oriented) πρότυπα. Η αντικειμενοστραφής μεθοδολογία (Object orientation) είναι η πιο σύγχρονη μορφή σχεδίασης λογισμικού και προτύπων και έχει χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό των γλωσσών προγραμματισμού C++ και Java. Τα πλεονεκτήματα είναι ο πολυμορφισμός, η σύνοψη και η αυτονομία των επιμέρους τμημάτων των συστήματος. Η αντικειμενοστραφής μέθοδος (Object orientation) καταγράφει μέρη του συστήματος ως αντικείμενα και αναλύει τα αντικείμενα αυτά ανεξάρτητα ως αυτόνομα υποσυστήματα και στη συνέχεια τα ενώνει μεταξύ τους έτσι ώστε να αποτελέσουν το σύνολο του συστήματος.

Η UML γλώσσα συμπεριλαμβάνει ένα σημαντικό αριθμό μοντέλων για την περιγραφή ενός συστήματος. Για την περιγραφή του συστήματος λειτουργίας αυτοκινούμενων οχημάτων χρησιμοποιήθηκε ένα διάγραμμα κλάσεων (class diagram). Το διάγραμμα αυτό περιλαμβάνει τις κλάσεις ως σύνολα αντικειμένων με κοινή συμπεριφορά και τις ενώσεις μεταξύ των κλάσεων. Το μοντέλο εναλλαγής καταστάσεων (state-transition diagram) χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή των συμπεριφορών που τα αυτοκινούμενα οχήματα θα πρέπει να έχουν. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από τις διαφορετικές καταστάσεις (states) στις οποίες θα μπορεί να βρίσκεται το αυτοκινούμενο όχημα.

Ο έλεγχος της συμπεριφοράς και του γενικού συστήματος λειτουργίας επιτεύχθηκε με την βοήθεια του ερευνητικού αυτοκινούμενου οχήματος που ανήκει στο εργαστήριο Γεωργικής Τεχνολογίας του Βασιλειακού Γεωργικού Πανεπιστημίου της Δανίας. Το ρομπότ αυτό ονομάζεται irobot και έχει κατασκευασθεί από επιστήμονες του Πανεπιστημίου MIT των ΗΠΑ. Το λειτουργικό του σύστημα είναι Linux και η εκτέλεση των εντολών πραγματοποιήθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού C++.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

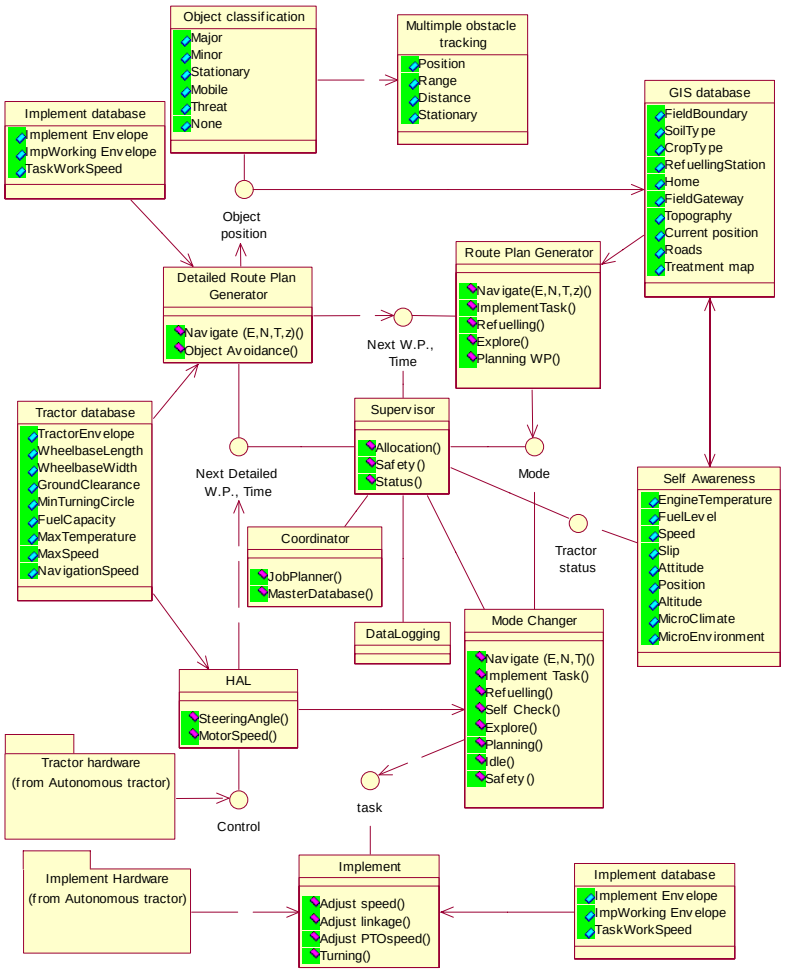
Η εργασία για την ανάπτυξη προδιαγραφών ενός αυτοκινούμενου οχήματος στη γεωργία κατέληξε στη δημιουργία ενός μοντέλου που περιγράφει το σύστημα λειτουργίας καθώς επίσης και τις συμπεριφορές τις οποίες το όχημα θα μπορεί να έχει.

Το Σχήμα 1 απεικονίζει το διάγραμμα κλάσεων για την περιγραφή του συστήματος λειτουργίας αυτοκινούμενων οχημάτων στη γεωργία. Οι κλάσεις αποτελούνται από 3 τμήματα. Το πρώτο τμήμα αναφέρει το όνομα της κλάσης, το δεύτερο τα χαρακτηριστικά (attributes) και το τρίτο τις λειτουργίες της (operations).

Το κεντρικό τμήμα είναι η κλάση "Supervisor" η οποία αποτελεί τον υπολογιστή που θα είναι ενσωματωμένος στο όχημα. Η κλάση αυτή επικοινωνεί με όλα τα επιμέρους τμήματα του συστήματος και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κλάση "Coordinator", η οποία αποτελεί τον υπολογιστή στο γραφείο του παραγωγού ή ερευνητή. Η κλάση "Coordinator" σχεδιάζει τις απαιτήσεις για την εκτέλεση των εργασιών και αναβαθμίζει και συμπληρώνει τις βάσεις δεδομένων GIS, παρελκομένου και ελκυστήρα που θα χρησιμοποιηθούν στην συγκεκριμένη εργασία. Το επόμενο στάδιο είναι η κλάση "Mode changer", που αποφασίζει ποια ή ποιες συμπεριφορές θα πρέπει να εκτελεί σε κάθε φάση λειτουργίας του. Οι συμπεριφορές αυτές είναι πλοήγηση, ασφάλεια, άεργο, αυτο-έλεγχος, ανίχνευση, προγραμματισμός, εργασία παρελκομένου, διαδικασία εκκίνησης και διαδικασία τερματισμού.

Το επόμενο στάδιο είναι η κλάση "Route Plan Generator", που προγραμματίζει την πορεία κατεύθυνσης του οχήματος με σκοπό την εκτέλεση της εργασίας. Για παράδειγμα, υποδεικνύει πιο θα είναι το σημείο εκκίνησης, πιο το σημείο τερματισμού και πια είναι η βέλτιστη δυνατή διαδρομή που θα πρέπει το όχημα να ακολουθήσει. Η αμέσως επόμενη κλάση είναι "Detailed Route Plan Generator" η οποία δέχεται τις πληροφορίες από την κλάση "Route Plan Generator" και τις τροποποιεί με βάση την ύπαρξη ή όχι εμποδίων. Οι πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη εμποδίων δίνονται από δύο κλάσεις. Η πρώτη κλάση, η παρακολούθηση πολλαπλών εμποδίων "Multiple obstacle tracking", ανιχνεύει την ύπαρξη εμποδίων στο ευρύτερο πεδίο πλοήγησης. Η δεύτερη κλάση, η ταξινόμηση εμποδίων "Object classification" ταξινομεί τα εμπόδια σε π.χ. στάσιμα ή κινούμενα και σε διάφορες άλλες κατηγορίες που θα βοηθήσουν στην καλύτερη και ασφαλέστερη αποφυγή των εμποδίων αυτών. Τα αποτελέσματα από την κλάση "Detailed Route Plan Generator" είναι το επόμενο σημείο μετακίνησης, που εκφράζεται με τις συντεταγμένες Βορρά και Ανατολής (Northings, Eastings) καθώς επίσης και ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει στο επόμενο σημείο. Τα στοιχεία αυτά μαζί με την απαιτούμενη τροχιά (trajectory) μεταφέρονται στην κλάση "Hardware Abstraction Layer" που αποτελεί το σύστημα ελέγχου (control system) του οχήματος. Το σύστημα ελέγχου μεταφέρει τις πληροφορίες στα κινητήρια μέρη του γεωργικού εκλυστήρα με τη μορφή ταχύτητας και τροχιάς (trajectory).

Μία επίσης κλάση που λειτουργεί συνεχώς είναι ο έλεγχος κατάστασης του οχήματος και του περιβάλλοντος χώρου "Self Awareness". Η κλάση αυτή με τη βοήθεια αισθητήρων ελέγχει την σωστή λειτουργία επιμέρους μηχανικών και ηλεκτρικών τμημάτων του οχήματος. Επίσης, ελέγχει και τον περιβάλλοντα χώρο, όπως για παράδειγμα την ταχύτητα του αέρα και την υγρασία του εδάφους για να αποφασιστεί αν ο ψεκασμός ή η μηχανική κατεργασία αντίστοιχα, είναι δυνατή ή όχι.



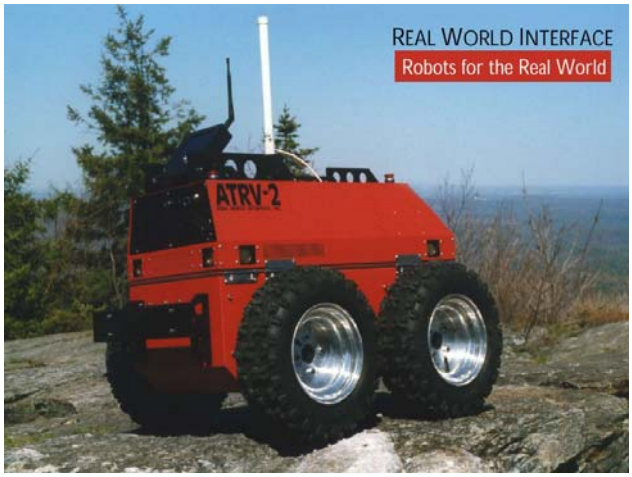
Σχήμα 1. Διάγραμμα λειτουργίας αυτοκινούμενου οχήματος στη γεωργία

Το σύστημα περιλαμβάνει και μία σειρά από βάσεις δεδομένων. Η βάση δεδομένων για έναν γεωργικό ελκυστήρα είναι η βάση δεδομένων για τον ίδιο ελκυστήρα, για το παρελκόμενο, η βάση δεδομένων του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφορικής (GIS) και τέλος η βάση δεδομένων καταγραφής όλων των εντολών της κλάσης "Supervisor". Η βάση δεδομένων για το γεωργικό ελκυστήρα εμπεριέχει στοιχεία με τις βασικές διαστάσεις, την ελεύθερη απόσταση από το έδαφος, τη γωνία περιστροφής, την χωρητικότητα καυσίμων, τη μέγιστη ταχύτητα κ.α. Η βάση δεδομένων για τα παρελκόμενα αναφέρει στοιχεία σχετικά με τις βασικές διαστάσεις την ελεύθερη απόσταση από το έδαφος, τη γωνία περιστροφής, τη χωρητικότητα καυσίμου, τη μέγιστη ταχύτητα εργασίας κ.α. Η βάση δεδομένων του GIS, εμπεριέχει στοιχεία

σχετικά με τη γεωργική έκταση στην οποία θα λειτουργεί το μηχάνημα. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, στοιχεία εδάφους, στοιχεία καλλιέργειας, στοιχεία αγροτεμαχίου, δρόμους, και σταθμούς ανεφοδιασμού καυσίμων. Η βάση καταγραφής δεδομένων "Data logging" καταγράφει τα στοιχεία που επεξεργάζεται η κλάση "Supervisor".

4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα λειτουργίας που περιγράφηκε πιο πάνω είναι το αρχικό στάδιο στην ανάπτυξη ενός γενικού πλαισίου για αυτοκινούμενα οχήματα στη γεωργία. Το επόμενο στάδιο είναι η περιγραφή κάθε μεμονωμένης κλάσης ξεχωριστά, η δημιουργία διαγραμμάτων εναλλαγής καταστάσεων (state-transition diagrams), ο έλεγχος με προγράμματα προσομοίωσης (simulation) και τέλος η δοκιμή τους με το ερευνητικό ρομτότ του εργαστηρίου που απεικονίζεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Ερευνητικό ρομπότ του εργαστηρίου

Η πρώτη εφαρμογή ήταν η πλοήγηση (navigation). Με μία σειρά από εντολές προγραμματισμού, το ερευνητικό όχημα, ανίχνευε το περιβάλλοντα χώρο, έβρισκε την περιοχή με τη μεγαλύτερη επιφάνεια για να προχωρήσει και σε απόσταση 1 μέτρου από εμπόδιο έστριβε δεξιά για την αποφυγή του. Όταν το εμπόδιο ερχόταν τόσο κοντά ώστε να το ακουμπήσει σταματούσε. Η δοκιμή αυτής της απλής συμπεριφοράς έγινε πέρα από το εργαστήριο, σε χώρο με αρκετά εμπόδια, πολλά από τα οποία ήταν κινούμενα.

Σημαντική προσπάθεια επιβάλλεται στο να χρησιμοποιηθούν υπάρχοντα συστήματα λειτουργίας (systems architectures) από τον ευρύτερο τομέα της

ρομποτικής για οχήματα όλων των εδαφών. Ένα από τα πιο πετυχημένα πρότυπα σήμερα είναι το λεγόμενο "hybrid system architecture" [1] το οποίο συνδυάζει reactive και deterministic συμπεριφορές. Η deterministic συμπεριφορά αποφασίζει την βασική κατεύθυνση του οχήματος με βάση τις απαιτήσεις για να πραγματοποιηθεί η εργασία. Η reactive 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 και θα μπορούν να λειτουργούν με ικανοποιητική ασφάλεια πραγματοποιόντας ακριβεις εργασίες στον αγρό. Το ολοκληρωμένο σύστημα λειτουργίας θα εφαρμοστεί σε μία πλατφόρμα οχήματος για τη μηχανική καταπολέμηση ζιζανίων [3].

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ _- ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας της πληροφορικής και με τις δυνατότητες που μας προσφέρει, είναι δυνατόν να κατασκευαστούν γεωργικά οχήματα που να κινούνται αυτόνομα με υψηλή νοημοσύνη. Τα μηχανήματα αυτά θα πρέπει να απαρτίζονται από μικρά αυτοκινούμενα τμήματα, τα οποία θα πρέπει να λειτουργούν αυτόνομα για ένα εκτεταμένο χρονικό διάστημα, εκτελώντας μία ή περισσότερες εργασίες. Για την περιγραφή αυτών των μηχανημάτων ένα διάγραμμα κλάσεων περιγράφει όλα τα επιμέρους τμήματα που θα πρέπει να περιέχονται στο σύστημα αυτό. Μέρη του προτεινόμενου συστήματος δοκιμάζονται με τη βοήθεια ενός ερευνητικού ρομπότ σε γεωργικές εφαρμογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Arkin, C.R., 1998. Behavior-based robotics. MIT Press.
2. Blackmore, S., Have, H. and Fountas, S., 2001. A specification of behavioural requirements for an autonomous tractor. ASAE Conference on Automation Technology for Off-Road Equipment. Chicago, USA, July 2002, p.:33-42
3. Have, H., Blackmore, S., Keller, B., Fountas, S., Nielsen, H., and Theilby, F., 2002. Autonomous weeder for Christmas tree plantations – a feasibility study. Paper 02-AE-023, European Conference of Agricultural Engineering, Budapest, Hungary, June 2002, p.: 42-44
4. Jahns, G. 2000. Navigating of agricultural field machinery. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 25, p.: 1-2
5. Jahns, G. 1983. Automatic guidance in agriculture: a review. Paper No. NCR 83-404. ASAE meeting, Weyburn, Saskatchewan, Canada, October 1983
6. Torii, Toru, 2000. Research in agricultural autonomous vehicles in Japan. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 25, Issue 1-2, p.:133-153.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΠΟΡΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΥΠΟ ΚΑΛΥΨΗ

Θ. Σταθάκος και Θ. Γέμτος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας,
Φυτόκο 39446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κάλυψη της γραμμής σποράς του βαμβακιού με πλαστικό εφαρμόζεται από ορισμένους αγρότες για πάνω από μία δεκαετία στην Ελλάδα με ειδικό εξοπλισμό, ο οποίος προσαρμόζεται πίσω από τη σπαρτική μηχανή. Στην παρούσα μελέτη, μετρήθηκαν οι ελκτικές δυνάμεις που ασκεί ο γεωργικός ελκυστήρας σε μια σπαρτική με εξοπλισμό για εδαφοκάλυψη και μια συμβατική σπαρτική, με σκοπό τη σύγκριση της απόδοσης σποράς των δύο συστημάτων. Η σπαρτική εδαφοκάλυψης χρειάστηκε 202% περισσότερη ελκτική δύναμη και κατανάλωσε συνολικά 67,6% περισσότερη ενέργεια. Η πραγματική απόδοση σποράς της συμβατικής σπαρτικής ήταν 2,6 φορές μεγαλύτερη.

Λέξεις κλειδιά: εδαφοκάλυψη, βαμβάκι, σπαρτική μηχανή, ελκτικές δυνάμεις, κατανάλωση ενέργειας

EXPERIMENTAL STUDY OF THE MACHINERY FOR COTTON SOWING UNDER PLASTIC COVER

Th. Stathakos and Th. Gemtos
University of Thessaly, Laboratory of Farm Mechanization,
Fytoko 39446, N. Ionia, Magnisia, Greece

ABSTRACT

Cotton sowing under plastic is applied by some farmers for over a decade in Greece with a specially designed equipment which is attached on the planter. In this study, draft forces of a planter with the attached equipment and a conventional planter were measured. Sowing rate was also measured. The planter with the attached equipment required 202% more draft force and consumed totally 67,6% more energy. The real sowing rate of the conventional planter was 2,6 times faster.

Keywords: sowing under cover, cotton, planter, draft forces, energy consumption

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία καλλιεργητική τεχνική που εφαρμόζεται σε μικρή κλίμακα στη χώρα μας, η οποία επιτρέπει την εφαρμογή της επιθυμητής πρώιμης σποράς χωρίς τον κίνδυνο των δυσμενών καιρικών συνθηκών, είναι η κάλυψη της γραμμής σποράς βαμβακιού με ειδικό διαφανές φύλλο, από γραμμικό πολυαιθυλένιο.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [1], η πρώτη ιδέα κάλυψης της γραμμής σποράς στο βαμβάκι, ξεκίνησε στην πρώην Ε.Σ.Σ.Δ. το 1963 και στις Η.Π.Α. το 1964.

Η μέθοδος της κάλυψη της γραμμής σποράς με πλαστικό εφαρμόζεται σε πολλές χώρες για καλλιέργειες κηπευτικών. Στη Δανία [2], λαχανικά σπέρνονται στον πυθμένα ενός τούνελ βάθους 8 cm, και καλύπτονται κατευθείαν μετά τη σπορά. Αυτή η μέθοδος ωστόσο είναι πολύ χρονοβόρα και ο έλεγχος των ζιζανίων πολύ δύσκολος. Στη Φιλανδία [3], η χρήση του πολυαιθυλενίου μεταξύ άλλων υλικών εδαφοκάλυψης όπως το χαρτί, το πισσόχαρτο, το άχυρο και η τύρφη, αύξησε τη θερμοκρασία εδάφους και είχε ως αποτέλεσμα αύξηση των αποδόσεων σε καλλιέργεια αγγουριών κατά 40-50 % όταν οι θερμοκρασίες ήταν φυσιολογικές και 100-200 % όταν οι θερμοκρασίες ήταν κάτω από το φυσιολογικό. Οι De Muynck et al., [4], μελέτησαν την ανάπτυξη λαχανικών (τομάτες, φράουλες, πιπεριές, πεπόνια) μέσα σε μικρά τούνελ, καλυμμένα από διάφορα είδη πλαστικού (2 είδη πλαστικού υπέρυθρης ακτινοβολίας, 1 κανονικό πολυαιθυλένιο και διάτρητα πλαστικά).

Στη χώρα μας, το πρώτο πείραμα κάλυψης της γραμμής σποράς βαμβακιού με πολυαιθυλένιο, έγινε την τριετία 1972-74 [5]. Τα αποτελέσματα της χρήσης της μεθόδου ήταν η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας εδάφους, αύξηση του ποσοστού και μείωση της διάρκειας φυτρώματος, πρωίμιση της καλλιέργειας και αύξηση της μέσης απόδοσης. Η προσπάθεια αυτή όμως δεν είχε συνέχεια, λόγω έλλειψης κατάλληλης τεχνολογίας για την εφαρμογή της κάλυψης στην πράξη με συνθήκες παραγωγού (προσωπική επικοινωνία με Γαλανοπούλου).

Το 1981, άρχισε στην Ισπανία η εκμηχανισμένη εφαρμογή της κάλυψης της γραμμής σποράς βαμβακιού από διαφανές πλαστικό, με εντατικό ρυθμό και θεαματικά αποτελέσματα. Χρησιμοποιήθηκε ειδικός εξοπλισμός προσαρμοσμένος σε σπαρτική μηχανή, για ταυτόχρονη σπορά και κάλυψη. Οι παραγωγοί δοκίμασαν τη νέα καλλιεργητική τεχνική στο βαμβάκι, προφανώς με επιτυχία, καθώς από το 1981 και μετά, οι εκτάσεις που καλύπτονταν με πλαστικό αυξάνονταν συνεχώς. Με τη χρήση της μεθόδου η τελική απόδοση σε σύσπορο βαμβάκι αυξήθηκε κατά 22%. Σε 10 χρόνια εξέλιξης της τεχνικής, έγιναν πολυάριθμες τροποποιήσεις για τη βελτίωση των επιδράσεών της και τη μείωση του κόστους της. Οι βελτιώσεις που ήταν πορίσματα έρευνας και πειραμάτων ή παρατηρήσεις των ίδιων των παραγωγών, είχαν σχέση με τον τύπο του πλαστικού, τις διαστάσεις του, τη μέθοδο τοποθέτησής του, τη μέθοδο διάτρησής του και τη χρονική περίοδο που παραμένει στο χωράφι [6].

Στην Ελλάδα, το 1986 η εταιρία Dow Hellas σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών και τον Οργανισμό Βάμβακος, άρχισε να διερευνά την εκμηχανισμένη πλέον εφαρμογή και μάλιστα με πολυαιθυλένιο που αποικοδομείται από τον ήλιο. Οι προσπάθειες αυτές όμως δεν απέδωσαν, καθώς υπήρξε πρόβλημα με τη διάσπαση-αποσύνθεση του πλαστικού στις άκρες του, που ήταν σκεπασμένες με χώμα (προσωπική επικοινωνία με Γαλανοπούλου). Το επόμενο βήμα πραγματοποιήθηκε από τις ιδιωτικές εταιρείες Δάϊος Πλαστικά Α.Ε. και Dow Hellas οι οποίες προώθησαν την ιδέα της εδαφοκάλυψης της γραμμής σποράς οργανώνοντας ενημερωτικές εκδηλώσεις για παραγωγούς. Το 1991 περίπου, άρχισε και στη χώρα μας η εφαρμογή της μεθόδου από τους παραγωγούς [7].

Για την κάλυψη της γραμμής σποράς του βαμβακιού απαιτείται ειδικός μηχανικός εξοπλισμός. Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη χώρα μας, βασιζόταν στο αντίστοιχο Ισπανικό [8]. Η εταιρεία γεωργικών μηχανημάτων που κατασκεύασε και βελτίωσε τον αρχικό εξοπλισμό για την κάλυψη, ήταν η Γ. Χίγκας Α.Β.Ε.Ε. Γεωργοτεχνική, και στη συνέχεια η εταιρεία Κατασκευές Θ. Κορκοκίου έκανε σημαντικές βελτιώσεις στον αρχικό και κατασκεύασε το πιο εξελιγμένο και τελικό μέχρι σήμερα εξάρτημα [7].

Το μηχάνημα που αρχικά χρησιμοποιήθηκε στη χώρα μας παρουσίασε σημαντικά μειονεκτήματα. Το πρώτο μειονέκτημά του ήταν ότι ο κύλινδρος του πλαστικού, ο οποίος ήταν τοποθετημένος σε έναν άξονα ψηλά σε σχέση με τον υπόλοιπο μηχανισμό και περιστρεφόταν ξετυλίγοντας το πλαστικό με ελκτική δύναμη που ασκούσε το παραχωμένο πλαστικό, καθώς η σπαρτική με τον εξοπλισμό κάλυψης μετεκινείτο προς τα εμπρός. Το αποτέλεσμα ήταν, η εργασία να γίνεται πολύ δύσκολα όταν έπνεε δυνατός άνεμος, καθώς το πλαστικό φούσκωνε και συχνά κοβόταν. Στο βελτιωμένο μηχάνημα, τα προβλήματα αυτά ξεπεράστηκαν γιατί ο κύλινδρος του πλαστικού τοποθετείται χαμηλά και περιστρέφεται με τη βοήθεια ελαστικών τροχών. Εξάλλου, το αρχικό μηχάνημα δεν επιτύγχανε καλή κάλυψη στις άκρες του πλαστικού με χώμα, γιατί την εργασία αυτή εκτελούσαν υνιά. Στο βελτιωμένο μηχάνημα, τα υνιά αντικαταστάθηκαν με δίσκους και τα προβλήματα της κακής κάλυψης του πλαστικού ξεπεράστηκαν. Έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία από τη χρήση του εξοπλισμού κάλυψης τα τελευταία χρόνια από τους αγρότες.

Ο αντικειμενικός σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η σύγκριση της συμβατικής σπαρτικής μηχανής για βαμβάκι με τη σπαρτική μηχανή που διαθέτει εξοπλισμό εδαφοκάλυψης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η μελέτη υλοποιήθηκε το Μάρτιο του 2000, σε αγροτεμάχιο της περιοχής Χάλκης του νομού Λάρισας. Η μηχανική ανάλυση του εδάφους του αγροτεμαχίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Το αγροτεμάχιο ήταν ισοπεδωμένο. Η προηγούμενη καλλιέργεια του αγροτεμαχίου ήταν βαμβάκι. Το φθινόπωρο του 1999, τα φυτικά υπολείμματα της καλλιέργειας τεμαχίστηκαν με

στελεχοκόπτη και ακολούθησε όργωμα με άροτρο. Τέλος Ιανουαρίου έγινε επέμβαση με ελαφρό καλλιεργητή και η προετοιμασία της σποροκλίνης για σπορά έγινε στις αρχές Μαρτίου με ελαφρό καλλιεργητή.

Πίνακας 1. Ανάλυση εδάφους

Βάθος δείγματος (cm)	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Άργιλος (%)	Τύπος	Ολικό $CaCO_3$ (%)	Οργανική Ουσία (%)
0-30	21	22	57	C	3.0	1.9

Γεωργικός ελκυστήρας ισχύος 72 HP (53 KW), Steyr turbo 8080 με κίνηση στους πίσω τροχούς και στενά ελαστικά ώστε να μην εμποδίζεται η λειτουργία των εξαρτημάτων που ακολουθούν, χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις έλξης των μηχανημάτων. Στον ελκυστήρα εγκαταστάθηκε εξοπλισμός ηλεκτρονικής καταγραφής της διακύμανσης της ελκτικής δύναμης που ασκεί ο γεωργικός ελκυστήρας στο μηχάνημα κατά την εργασία του στο χωράφι [9]. Ο εξοπλισμός αυτός κατασκευάστηκε και βαθμονομήθηκε από το Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.. Απετελείτο από αισθητήρια δύναμης, το αναλογικό σήμα εξόδου των οποίων, αφού μετατρεπόταν σε ψηφιακό με τη χρήση μετατροπέα A/D, αποθηκευόταν στη μνήμη ηλεκτρονικού υπολογιστή PC 386. Η σειρά και η συχνότητα δειγματοληψίας είχαν προγραμματιστεί. Εγκαταστάθηκε για τη μέτρηση της απορροφόμενης ισχύος από το δυναμοδότη όργανο μέτρησης της ροπής και της γωνιακής ταχύτητας [9].

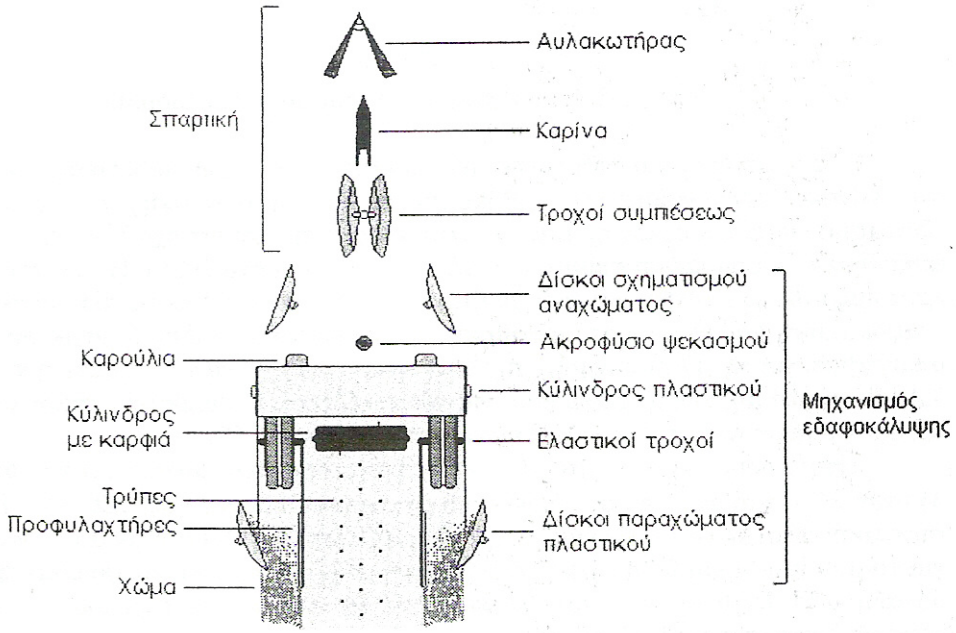
Χρησιμοποιήθηκε πνευματική σπαρτική μηχανή που παραχωρήθηκε από γεωργό της περιοχής, τύπου Nodet Gougis Pneumasem II, τεσσάρων στοιχείων, με 96 cm απόσταση μεταξύ αυτών. Ρυθμίστηκε το βάθος σποράς από τους πίσω ρυθμιστικούς τροχούς βάθους στα 2 cm. Τα σποροκιβώτια της μηχανής δεν περιείχαν σπόρο. Πρώτα μελετήθηκε η σπαρτική μηχανή χωρίς τον εξοπλισμό εδαφοκάλυψης και στη συνέχεια, μελετήθηκε η ίδια μηχανή με τοποθετημένο τον εξοπλισμό για εδαφοκάλυψη. Για την πραγματοποίηση της κάλυψης της γραμμής σποράς χρησιμοποιήθηκε ο μηχανικός εξοπλισμός που χρησιμοποιούν οι αγρότες της περιοχής (Σχήμα 1). Ταυτόχρονα με τη σπορά και την κάλυψη εφαρμόζεται και ψεκασμός μετασπαρτικού ζιζανιοκτόνου από το ακροφύσιο του σχήματος 1. Εμπρός από τον γεωργικό ελκυστήρα τοποθετήθηκε το βυτίο του ψεκαστικού διαλύματος και μια ηλεκτρική αντλία που ωθούσε το διάλυμα προς τα ακροφύσια.

Η ελκτική δύναμη της απλής σπαρτικής και της σπαρτικής με εξοπλισμό εδαφοκάλυψης, μετρήθηκε σε δύο ταχύτητες εργασίας του ελκυστήρα. Σε κάθε ταχύτητα ελήφθησαν τέσσερις μετρήσεις. Ο ίδιος αριθμός στροφών του κινητήρα, 1500 rpm, χρησιμοποιήθηκε για κάθε ταχύτητα και κάθε μηχανή. Ο ελκυστήρας, αρχικά επιταχυνόταν ως τον παραπάνω αριθμό στροφών με τη μηχανή στο έδαφος, και η μέτρηση λαμβανόταν στη συνέχεια με σταθερό αριθμό στροφών.

Μετρήθηκε η ταχύτητα εργασίας του ελκυστήρα με όλα τα παρελκόμενα. Ορίστηκαν διαστήματα μήκους 10 m με δείκτες και μετρήθηκαν

με χρονόμετρο χειρός οι χρόνοι κάθε μηχανήματος από τον ένα ως τον άλλο δείκτη. Μετρήθηκε και η ταχύτητα του ελκυστήρα με ανασηκωμένο το σπαρτικό συγκρότημα και εκτιμήθηκε το ποσοστό ολίσθησης του ελκυστήρα από τις δύο αυτές μετρούμενες ταχύτητες. Υπολογίστηκε η απαιτούμενη ισχύς έλξης των μηχανημάτων, από το γινόμενο της μετρούμενης ελκτικής δύναμης με τη μετρούμενη ταχύτητα εργασίας. Υπολογίστηκε η θεωρητική απόδοση σποράς, από το γινόμενο του πλάτους εργασίας με τη μετρούμενη ταχύτητα εργασίας κάθε μηχανήματος. Η απορροφόμενη ενέργεια των μηχανημάτων ανά στρέμμα, υπολογίστηκε από την απαιτούμενη ισχύ και τη θεωρητική απόδοση σποράς. Εκτιμήθηκε η πραγματική απόδοση σποράς με μέτρηση του χρόνου που μεσολαβεί από το γέμισμα της σπαρτικής μηχανής με σπόρο μέχρι το επόμενο γέμισμα στις δύο παραπάνω ταχύτητες.

Μετρήσεις των φυσικών ιδιοτήτων εδάφους, έλαβαν χώρα πριν από τη μέτρηση των ελκτικών δυνάμεων. Η αντίσταση του εδάφους σε διείσδυση (cone index), προσδιορίστηκε με ηλεκτρονικό διεισδυσιόμετρο σύμφωνα με τα standards των ASAE [10]. Ο κώνος του διεισδυσιόμετρου είχε βάση 129 mm^2, και γωνία 30^0. Ταυτόχρονα με τη μηχανική αντίσταση, μετρήθηκαν με δειγματοληψία το φαινόμενο ειδικό βάρος και η υγρασία του εδάφους μετά από ξήρανση των δειγμάτων σε ειδικό φούρνο για 24 ώρες στους 105^0C.



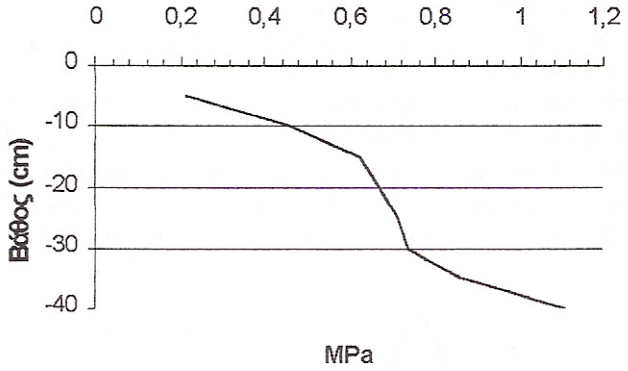
Σχήμα 1. Μηχανισμός κάλυψης της γραμμής σποράς

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους, πριν την κατεργασία του και στο Διάγραμμα 1, η αντίσταση του εδάφους σε διείσδυση.

Πίνακας 2. Φυσικές ιδιότητες εδάφους

Βάθος μέτρησης (cm)	**0-5**	**5-10**
Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (gr/cm^3)	1,06	1,15
Υγρασία (%)	9,3	10,71



Διάγραμμα 1. Αντίσταση του εδάφους σε διείσδυση

Τα αποτελέσματα μετρήσεων των ελκτικών δυνάμεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Η δύναμη που ασκήθηκε για την έλξη της σπαρτικής μηχανής με εξοπλισμό για εδαφοκάλυψη, ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη δύναμη που ασκήθηκε στη συμβατική σπαρτική κατά 1,56 kN, ποσοστό 202%. Η ταχύτητα εργασίας ήταν ίδια στη συμβατική σπαρτική και στη σπαρτική με εξοπλισμό για εδαφοκάλυψη και το ποσοστό ολίσθησης ήταν πρακτικά το ίδιο. Η ισχύς που απαιτήθηκε για την έλξη των μηχανημάτων ήταν 1,14 kW για τη συμβατική και 3,4 kW για τη μηχανή με εξοπλισμό για εδαφοκάλυψη. Η συμβατική σπαρτική εξοικονόμησε συνεπώς 2,26 kW ελκτική ισχύ ποσοστό 66,5%.

Η μετρούμενη ροπή στο δυναμοδότη της σπαρτικής μηχανής (Πίνακας 3) ήταν 39,9 N·m στις 540 στρ./min και ως εκ τούτου η ισχύς ήταν 2,25 kW. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά στρέμμα (ελκτική + PTO) ήταν 0,17 kWh για τη συμβατική και 0,28 kWh για τη μηχανή με εξοπλισμό για εδαφοκάλυψη, δηλαδή 0,11 kWh απαιτούνται επιπλέον για τη σπορά ενός στρέμματος με εδαφοκάλυψη, ποσοστό 67,6%.

Η θεωρητική απόδοση σποράς ήταν παρόμοια, 20,3 στρέμματα ανά ώρα για τη συμβατική σπορά και 20 στρέμματα ανά ώρα για τη σπορά υπό κάλυψη (Πίνακας 3). Η πραγματική απόδοση συμβατικής σποράς όμως ήταν 18,2 στρέμματα ανά ώρα και η πραγματική απόδοση σποράς υπό κάλυψη ήταν 6,9 στρέμματα ανά ώρα. Οι διαφορές μεταξύ της θεωρητικής και της πραγματικής

απόδοσης συμβατικής σποράς κυρίως προκύπτουν από το χρόνο που χάνεται για την εκτέλεση ελιγμών του ελκυστήρα στις άκρες του χωραφιού και το χρόνο πλήρωσης των σποροκιβωτίων της σπαρτική μηχανής με σπόρο. Στη σπορά υπό κάλυψη, σημαντικός χρόνος χάνεται στην τροφοδοσία του εξοπλισμού για εδαφοκάλυψη με τους κυλίνδρους του πλαστικού, οι οποίοι δεν εξαντλούνται ταυτόχρονα και στην πλήρωση του βυτίου ζιζανιοκτονίας με το διάλυμα ψεκασμού. Επιπλέον, στη σπορά υπό κάλυψη για την πλήρωση των σποροκιβωτίων με σπόρο απαιτείται περισσότερος χρόνος καθώς αυτά είναι μάλλον δυσπρόσιτα λόγω του επιπρόσθετου εξοπλισμού και ένας εργάτης δυσκολεύεται να εκτελέσει την εργασία. Περισσότερος χρόνος απαιτείται και στις αναστροφές του γεωργικού ελκυστήρα στις άκρες του χωραφιού καθώς το πλαστικό πρέπει στην αρχή να τοποθετηθεί στο έδαφος και να σκεπαστεί με χώμα και στο τέλος να κοπεί και επίσης να σκεπαστεί. Τέλος, χάνεται χρόνος όταν το πλαστικό κόβεται λόγω τυχαίου κωλύματος όπως εμπλοκή πέτρας ή φυτικών υπολειμμάτων στο μηχανισμό εδαφοκάλυψης και πρέπει να γίνει ανάταξη.

Πίνακας 3. Μέσοι όροι απόδοσης σπαρτικών μηχανών τεσσάρων σειρών (συμβατικής και με εξοπλισμό για εδαφοκάλυψη).

Μέτρηση	Χαρακτηριστικό	Συμβατική σπαρτική	Σπαρτική με εξοπλισμό για εδαφοκάλυψη
Ελκτική	Ελκτική δύναμη (N)	772	2334
	Πλάτος εργασίας (m)	3,84	3,84
	Ταχύτητα εργασίας (km/h)	1,46	1,46
	Ταχύτητα κίνησης (km/h)	1,49	1,49
	Ποσοστό ολίσθησης (%)	2,14	2,35
	Θεωρητική απόδοση σποράς (στρ./h)	20,3	20,0
	Πραγματική απόδοση σποράς (στρ./h)	18,2	6,9
	Ισχύς (kW)	1,14	3,4
	Ενέργεια / στρ. (kWh/στρ.)	0,06	0,17
PTO	Ροπή (N m)	39,9	39,9
	PTO (στροφές/min)	540	540
	Ισχύς (kW)	2,25	2,25
	Ενέργεια / στρ. (kWh/στρ.)	0,11	0,11
Συνολική απαιτούμενη Ισχύς (kW)		3,39	5,66
Συνολική Ενέργεια / στρ. (kWh/στρ.)		0,17	0,28

Το κόστος της συμβατικής σποράς, με βάση τις τιμές που χρεώνουν οι επαγγελματίες της περιοχής είναι 2,7 € ανά στρέμμα. Με βάση τους πραγματικούς ρυθμούς σποράς, η σπορά υπό κάλυψη χρειάζεται 164% περισσότερο χρόνο από τη συμβατική. Αν υπολογίσουμε το κόστος της σποράς υπό κάλυψη θα πρέπει να είναι αντίστοιχα 164% πιο ακριβό, δηλαδή 7,1 €. Θα πρέπει να υπολογιστεί επίσης και το κόστος εφαρμογής της μετασπαρτικής ζιζανιοκτονίας, καθώς η εργασία αυτή περιλαμβάνεται στη σπορά υπό κάλυψη. Η τιμή που χρεώνουν οι επαγγελματίες τις περιοχής για τον ψεκασμό ενός

χωραφιού είναι 1,2 € ανά στρέμμα. Τέλος, το κόστος μόνο της κάλυψης είναι 2,7 € ανά στρέμμα. Ως εκ τούτου, συνολικά το κόστος της σποράς υπό κάλυψη θα έπρεπε να ανέρχεται στα 11 € ανά στρέμμα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η σπαρτική μηχανή με το μηχανισμό εδαφοκάλυψης χρειάστηκε 202% περισσότερη ελκτική δύναμη.
2. Η σπαρτική μηχανή με το μηχανισμό εδαφοκάλυψης κατανάλωσε συνολικά 67,6% περισσότερη ενέργεια από τη συμβατική.
3. Η απόδοση σποράς της συμβατικής σπαρτικής ήταν 2,6 φορές ταχύτερη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χρηστίδης Β., 1965. Το Βαμβάκι. Θεσσαλονίκη 1965, σελ 743.
2. Jensen J., 1973. The use of plastic film as a growth stimulating factor, especially on growing outdoor – cucumber. ISHS Acta Horticulturae 27: Symposium on timing of the Field – production of Vegetable Crops. ISSN 0567-7572.
3. Salokangas K., 1973. Effect of polyethylene and paper mulching on yield and earliness of pickling cucumber. ISHS Acta Horticulturae 27: Symposium on timing of the Field – production of Vegetable Crops. ISSN 0567-7572.
4. De Muynck B., R. Vandevelde, B. Hassine, 1984. Influence of the microclimate and yield of different vegetable crops grown under small plastic tunnels covered with different types of plastics. ISHS Acta Horticulturae 154: II International Symposium on Plastics in Mediterranean Countries.
5. Γαλανοπούλου Ν. Σ., Μαρκούση Γ. Σ., Χλίχλια Γ. Α., 1978. Επίδραση της εποχής σποράς και της καλύψεως με πολυαιθυλένιο στο βαμβάκι (*Gossypium hirsutum* L.). ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ τεύχος ΙΙ: 167-179, 1978.
6. ICAC RECORDER, 1990. Cotton sowing under plastic: some observations from Spain. June 1990.
7. Σταθάκος Θ., 1995. Πρώιμη σπορά βαμβακιού με κάλυψη της γραμμής σποράς με πολυαιθυλένιο. Πτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής. Βόλος 1995.
8. Marquez F. P., 1993. Growing cotton under plastics film. Plasticulture, n° 98 - 2.
9. Γέμτος Θ. Α., Ι. Παπαθανασίου, Θ. Κυλινδρής, Χ. Καραμούτης. 2000. Όργανα για μέτρηση απορροφμενης ισχύος από παρελκόμενα ενός ελκυστήρα. 2° Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής. Τόμος Εισηγήσεων. Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας. σελ: 465-472.
10. ASAE Standards, 1997. 44th Ed. S313.2. Soil cone penetrometer. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΙΣΠΟΡΟΥ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Α. Σ. Λιθουργίδης[1] και Κ. Α. Τσατσαρέλης[2]
[1] Αγρόκτημα Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
[2] Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας Α.Π.Θ., e-mail: tsatsare@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αγροτεμάχιο του Αγροκτήματος του Α.Π.Θ. εφαρμόσθηκαν για δύο συνεχόμενα έτη δύο διαφορετικές τεχνικές καλλιέργειας του εδάφους, σε επίσπορο αραβόσιτο, με σκοπό να αξιολογηθεί η επίδρασή τους στον αριθμό φυτών, στην απόδοση σε βιομάζα και στο ενεργειακό κόστος της καλλιέργειας. Στη μία επέμβαση εφαρμόσθηκε η τεχνική της κατευθείαν σποράς πάνω στην καλαμιά, με ειδική σπαρτική μηχανή, ενώ στην άλλη η σπορά έγινε μετά από τη συνήθη κατεργασία του εδάφους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση σε συνολική βιομάζα ήταν μικρότερη στην κατευθείαν σπορά το πρώτο έτος του πειράματος, ενώ το δεύτερο έτος δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο καλλιεργητικών τεχνικών. Κατά τη φάση προετοιμασίας και σποράς υπήρξε σημαντική οικονομία χρόνου και καυσίμου στα τεμάχια της κατευθείαν σποράς.

Λέξεις κλειδιά: αραβόσιτος, κατευθείαν σπορά, παραδοσιακή κατεργασία**.**

IMPACT OF TILLAGE SYSTEMS TO YIELD AND FUEL COST IN MAIZE FOR SILAGE

A.S. Lithourgidis[1] and K.A. Tsatsarelis[2]
[1]Experimental Farm of Aristotle University of Thessaloniki
[2]Lab. of Agricultural Engineering, Aristotle University of Thessaloniki,
e-mail:tsatsare@agro.auth.gr

ABSTRACT

In order to study the impact of the cultivation techniques to crop yield, labor, time and fuel cost, of maize for silage, experiments were carried out, at the experimental farm of the University of Thessaloniki, for two consecutive years. Experiments were established with two treatments: direct drilling and conventional tillage. The results are: there were statistical differences concerning the wet mass of maize between the two treatments, in the first year and no differences in the second. Considerable savings in time and fuel were calculated for direct drilling, during establishment period.

Keywords: maize for sillage, direct drilling, conventional tillage

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γεωργικό ενδιαφέρον αυξάνεται διεθνώς για συστήματα μειωμένης κατεργασίας του εδάφους πριν την σπορά, καθώς και για την τεχνική της κατευθείαν σποράς ή μηδενικής κατεργασίας του εδάφους ή ακαλλιέργειας (non-tillage ή zero-tillage). Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται κυρίως σε καλλιέργεια αραβοσίτου για καρπό και ενσίρωση, σε χειμερινά σιτηρά και λιγότερο σε άλλες καλλιέργειες [1], [2], [3]. Οι σημαντικότεροι λόγοι για τους οποίους προτιμάται η μέθοδος της κατευθείαν σποράς είναι η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου και η μείωση του χρόνου που απαιτείται για την εγκατάσταση της καλλιέργειας [4], [5], [6], [7], [8]. Επιπλέον, η τεχνική αυτή συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του εδάφους από διάβρωση, στην βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους, στην βελτίωση της δομής και γενικότερα στην βελτίωση της παραγωγικότητάς του [9], [10], [11], [12], [13].

΄Οσον αφορά τις αποδόσεις των φυτών που καλλιεργούνται με την παραπάνω τεχνική, όπως προκύπτει από την βιβλιογραφία σε διάφορες καλλιέργειες, ουσιαστικά δεν υστερούν έναντι των αποδόσεων των παραδοσιακών μεθόδων κατεργασίας ή και εκείνων της μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. Ορισμένες φορές οι αποδόσεις είναι μειωμένες [8], [14], [15], ενώ άλλες φορές αντίστοιχες ή και υψηλότερες, σε σύγκριση με εκείνες των παραδοσιακών συστημάτων [7], [16], [17]. Τα τελευταία χρόνια γίνεται αποδεκτό ότι η μηχανική σύσταση και η υγρασία του εδάφους, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία, που επικρατούν την εποχή της εγκατάστασης της καλλιέργειας, επηρεάζουν σημαντικά τις αποδόσεις. Γενικώς καλώς στραγγιζόμενα και θερμά κατά την περίοδο αυτή εδάφη δίνουν αποδόσεις με το σύστημα της μηδενικής κατεργασίας ίσες ή και υψηλότερες απ΄ ό,τι με τις παραδοσιακές μεθόδους. Αντίθετα υγρά, βαριά και μη καλώς στραγγιζόμενα εδάφη, κρύα κατά την εποχή της σποράς, δίνουν μικρότερες αποδόσεις [18], [19], [20], [21], [22].

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να μελετηθεί η επίδραση δύο καλλιεργητικών τεχνικών προετοιμασίας του εδάφους πριν την σπορά επίσπορου αραβοσίτου, στον αριθμό φυτών, στην συνολική βιομάζα και στο κόστος των καυσίμων της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Σε αγροτεμάχιο του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης εγκαταστάθηκε καλλιέργεια επίσπορου αραβοσίτου (*Zea mays* L.) για ενσίρωση, για δύο συνεχόμενα έτη (1998 και 1999), σε έδαφος CL με pH 8 και οργανική ουσία 1,25, σε συνέχεια ανάλογου πειράματος του προηγούμενου έτους 1997 [7]. Το πείραμα ήταν δύο επεμβάσεων με 10 επαναλήψεις. Οι δύο επεμβάσεις αφορούσαν τον τρόπο σποράς και κατεργασίας του εδάφους. Στη μια εφαρμόσθηκε το σύστημα της κατευθείαν σποράς, στην καλαμιά της προηγούμενης καλλιέργειας, και στη δεύτερη το κλασικό, συνήθως εφαρμοζόμενο, σύστημα καλλιέργειας. Το μέγεθος του κάθε πειραματικού

τεμαχίου ήταν 6 x 40 m. Η προηγούμενη καλλιέργεια ήταν χειμερινό μαλακό σιτάρι ποικιλίας Yecora, που συγκομίζονταν το 2^{ο} δεκαήμερο του Ιουνίου κατά τα έτη 1998, 1999. Αμέσως μετά τη συγκομιδή γινόταν συλλογή και δεματοποίηση του αχύρου, με απόδοση περίπου 350 kg/στρ. Το ύψος θερισμού των σιτηρών ήταν 20-25 cm.

Στα τεμάχια της κατευθείαν σποράς μετά τη δεματοποίηση του αχύρου επακολουθούσε εφάπαξ λίπανση με 24 kg N και 7 kg P_2O και στη συνέχεια σπορά το πρώτο πενθήμερο του Ιουλίου των παραπάνω ετών. Οι αποστάσεις ρυθμίστηκαν σε 75 cm μεταξύ των σειρών και 15,5 cm επί των σειρών. Η ποικιλία που σπάρθηκε σ΄ όλα τα τεμάχια ήταν η Pioneer PR 3245 (Constanza), σε ποσότητα που αντιστοιχεί σε περίπου 8.600 φυτά/στρ. Η σπαρτική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε ήταν, ειδική για κατευθείαν σπορά, Gaspardo 4 σειρών. Η διάνοιξη των αυλακιών γινόταν με δίσκο κυματοειδή, ακολουθούμενο από δεύτερο μικρότερο, επίσης κυματοειδή. Το διασπαρτικό σύστημα ήταν μηχανικό. Η κάλυψη των σπόρων γινόταν με τροχό και ειδική κατασκευή με δύο L κατοπτρικά. Στα τεμάχια όπου εφαρμόσθηκε η κλασική κατεργασία του εδάφους πριν την σπορά γινόταν άροση σε βάθος 25 cm, λίπανση με την ίδια ποσότητα και τύπο λιπάσματος, όπως και στην κατευθείαν σπορά, επακολουθούσε κατεργασία με δισκοσβάρνα και στη συνέχεια με καλλιεργητή. Στη συνέχεια γινόταν σπορά, την ίδια ημέρα με τα τεμάχια της κατευθείαν σποράς, με πνευματική σπαρτική καλαμποκιού Gaspardo 4 σειρών, στις ίδιες αποστάσεις με τις αντίστοιχές της κατευθείαν σποράς.

Μετά τη σπορά, σε όλα τα τεμάχια πραγματοποιούνταν προφυτρωτική εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου Lasso AT (Alachlor 33,6% + Atrazine 14,4%), σε δόση 500 ml/στρ. Επιπλέον γινόταν μεταφυτρωτική εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου Rush (rimsulfuron 25%) σε δόση 5 gr/στρ. για την καταπολέμηση του βέλιουρα (*Sorghum halepense* L.). Επιπλέον, στα τεμάχια της κλασικής κατεργασίας γινόταν εφαρμογή σκαλιστικού, όπως συνηθίζεται στην καλλιεργητική πρακτική του αραβοσίτου, για αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των ζιζανίων. Κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου εφαρμόσθηκαν 7 αρδεύσεις με καταιονισμό, με συνολική ποσότητα νερού 315 mm το πρώτο έτος και 6 αρδεύσεις με ποσότητα 270 mm το δεύτερο έτος.

Μετρήθηκε ο αριθμός των φυτών (σε τέσσερις διαφορετικές σειρές των 4 μέτρων σε κάθε πειραματικό τεμάχιο), η παραγωγή συνολικής βιομάζας, ο χρόνος και η κατανάλωση καυσίμου. Η συγκομιδή γινόταν το δεύτερο δεκαήμερο του Οκτωβρίου (τρεισήμισι μήνες μετά τη σπορά, περίπου 105 ημέρες). Για τη συγκομιδή χρησιμοποιήθηκε ημιφερόμενη μηχανή ενσίρωσης δύο γραμμών τύπου Rottinger Mex-profi k.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αριθμός φυτών στο στρέμμα. Ο συνολικός αριθμός των φυτών που φύτρωσαν και αναπτύχθηκαν στα τεμάχια της κατευθείαν σποράς ήταν σημαντικά μικρότερος από τον αριθμό των φυτών της κλασικής κατεργασίας και

τις δύο καλλιεργητικές περιόδους (πίνακας 1). Μάλιστα κατά το πρώτο έτος ο αριθμός των φυτών και στις δύο επεμβάσεις ήταν μικρότερος από ό,τι το δεύτερο έτος. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στις ιδιαίτερα δύσκολες συνθήκες σποράς το 1998. Συγκεκριμένα, το χωράφι δεν είχε καθόλου υγρασία, με αποτέλεσμα να υπάρξει δυσχέρεια κατά την σπορά και στις δύο επεμβάσεις. Ιδιαίτερη δυσκολία υπήρξε στην κατευθείαν σπορά, λόγω της δυσχέρειας της μηχανής να διεισδύσει στο ξερό έδαφος, όπου και ο τροχός σποράς ολισθαίνει, με αποτέλεσμα το σπαρτικό στοιχείο να αφήνει λιγότερους σπόρους στο στρέμμα. Έτσι το 1998 ο αριθμός των φυτών στην κατευθείαν σπορά ήταν κατά 26,36% μικρότερος από τον μάρτυρα, ενώ το 1999 μόνο κατά 16,15%. Προηγούμενα πειράματα σε αραβόσιτο δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές στο αριθμό των φυτών μεταξύ της κλασικής και της κατευθείαν σποράς ([7]. Επιπλέον, στον μάρτυρα παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ομοιομορφία όσον αφορά τις αποστάσεις των φυτών μεταξύ τους, απ΄ ό,τι στην κατευθείαν σπορά (αδημοσίευτα δεδομένα). Αυτό μπορεί να οφείλεται στην τεχνική κατεργασίας, αλλά κυρίως στη διαφορετική τεχνολογία των σπαρτικών μηχανών (πνευματική μηχανή ακριβείας στον μάρτυρα και απλή μηχανική διασπορά στα υπόλοιπα τεμάχια). Τέλος, κατά και μετά το φύτρωμα παρατηρήθηκε πρωιμότερο φύτρωμα και ανάπτυξη των φυτών στα τμήματα χωρίς καλλιέργεια και αυτό ίσως να οφείλεται στη σκίαση των φυτών του εδάφους από την καλαμιά της προηγούμενης καλλιέργειας και στη συγκράτηση περισσότερης εδαφικής υγρασίας. Με την πρόοδο όμως της ανάπτυξης παρατηρήθηκε ότι τα φυτά του μάρτυρα δεν υστέρησαν ως προς την ανάπτυξη. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε και σε προηγούμενα προκαταρκτικά πειράματα [21].

Πίνακας 1. Αριθμός φυτών και συνολική απόδοση σε βιομάζα στο στρέμμα.

Τεχνική κατεργασίας	Αριθμός φυτών/στρ.		Απόδοση σε βιομάζα kg/στρ.	
	1998	1999	1998	1999
Κλασική (μάρτυρας)	6700 a*	7719 a	3228 a	3851 a
Κατευθείαν σπορά	4934 b	6472 b	2793 b	3432 a
(% μάρτυρα)	73,64	83,85		

*Το ίδιο γράμμα σε κάθε στήλη δηλώνει διαφορές στατιστικώς μη σημαντικές για p=0,05% (κριτήριο t).

Απόδοση σε βιομάζα. Ο μειωμένος αριθμός φυτών ανά στρέμμα, το 1998, στα τεμάχια της κατευθείαν σποράς είχε ως αποτέλεσμα και μειωμένη συνολική απόδοση των φυτών σε βιομάζα (πίνακας 1). Η απόδοση υπολειπόταν κατά 13,5% σε σχέση με τον μάρτυρα (2793 έναντι 3228 kg/στρ.). Η διαφορά που βρέθηκε στην απόδοση είναι αρκετά μικρότερη από την αρχική διαφορά κατά 26,36% (4934 έναντι 6700 φυτά/στρ.), που παρατηρήθηκε στον αριθμό των φυτών. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο φαινόμενο του «περιθωρίου». Στα

πειραματικά τεμάχια δηλαδή όπου ήταν μικρός ο αριθμός των φυτών, αυτά αναπτύχθηκαν καλύτερα, λόγω μειωμένου ανταγωνισμού και μάλιστα μεγάλος αριθμός από αυτά (>60%, αδημοσίευτα δεδομένα) αδέλφωσε, δίνοντας ένα ακόμη φυτό με σπάδικα. Το επόμενο έτος η απόδοση δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των επεμβάσεων, παρόλο που ο αριθμός των φυτών ήταν μικρότερος στα τεμάχια της κατευθείαν σποράς σε σχέση με τον μάρτυρα (6472 έναντι 7719 φυτά/στρ.). Πιθανόν αυτό να οφειλόταν στη μικρή αρχική διαφορά των φυτών κατά 16,5% μεταξύ τους, σε συνδυασμό με το φαινόμενο του περιθωρίου. Σε ανάλογα πειράματα αραβοσίτου δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην απόδοση του αραβοσίτου μεταξύ διαφορετικών καλλιεργητικών τεχνικών του εδάφους πριν την σπορά [17].

Ανάλυση χρόνου και καυσίμου. Η ανάλυση χρόνων και καυσίμου έδειξε ότι στη φάση της προετοιμασίας του εδάφους και της σποράς υπάρχει μια πραγματικά σημαντική οικονομία χρόνου και καυσίμου (πίνακας 2).

Πίνακας 2. Ανάλυση χρόνων, καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας στις δύο μεθόδους κατεργασίας.

Έτος	Τεχνική κατεργασίας	Κατεργασία και σπορά		Λοιπές εργασίες		Σύνολο εργασιών	
		Χρόνος (h/στρ)	Κατανάλωση (l/στρ)	Χρόνος (h/στρ)	Κατανάλωση (l/στρ)	Χρόνος (h/στρ)	Κατανάλωση (l/στρ)
1998	Κλασική (μάρτυρας)	0,80	5,76	4,70	45,24	5,50	51,00
	Κατευθείαν σπορά	0,24	0,91	4,50	44,32	4,74	45,23
	(% μάρτυρα)	30,00	15,80	95,75	97,97	86,18	88,69
	Ηλεκτρ. ενέργεια (kwh/στρ)		274,70				274,70
1999	Κλασική (μάρτυρας)	0,52	2,88	4,58	44,12	5,10	47,00
	Κατευθείαν σπορά	0,25	0,88	4,38	43,20	4,63	44,08
	(% μάρτυρα)	48,01	30,55	95,63	97,92	90,78	93,79
	Ηλεκτρ. ενέργεια (kwh/στρ)		39,50		196,50		236,00

Όσον αφορά το χρόνο, στην κατευθείαν σπορά περιορίζεται στο 30,0% το 1998 και 48,0% το 1999 του χρόνου του μάρτυρα, ενώ όσον αφορά το καύσιμο περιορίζεται στο 15,8% το 1998 και 30,5% το 1999 του μάρτυρα. Κατά το έτος 1998 υπήρξε στον μάρτυρα διπλάσια κατανάλωση καυσίμου, καθώς και μεγαλύτερος χρόνος απασχόλησης απ΄ ό,τι το 1999. Αυτό οφειλόταν στις ιδιαίτερα δύσκολες συνθήκες του χωραφιού (ξηρό-βώλοι), με αποτέλεσμα να χρειασθεί μεγαλύτερη κατεργασία (φρέζα). Παρόλη την πρόσθετη κατεργασία ο αριθμός των φυτών καθώς και η απόδοση ήταν μικρότερα από ό,τι το 1999

(πίνακας 1). Η δυσχέρεια της κατεργασίας που παρατηρήθηκε το 1998, δεν υπήρξε το επόμενο έτος (1999). Αυτό συνέβη διότι αμέσως μετά τη συγκομιδή του σίτου τα αγροτεμάχια αρδεύτηκαν και έτσι βελτιώθηκε σημαντικά η δυνατότητα της κατεργασίας του εδάφους, καθώς και η εφαρμογή της κατευθείαν σποράς, με αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των φυτών και της απόδοσης το 1999.

Στο σύνολο των εργασιών διαμορφώθηκε διαφορά καυσίμου υπέρ της κατευθείαν σποράς 11,3% το 1998 και 6,2% το 1999 και διαφορά χρόνου 13,8% το 1998 και 9,2% το 1999. Το 1998 η διαφορά αυτή ήταν σχεδόν διπλάσια. Αυτό οφειλόταν, όπως προαναφέρθηκε, στην πρόσθετη κατεργασία του εδάφους στον μάρτυρα, που απαιτήθηκε πριν τη σπορά, καθώς και στο σκάλισμα του μάρτυρα μεταφυτρωτικά. Το 1997 σε ανάλογο πείραμα η διαφορά καυσίμου και χρόνου υπέρ της κατευθείαν σποράς ήταν 4,3% και 6,1% αντίστοιχα [7].

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτήθηκε για άρδευση ήταν 274,7 kwh/στρ. το 1998, 236,0 kwh/στρ. το 1999. Η μικρότερη κατανάλωση το έτος 1999 οφειλόταν στη μείωση των αρδεύσεων κατά μία, λόγω βροχόπτωσης που παρατηρήθηκε, κατά την καλλιεργητική περίοδο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Ο αριθμός των φυτών ήταν μικρότερος στην κατευθείαν σπορά από ό,τι στην κλασική. Η απόδοση σε συνολική βιομάζα ήταν μικρότερη στην κατευθείαν σπορά το πρώτο έτος του πειράματος, ενώ το δεύτερο δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο καλλιεργητικών τεχνικών.
2. Η μειωμένη απόδοση σε βιομάζα, λόγω του μικρού αριθμού των φυτών ανά στρέμμα, δεν είναι ανάλογη του αριθμού των φυτών, λόγω του φαινομένου του «περιθωρίου».
3. Έλλειψη υγρασίας κατά τη φάση προετοιμασίας και σποράς δημιουργεί δυσχέρεια στην ανάπτυξη των φυτών με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης.
4. Υπάρχει σημαντική μείωση χρόνου και εισροών ενέργειας κατά το στάδιο της εγκατάστασης της καλλιέργειας. Η μείωση του χρόνου εγκατάστασης στην επίσπορη καλλιέργεια αραβοσίτου, μετά από χειμερινά σιτηρά, αποτελεί σημαντικό παράγοντα επιτυχίας της καλλιέργειας, διότι πρωιμίζει η συγκομιδή και συχνά αποφεύγονται προσβολές από έντομα (*Sesamia cretica, Pyrausta nubilalis*), που προσβάλλουν τα όψιμα φυτά, μειώνοντας την ποσότητα, αλλά υποβαθμίζοντας και την ποιότητα του ενσιρώματος.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Allmaras, R.R., Copeland, S.M., Power J.F. and Tanaka, D.L. 1994. Conservation tillage systems in the Central United. *In Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems.* Edit: M.R. Carter, Lewis Publishers. Boca Raton.
2. Lindwall, C. W., Larney, F. J., Johnstron, A. M. and Moyer, J. R. 1994. Crop management in conservation tillage systems. *In Managing agricultural residues.* Edit: P.W. Unger. Lewis Publishers. Boca Raton.
3. Boisgontier, D., Barthelemy, P., Bordes, J.P. and Lescar, L. 1995. Criteria for choosing implements for minimum tillage practices. *Proceedings: Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European Countries.* Giessen, 1995: 143-151.
4. Triplett G. B. and Van Doren, D. M. Jr. 1977. Agriculture without tillage. *Sci. Am.* 236: 28-33.
5. Uri, N. D. 1997. The implications of energy and other input use for conservation tillage. *Intern. J. Energy Res.* 21: 429-446
6. Uri, N. D. 2000. An evaluation of the economic benefits and costs of conservation tillage. *Environ. Geology.* 39: 238-248.
7. Λιθουργίδης, Α.Σ. και Τσατσαρέλης, Κ.Α. 1998. Καλλιέργεια επίσπορου αραβοσίτου με το σύστημα της κατευθείαν σποράς. *Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Τόμος εισηγήσεων Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος.* Αθήνα, σελ. 81-88.
8. Λιθουργίδης, Α.Σ. και Τσατσαρέλης, Κ.Α. 2003. Καλλιέργεια μαλακού σίτου (*Triticum aestivum* L.) με τεχνικές μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. *Πρακτικά 9ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γενετικής και Βελτίωσης των Φυτών.* Θεσ/νίκη 2003. (Υπό δημοσίευση).
9. Wall, D. A. and Stobbe, E. H. 1984. The effect of tillage on soil temperature and corn (*Zea mays* L.) growth in Manitoba. *Can. J. Plant Sci.* 64: 59-67.
10. Griffith, D.R., Mannering, J.V. and Box, J.E. 1986. Soil and moisture management with reduced tillage. *In No-tillage and Surface Tillage Agriculture. The Tillage Revolution.* J. Wiley and Sons. New York.
11. Dick, W. A., McCoy, E. L., Edwards, W. M. and Lal, R. 1991. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. *Agron. J.* 83: 65-73.
12. Wagger, M. G. and Denton, H. P. 1992. Crop and tillage rotations: Grain yield, residue cover and soil water. *Soil Sci. Am. J.* 56: 1233-1237.
13. Shinners, K. J., Nelson, W. S. and Wang, R. 1994. Effects of residue free band width on soil temperature and water content. *Trans. ASAE*. 37: 39-49.
14. Pierce, F. J., Fortin, M. C. and Staton, M. J. 1992. Immediate and residual effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil physical properties and corn performance. *Soil Tillage Res.* 24: 149-165.
15. Opoku, G., Vyn, T. J. and Swanton, C. J. 1997. Modified no-tillage systems for corn following wheat on clay soils. *Agron. J.* 89: 549-556.
16. Azooz, R. H., Lowery, B. and Daniel, T. C. 1995. Tillage and residue management influence on corn growth. *Soil Tillage Res.* 33: 215-227.
17. Beyaert, R. P., Schott, J. W. and White, P. H. 2002. Tillage effects on corn production in a coarse-textured soil in Southern Ontario. *Agron. J.* 94: 767-774.
18. Boisgontier, D., Barthelemy, P. and Lescar, L. 1994. Feasibility of minimum tillage practices in France. *Proceedings: Experience with the applicability of no tillage crop production in West-European countries. Workshop I.* Giessen, 1994: 81-92.

19. Ehlers, W. and Chanpein, W. 1994. Approaches toward conservation tillage in Germany. *In Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. M.R. Carter, ed. Lewis Publishers. Boca Raton.
20. Tsatsarelis, C.A., 1996. Maize for silage with no-tillage technique in Greece. *Proceedings: Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European Countries*. Ciessen, 1996: 91-97.
21. Τσατσαρέλης, Κ.Α. 1996. Παραγωγή αραβοσίτου για ενσίρωση με σύστημα κατευθείαν σποράς σε ακαλλιέργητο έδαφος. *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου "Εγγειοβελτιωτικά έργα διαχείριση υδατικών πόρων - εκμηχάνιση γεωργίας"*. Λάρισα, σελ. 996-975.
22. Τσατσαρέλης, Κ.Α. 2000. Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς. Θεσσαλονίκη.

ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΞΥΛΟΥ

Π. Καραρίζος, Ε. Καραγιάννης και Π. Εσκίογλου
Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος
541 24 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ελκυστήρες αποτελούν σήμερα μια πολυδύναμη κινητήρια μονάδα που χρησιμοποιούνται σε όλες τις γεωργικές και δασικές εργασίες και ταυτόχρονα πολυσύνθετες μηχανές με πολλά πλεονεκτήματα για τις σύγχρονες εφαρμογές. Στην εργασία αυτή μελετήθηκε ένας σύγχρονος ελκυστήρας εφοδιασμένος με υδραυλικό κύλινδρο διπλής ενέργειας, για την ανάρτηση παρελκόμενων και φερόμενων εργαλείων και υπολογίσθηκε η παραγωγική του ικανότητα σε εργασίες θρυμματσιμού του υλικού που προέκυψε από την απομάκρυνση βράχων κατά την εκτέλεση έργων δασικής οδοποιίας και σε εργασίες μετατόπισης του ξύλου.

Λέξεις κλειδιά: σύγχρονοι ελκυστήρες, φερόμενα μηχανικά συστήματα, παραγωγική ικανότητα

TRACTORS WITH MODERN EQUIPMENT IN FOREST ROAD CONSTRUCTION AND WOOD SKIDDING WORKS

P. Kararizos, E. Karagiannis and P. Eskioglou
Department of Forest Technical and Hydronomic Workd
School of Forestry and Natural Environment
541 24 Thessaloniki

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

The tractors today are a multi-powerful unit being used in all agricultural and forest works and at the same time are multi-complex machines with many advantages for modern applications. In this paper was studied a modern tractor equipped with a hydraulic cylinder of dual action, for bearing hauled and movable accessories and was calculated its production capacity in shattering works of material arising from rock removal, during the implementation of forest road construction and wood skidding works.

Keywords: modern tractors, bearing mechanical systems, production capacity

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρησιμοποίηση των ελκυστήρων σε συγκεκριμένες δασικές εργασίες ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1930 όταν εμφανίσθηκαν οι πρώτοι αυτοκινούμενοι γεωργικοί ελκυστήρες και η εκμηχάνιση των εργασιών έλαβε επαναστατική μορφή [1, 2]. Στη συνέχεια νέα παρελκόμενα μηχανήματα και ανελκυστήρες άρχισαν να χρησιμοποιούνται με αποτέλεσμα λίγα χρόνια μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η συμμετοχή των ελκυστήρων και των παρελκόμενων μηχανημάτων έγινε απαραίτητη σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Τα τελευταία χρόνια κατασκευάσθηκαν σύγχρονοι ελκυστήρες εφοδιασμένοι με ηλεκτρονικά συστήματα με αποτέλεσμα να είναι πιο αποδοτικοί και με εξαιρετική ποιότητα εργασίας [3].

Στη δασική πράξη οι σύγχρονοι ελκυστήρες καθώς και τα παρελκόμενα και φερόμενα μηχανικά συστήματα χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην προσπάθεια μηχανοποίησης όλων των εργασιών με σκοπό την ταχύτητα εκτέλεσης των έργων, τη μείωση του κόστους παραγωγής και την άριστη ποιότητα των κατασκευών [4].

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν δύο σύγχρονα μηχανικά συστήματα, ο φερόμενος περιστροφικός σπαστήρας OBL'X που διαμορφώνει το υλικό που προκύπτει κατά την απομάκρυνση των βράχων στη δασική οδοποιία και χρησιμοποιείται ως υλικό υπόβασης [5] καθώς και το φερόμενο των άρθρων ελκυστήρα HOLDER C870 σχοινιοβαρούλκο για τη μετατόπιση του ξύλου στο δάσος. [6]. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα ελαφρά μηχανικά συστήματα, φερόμενα η ελκόμενα είναι απαραίτητα εργαλεία και πολύ χρήσιμα γιατί έχουν μικρό κόστος παραγωγής και υψηλές αποδόσεις.[7].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τις ανάγκες της έρευνας έγιναν χρονικές σπουδές σε δύο πειραματικές επιφάνειες. Στην **Α** πειραματική επιφάνεια, όπου μελετήθηκε ο φερόμενος περιστροφικός σπαστήρας OBL'X χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά:

- ο δασικός ελκυστήρας UNIMOG-U900 με το φερόμενο περιστροφικό σπαστήρα OBL'X.(τα τεχνικά στοιχεία φαίνονται στον πίνακα 1)
- η πειραματική επιφάνεια μήκους 1500m και πλάτους 5m σε υπό κατασκευή δασικό δρόμο όπου προηγούμενα έγιναν ανατινάξεις βράχων
- ο εργαστηριακός έλεγχος των συγκεκριμένων υλικών από τις ανατινάξεις των βράχων. Έγινε έλεγχος για τα υλικά που πρέπει να είναι μέσα στις οριζόμενες πρότυπες τεχνικές προδιαγραφές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υλικό υπόβασης [5].
- δύο χρονόμετρα και δύο μετροταινίες. Το συνεργείο που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από τον χειριστή και δύο εργάτες.

Πίνακας 1. Τεχνικά στοιχεία του δασικού ελκυστήρα UNIMOG-U900 και του φερόμενου σπαστήρα OBL'X

UNIMOG-U900	
Κινητήρας Cwassergekünet	OM 352
Ιπποδύναμη	81KW (110 PS)
Σύστημα διεύθυνσης	Υδροστατικό
Διαστάσεις	Μήκος 4700, πλάτος 1895, ύψος 2560
φερόμενος σπαστήρας OBL'X	
Βάρος συστήματος	185 kg
Διαστάσεις	Μήκος 1,30, πλάτος 2000, ύψος 0,75
Στροφές κοχλία	128 -250/min
Τύπος λεπίδων	L

Στην Β πειραματική επιφάνεια όπου μελετήθηκε ο αρθρωτός ελκυστήρας HOLDER C870 με το φερόμενο σχοινιοβαρούλκο χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά:

- ο αρθρωτός ελκυστήρας HOLDER C870 μαζί με το φερόμενο σχοινιοβαρούλκο (τα τεχνικά στοιχεία φαίνονται στον πίνακα 2)
- η πειραματική επιφάνεια στο δασικό τμήμα 13 του πανεπιστημιακού δάσους Ταξιάρχη όπου προηγούμενα είχε γίνει υλοτομία.
- τρία χρονόμετρα και δύο μετροταινίες

Το συνεργείο που απασχολήθηκε αποτελείτο από τον χειριστή και δύο εργάτες.

Πίνακας 2. Τεχνικά χαρακτηριστικά του ελκυστήρα HOLDER C870 και του βαρούλκου σύρσης κορμών

UNIMOG-U900	
Κινητήρας	DEUTZ τύπου BT 4L 1011 F
Ιπποδύναμη	51.5 KW (70 PS) στις 2500 min^{-1}
Ροπή	222 Nm στις 1800 min^{-1}
Σύστημα διεύθυνσης	Υδροστατικό αρθρωτό με δύο κυλίνδρους διπλής ενέργειας
Κιβώτιο ταχυτήτων	Πλήρες συγχρονιζέ με 12 εμπρόσθιας και 4 οπίσθιας κίνησης ταχύτητες
Μέγιστη ακτίνα στροφής	3.64 m
Διαστάσεις	Μήκος 3530, πλάτος 1620, ύψος 2150
Σχοινιοβαρούλκο	
Διπλός εργάτης με συρματόσχοινο	2 x 5 tn 2 x 70m/Φ12 / 2 x 80m/Φ11
Εμπρόσθιο μαχαίρι φόρτωσης	Ύψος φόρτωσης: 1.9 m Ικανότητα φόρτωσης: 1800 daN

3. ΜΕΘΟΔΟΣ

Πείραμα Α. Οριοθετήθηκαν με πασσάλους τρία τμήματα των 500 m του υπό κατασκευή δρόμου μέσα στην πειραματική επιφάνεια των 1500 m. Επειδή δεν

ήταν δυνατό να διαχωρισθούν όλες οι φάσεις εργασίας χρονομετρήθηκαν μόνον οι διελεύσεις του ελκυστήρα (μετάβαση - επιστροφή) και καταγράφηκαν οι χρόνοι μαζί με τις καθυστερήσεις καθώς και οι όγκοι του υλικού μετά τις διελεύσεις του σπαστήρα και του θρυμματισμένου υλικού. Δεν υπολογίσθηκε, λόγω της μεγάλης δυσκολίας το ειδικό έργο του στροφεία [8].

Η ωριαία παραγωγική ικανότητα Q του σπαστήρα OBL'X υπολογίσθηκε από τη σχέση [9]:

$$t = \frac{1}{n_\varepsilon} . \sum \frac{T_i . z_i}{v_i} \quad \text{ώρες}$$

όπου: t = απαιτούμενος χρόνος σε ώρες
T_I = απόσταση σε km
v_I = ταχύτητα σε km/h
z_I = αριθμός διελεύσεων

και ωριαία παραγωγική ικανότητα q είναι:

$$Q = T_I . b/t \ m^2/h$$

όπου:

b = το πλάτος εργασίας

Πείραμα Β. Πριν από την έναρξη των χρονομετρήσεων έγινε πρόχειρη αποτύπωση των κορμοτεμαχίων και μετρήθηκε η μέση κλίση της πλαγιάς [10]. Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε πυξίδα σπαστή Meridian με κλισίμετρο και μετροταινία.

Τα στοιχεία των χρονικών σπουδών πάρθηκαν σε επιφάνειες που είχε τελειώσει η υλοτομία και η διαμόρφωση των κορμοτεμαχίων και καμία ειδική προετοιμασία δεν έγινε, ούτως ώστε τόσο η κατεύθυνση ρίψης, όσο και η κατανομή των κορμοτεμαχίων στο υλοτόμιο να προσαρμοστούν κατάλληλα για τη μετατόπιση με τον αρθρωτό ελκυστήρα HOLDER C870.

Οι φάσεις εργασίας που χρονομετρήθηκαν ήταν οι εξής:

1. Διαδρομή του δασεργάτη με το άφορτο συρματόσχοινο από τη θέση Α μέχρι τη θέση του κορμοτεμαχίου που πρόκειται να μεταφερθεί
2. Πρόσδεση του κορμοτεμαχίου με το συρματόσχοινο
3. Έλξη του κορμοτεμαχίου μέχρι τη θέση Α του ελκυστήρα
4. Σύρση του κορμοτεμαχίου προσδεδεμένο στην μεταλλική ποδιά επί του τρακτερόδρομου μέχρι τη θέση Β (χώρος συγκέντρωσης)
5. Αποσύνδεση του κορμοτεμαχίου από το συρματόσχοινο και την μεταλλική ποδιά
6. Επιστροφή του ελκυστήρα στη θέση Α.
7. Διάφορες δικαιολογημένες καθυστερήσεις.

Τα κορμοτεμάχια ήταν αποφλοιωμένα, το έαφος στεγνό και οι συνθήκες εργασίας ευνοϊκές. Χρονομετρήθηκαν συνολικά 41 διαδρομές.

Με βάση την προδειγματοληψία φάνηκε ότι τη μεγαλύτερη επίδραση στην απόδοση του αρθρωτού ελκυστήρα (HOLDER C870) είχε η απόσταση μετατόπισης και λιγότερη ο όγκος του μετατιπιζόμενου κορμοτεμαχίου. Η μέση

κλίση στο χώρο έλξης ήταν 45% και στον τρακτερόδρομο (σύρση) 17%. Η κλίση γενικά επηρέασε την απόδοση των μηχανημάτων.

Ο χρόνος των καθυστερήσεων υπολογίσθηκε με τα ληφθέντα στοιχεία σε 13,40%.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πείραμα Α. Από τον εργαστηριακό έλεγχο που έγινε, προέκυψε ότι το υλικό μετά τη θραύση είναι κατάλληλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υπόβαση αφού βρέθηκε ότι έχει αντοχή CBR = 20 [5[.
Από την επεξεργασία όλων των στοιχείων των χρονικών σπουδών στην Α πειραματική επιφάνεια υπολογίσθηκαν ο απαιτούμενος χρόνος t στα τμήματα 1, 2 και 3 ανάλογα με την διανυόμενη απόσταση και τον αριθμό των διελεύσεων. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον πίνακα 3, 4 και 5.

Πίνακας 3. Υπολογισμός του απαιτούμενου χρόνου t του σπαστήρα OBL'X στα τμήματα 1, 2 και 3

Τμήμα 1					
α/α	Μήκος Εργασίας m	Όγκος υλικού m^3	Επιφάνεια εργασίας m^2	Αριθμός διελεύσεων	Απαιτούμενος χρόνος μαζί με τις καθυστερήσεις t = min
1	50	25	250	4	0,48
2	70	35	350	4	0,50
3	60	30	300	2	0,35
4	40	20	200	4	0,45
5	40	20	200	4	0,37
6	60	30	300	5	0,41
7	50	25	250	3	0,49
8	60	30	300	2	0,38
9	40	20	200	3	0,32
10	30	15	150	3	0,37
Τμήμα 2					
α/α	Μήκος Εργασίας m	Όγκος υλικού m^3	Επιφάνεια εργασίας m^2	Αριθμός διελεύσεων	Απαιτούμενος χρόνος μαζί με τις καθυστερήσεις t = min
11	70	25	250	4	0,48
12	40	35	350	4	0,50
13	50	30	300	2	0,35
14	30	20	200	4	0,45
15	40	20	200	4	0,37
16	60	30	300	5	0,41
17	40	25	250	3	0,49
18	60	30	300	2	0,38
19	50	20	200	3	0,32
20	60	15	150	3	0,37

Τμήμα 3					
α/α	Μήκος Εργασίας m	Όγκος υλικού m^3	Επιφάνεια εργασίας m^2	Αριθμός διελεύσεων	Απαιτούμενος χρόνος μαζί με τις καθυστερήσεις t = min
21	30	15	150	3	0,41
22	50	25	250	2	0,38
23	40	20	200	3	0,37
24	70	35	350	4	0,40
25	40	20	200	2	0,29
26	60	30	300	2	0,32
27	40	20	200	2	0,33
28	60	30	300	4	0,34
29	50	25	250	2	0,31
30	60	30	300	3	0,35

Από την ανάλυση όλων των στοιχείων του πίνακα 3 (τμήματα 1, 2 και 3) υπολογίσθηκε η ωριαία παραγωγική ικανότητα του σπαστήρα OBL'X όπως δείχνει ο πίνακας 4.

Πίνακας 4. Ωριαία παραγωγική ικανότητα (Q) στην Α πειραματική επιφάνεια

Τμήματα	Μήκος εργασίας m	Αριθμός διελεύσεων	Απαιτούμενος χρόνος T = n	Ωριαία παραγωγική ικανότητα Q (m^2/h)
1	500	34	6,45	388
2	500	31	6,10	429
3	500	27	5,37	418

Πείραμα Β. Με βάση τη στατιστική ανάλυση των στοιχείων μελετήθηκε μία ανεξάρτητη μεταβλητή, η οποία εκφράζει την απόσταση προμετατόπισης και μετατόπισης (Χ) σε μέτρα, γιατί όπως αναφέρθηκε, ο όγκος δεν επηρεάζει το χρόνο μετατόπισης (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Σχέση μεταξύ των παραγόντων που ερευνήθηκαν

Περιπτώσεις	Φάσεις εργασίας	Εξίσωση	Συσχέτιση	Τυπικό σφάλμα
1	X_1 = μεταφορά συρματόσχοινου	$Y = -11,02 + 2,06 . X_1$	0,98	12,64
2	X_2 = έλξη φορτίου	$Y = -11,02 + 2,06 . X_2$	0,94	9,99
3	X_3 = έμφορτη διαδρομή	$Y = -11,02 + 2,06 . X_3$	0,97	10,83
4	X_4 = άφορτη διαδρομή	$Y = -11,02 + 2,06 . X_4$	0,92	10,38

Από την επεξεργασία των στοιχείων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή δόθηκαν οι μεταβλητοί χρόνοι της εργασίας έλξης-σύρσης του ξύλου με τον αρθρωτό ελκυστήρα HOLDER C870 και της μεταφοράς του συρματόσχοινου και επιστροφής του ελκυστήρα, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.

Από την επεξεργασία των ληφθέντων χρονικών στοιχείων για κάθε φάση διαδρομής προέκυψαν τόσο τα αντίστοιχα στοιχεία αθροισμάτων χρόνου των φάσεων της εργασίας καθώς και άλλων στοιχείων τα οποία φαίνονται στον πίνακα 6.

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 3 για μέση απόσταση προμετατόπισης (έλξης του ξύλου) 45,50 m και μέση απόσταση μετατόπισης (σύρσης του ξύλου στον τρακτερόδρομο) 94 m προέκυψε απόδοση 3,2 m^3/h.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πείραμα Α. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το υλικό που κατεργάσθηκε από τον περιστροφικό σπαστήρα OBL X μετά την απομάκρυνση των βράχων στη δασική οδοποιϊα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υλικό υπόβασης σρους δασικούς δρόμους αφού προηγούμενα έγινε έλεγχος της απαίτησης να είναι μέσα στις οριζόμενες πρότυπες τεχνικές προδιαγραφές. Ο απαιτούμενος χρόνος t του μηχανήματος καθώς και η ωριαία παραγωγική του ικανότητα επηρεάζονται μόνο από τον αριθμό των διελεύσεων γιατί τα τμήματα 1, 2, και 3 έχουν τις ίδιες διαστάσεις (μήκος 500 m, πλάτος 5 m). Έτσι παρατηρήθηκε (πίνακας 4) ότι:

Στο τμήμα 1 είχαμε το μεγαλύτερο αριθμό διελεύσεων (34) μαζί με τον μεγαλύτερο απαιτούμενο χρόνο t (6,45) αλλά και την μικρότερη ωριαία παραγωγική ικανότητα (388 m^3/h), στο τμήμα 3 είχαμε τον μικρότερο αριθμό διελεύσεων (27) μαζί με τον μικρότερο απαιτούμενο χρόνο t (5,37), αλλά την μεγαλύτερη παραγωγική ικανότητα (418 m^3/h), ενώ στο τμήμα 2 είχαμε μέσες τιμές διέλευσης (31), απαιτούμενο χρόνο t (6,10) και ωριαία παραγωγική ικανότητα (429 m^3/h). Ο αυξημένος αριθμός των διελεύσεων εξαρτήθηκε άμεσα από το πλάτος καταστρώματος (5 m) ενώ το πλάτος του σπαστήρα ήταν 2,00 mm. Απαιτήθηκαν διπλές και τριπλές διελεύσεις για να καλυφθεί όλο το πλάτος της διάστρωσης.

Η απόδοση του σπαστήρα OBL'X κρίθηκε ικανοποιητική (μέσος όρος 411 m^3/h) στη συγκεκριμένη πειραματική επιφάνεια επειδή το μηχάνημα είναι εξοπλισμένο με σύγχρονα ηλεκτρονικά και υδραυλικά συστήματα που απαιτούνται για την καλή ποιότητα της εργασίας και το χαμηλό κόστος. Η υψηλή απόδοση του μηχανήματος εξαρτήθηκε και από την ικανότητα του χειριστή.

Πείραμα Β. Από τα στοιχεία της μελέτης προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο εργασίας του αρθρωτού ελκυστήρα HOLDER C870 είναι κατά κύριο λόγο η απόσταση

προμετατόπισης και μετατόπισης του ξύλου, ενώ ο όγκος του κορμοτεμαχίου δεν επηρεάζει το χρόνο (πίνακας 5).

2. Τα ποσοστά % του καθαρού χρόνου εργασίας ανέρχονται για την έλξη σε 24,21% για τη σύρση πάνω στον τρακτερόδρομο σε 28,30%, για τη μεταφορά του συρματόσχοινου σε 17,53% και για την επιστροφή του ελκυστήρα σε 20,18 (πίνακας 6).

Η μέση απόδοση του μηχανήματος με βάση τις συνθήκες της έρευνας, υπολογίσθηκε σε 3,27 m^3/h, η οποία θεωρείται ικανοποιητική για τις ελληνικές συνθήκες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γαβριηλίδης, Σ. 1971. Χωματουργικά μηχανήματα. Διδακτικό βιβλίο. Θεσ/νίκη.
2. Τσατσαρέλης, Κ. 1997. Γεωργικοί ελκυστήρες. Διδακτικό βιβλίο. Θεσ/νίκη.
3. Τσατσαρέλης, Κ. 2000. Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς. Διδακτικό βιβλίο. Θεσ/νίκη.
4. 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 δάση της Ελλάδος. Διδακτ. Διατριβή. Θεσ/νίκη.
5. Εσκίογλου, Π. 1998. Εδαφομηχανική και θεμελειώσεις. Παν/κές παραδόσεις. Θεσ/νίκη.
6. Kararizos, P.B., E.A. Karagiannis, A.G. Stergiadou. 2000. Forstliche Knickschlepper in griechenland. (Δασικοί αρθρωτοί ελκυστήρες στην Ελλάδα*). Internatioanal Scientific Conference "Forest and Wood Tehnology vs. Environment", 22-23 November 2000,* Proceedings p. 159-164, Dept. of Forest and Forest Products Technology. Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel Univrsity of Agriculture and Forestry in Brno, Chech. Republic.
7. Καραρίζος, Π. 1998. Εφαρμογές μηχανημάτων στα Υδρονομικά και Δασοτεχνικά Έργα. Διδακτικές Σημειώσεις. Θεσ/νίκη.
8. Bernacki, H., J. Haman, Cz. Kanaforjski. 1972. Agricultural machines. Theory and Construction. Vol. I. Warsaw.
9. Εφραιμίδης, Χ. 1999. Δομικές μηχανές. Διδακτικό βιβλίο. Αθήνα.
10. Stergiadis, G., Karagiannis, E. P. Kararizos 1994. Rücken mit Schlppern in den Bergwäldern Griechenlands. *28th Internationales Symposium "Mechnisierung der Waldarbeit, 28.8-2.9.84* in Langnau i. E., Schweiz, Hochschulverlag Agan der ETH Züriche, 15-32 S.

Πίνακας 6. Πίνακας με όλους τους χρόνους εργασίας κατά τη μετατόπιση του ξύλου με τον ελκυστήρα HOLDER C870

Στοιχεία	Κορμοτεμάχια		Μέση απόσταση m		Ελάχιστη και μέγιστη απόσταση		Αριθμός διαδρομών	Συνολικός χρόνος εργασίας σε sec								
	Ποσότητα-	Αριθμός	Έλξη	Σύρση	Έλξη	Σύρση		Προμετατόπιση			Μετατόπιση			Συνολικός χρόνος εργασίας	Καθυστερήσεις	Σύνολο χρόνου
								Μεταφορά συρματόσχοινου	Πρόσδεση	Έλξη φορτίου	Έμφορτη διαδρομή	Αποσύνδεση	Άφορτη διαδρομή			
1	2	3	4		5		6	7	8	9	10	1	12	13=7+8+9+10+11=12	14	15=13+14
Συνολικά	19,85	79	45,49	94,14	5 bis 76	25 bis 180	41	3381	779	4668	5458	1107	3890	19283	2584	21867
Ανά διαδρομή	0,48	1,93	45,49	94,14	5 bis 76	25 bis 180	1	82,46	19	113,85	133,12	27	94,88	470,32	63,02	533,34
Επί τοις % του καθαρού χρόνου								17,53	4,04	24,21	28,30	5,74	20,18	100	13,40	113,40

ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΦΘΟΡΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΔΡΟΜΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Π. Χ. Εσκίογλου, Β. Α. Καραγιάννης και Π. Β. Καραρίζος
Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων,
Τμήμα Δασολογίας, Α.Π.Θ.,
54006 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων και μηχανημάτων στο αγροτοδασικό περιβάλλον, ευθύνεται για μία σειρά προβλημάτων, επιβάρυνσης και διάβρωσης του εδάφους και υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Στην εργασία αυτή, με επί τόπου μετρήσεις και από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων στο πρόγραμμα (STP) , ερευνάται πως και πόσο εξαρτάται η παραμόρφωση του εδάφους από τις μηχανικές ιδιότητες του ,από τη σύνθεση της κυκλοφορίας, τον τύπο και την πίεση των ελαστικών των οχημάτων. Τέλος προτείνεται εκείνος ο τύπος οχήματος , τα χαρακτηριστικά του οποίου προκαλούν τη μικρότερη παραμόρφωση σε σχέση με τη μεταφερόμενη ποσότητα .

Λέξεις κλειδιά: δασόδρομος , παραμόρφωση, μεταφορά , ισοδύναμοι άξονες, ελαστικά

THE REDUCTION OF DAMAGES ON FOREST ROADS WHICH ARE CAUSED BY MEANS OF TRANSPORT

P. Ch. Eskioglou, E. A. Karagianis and P. B. Kararizos
Department of Forestry Engineering and Road Construction
School of Forestry, Aristotle University,
54006 Thessaloniki, Greece.

ABSTRACT

The circulation of heavy vehicles and machines in the agroforest environment, is responsible for a series of problems that leads to the downgrading of wider environment. In this work, through program STP and by on the spot measurements, is investigated the effect of mechanic attributes of soil, composition of circulation of the above vehicles, press and pressure of their tyres in the aggravation of soil. Finally become proposals for the type and the characteristics of vehicle that will cause the smaller deformity concerning the transported quantity

Keywords: forest road ,deform, means of transport, equivalent axles, pressure of tyres

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο αγροτοδασικό περιβάλλον κινούνται μηχανήματα συγκομιδής και οχήματα μεταφοράς προϊόντων που επιβαρύνουν το έδαφος μεταβάλλοντας τη δομή του , μειώνοντας τη βατότητά του, και επιταχύνοντας τη διάβρωσή του και τη μελλοντική υποβάθμιση του περιβάλλοντος[10,5]. Η ελαχιστοποίηση των παραπάνω αρνητικών φαινομένων πετυχαίνεται με τη διερεύνηση κάποιων παραγόντων όπως η περιεχόμενη υγρασία, η μύζηση, η κλίση του δρόμου, ο τύπος του εδάφους και κυρίως ο κυκλοφοριακός φόρτος .

Βρέθηκε ότι το βάθος βύθισης τροχών στο έδαφος και η επιφάνεια επαφής των τροχών των μέσων μεταφοράς είναι ανάλογη της υγρασίας του εδάφους [12,9]. Αντίθετα αύξηση της μύζησης του εδαφικού νερού μειώνει το βάθος βύθισης σε ιλυοαργιλώδη εδάφη όχι όμως και σε πηλοαμμώδη. [11].

Από την άλλη, ο κυκλοφοριακός φόρτος και ειδικότερα η σύνθεση, ο τύπος και η υπέρβαρη κατανομή των αξόνων, καθώς και οι διαστάσεις και οι πιέσεις των ελαστικών των διαφόρων οχημάτων μεταφοράς αποτελούν τη σημαντικότερη αιτία επιβάρυνσης των εδαφών[6]. Ο ακριβής υπολογισμός του κυκλοφοριακού φόρτου δεν γίνεται με το συνολικό βάρος των οχημάτων , αλλά με μία και μόνη έκφραση αυτή των Ισοδυνάμων Αξόνων (Ι.Α.) που υπολογίζεται από μαθηματικές σχέσεις σε συνάρτηση με την πίεση των ελαστικών και τη φθορά που επιφέρουν στο έδαφος [1,13].

Από τα διάφορα οχήματα , τα φορτία των φορτηγών υπολογίστηκε ότι επιβαρύνουν τους δασικούς δρόμους μέχρι και πέντε φορές περισσότερο από αυτά των γεωργικών και των μηχανημάτων μετατόπισης [2]. Από τους τύπους των φορτηγών , οι κινητήριοι τροχοί των τριαξονικών και κάποιων τύπων τετραξονικών, βρέθηκε ότι επιβαρύνουν λιγότερο το έδαφος (0,1Mpa) από ότι τα διαξονικά (0,2Mpa)[3,7,8], ενώ τα υπερφορτωμένα αξονικά φορτία επιβαρύνουν το έδαφος μέχρι και 60% παραπάνω από ότι τα κανονικά φορτία, επιβαρύνοντας το κόστος μεταφοράς μέχρι και 40% [4]. Τέλος το βάθος βύθισης των τροχών και η επιβάρυνση των εδαφών αυξάνεται με την αύξηση των διαδρομών και με τη μείωση της ταχύτητας κίνησης των οχημάτων[10]

Σκοπός της εργασίας είναι να υπολογιστεί η επιβάρυνση των δασικών δρόμων ανά m^3 μεταφερόμενης ξυλείας από τα μέσα συγκομιδής και μεταφοράς, και να μελετηθεί η επίδραση του τύπου του εδάφους , της υγρασίας , του τύπου και της πίεσης των ελαστικών στον περιορισμό των φθορών αγροτοδασικών εδαφών από τη διέλευση των παραπάνω οχημάτων.

2.ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο και τον Αύγουστο του 2002 στα αγροτοδασικά εδάφη και στον συλλεκτήριο δασικό δρόμο Ι του συμπλέγματος Πευκωτού Αριδαίας στο οποίο κυριαρχούν τα είδη Fagus Sylvatica (75%) και Abies alba – Pinus nigra, silvestris (20%). Η περιοχή έχει έκταση 7700ha , ξυλαπόθεμα 1250000 m^3 και χαρακτηρίζεται από ασβεστολιθικό και γρανιτικό

γεωλογικό υπόβαθρο χαμηλής και μέτριας αντοχής, ισχυρές εγκάρσιες κλίσεις μέχρι 70% , έντονες βροχοπτώσεις, χαμηλές θερμοκρασίες και παγετούς κατά τους χειμερινούς μήνες. Κατά τις δύο περιόδους της έρευνας η μέση θερμοκρασία ήταν 11^{o}C και 23 ^{o}C, το δε μέσο μηνιαίο ύψος βροχής 105 και 40mm αντίστοιχα. Από τον συγκεκριμένο δρόμο, μήκους 12Km , ετησίως μεταφέρεται από φορτηγά και συγκομιστές λήμμα 20000 m^3

Για τη διερεύνηση της ελαχιστοποίησης των φθορών των εδαφών, σχηματίστηκαν οι καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισής τους ,υπολογίστηκε η υγρασία με τη μέθοδο AASHTO T-217 , τα όρια Atterberg και η αντοχή τους με τη δοκιμή CBR. Στη συνέχεια καταγράφηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά (μικτό και ωφέλιμο φορτίο, διαστάσεις και πιέσεις των ελαστικών, πίεση του εδάφους) των απλών και αρθρωτών ελκυστήρων –φορτωτών , τύπου Franklin , Timberjack και Forwarder , καθώς και των βαρέων φορτηγών που κινούνται στο χώρο της έρευνας.

Με τη βοήθεια του προγράμματος STP μετατράπηκαν τά κυκλοφορούντα αξονικά φορτία σε ισοδύναμους άξονες , (Ι.Α.) για τιμές πίεσης των ελαστικών τους 80 και 100 psi. Με βάση τις τιμές αυτές, υπολογίζονται οι συνολικοί (Ι.Α.) του κάθε οχήματος , που σε σχέση με το μεταφερόμενο φορτίο από κάθε ένα ξεχωριστά, μετρήθηκαν οι Ι.Α. που μεταφέρουν 1m^3 ξυλείας, αριθμός διαφορετικός για κάθε όχημα που εκφράζει τη φθορά του δρόμου και του εδάφους στη μονάδα της μεταφερόμενης ποσότητας ξυλείας.

Από τις διελεύσεις των οχημάτων , υπολογίστηκε επιτόπου το αποτύπωμα των τροχών (επιφάνεια επαφής) στο έδαφος , καθώς κινούνται σε εδάφη διαφορετικής αντοχής και περιεχόμενης υγρασίας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για ταχύτητες κυκλοφορίας 10 και 20Km /h .

Τέλος μετρήθηκε με κάθετους κανόνες το βάθος βύθισης του εδάφους από τους τροχούς , σε διαφορετικές συνθήκες υγρασίας, άνοιξης και θέρους ,καθώς τα οχήματα έφεραν ελαστικά με τις πιέσεις και τις διαστάσεις που δίνει ο κατασκευαστής αλλά και φαρδύτερα με μικρότερες πιέσεις.

.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την εδαφομηχανική εξέταση των εδαφών βρέθηκε ότι στην περιοχή του ασβεστόλιθου επικρατούν τα αργιλώδη εδάφη (CL) ,με αντοχή CBR = 3 , ενώ η περιεχόμενη υγρασία μετρήθηκε 33% την άνοιξη και 20% το θέρος. Σε θέσεις με γρανιτικό υπόβαθρο κυριαρχούν τα πηλώδη και αμμοαργιλώδη εδάφη (SC-CL), αντοχής CBR =5 και με εδαφική υγρασία 20 και 12% αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διαφόρων οχημάτων έρευνας που κυκλοφορούν και επιβαρύνουν το αγροτοδασικό περιβάλλον καθώς μεταφέρουν τα γεωργικά και δασικά προϊόντα. Ειδικότερα δίνονται τα κυριότερα αξονικά φορτία , οι διαστάσεις και οι πιέσεις των ελαστικών τους , η επιφάνεια επαφής (αποτύπωμα τροχών) καθώς και η πίεση που εξασκούν αυτά επί του εδάφους υπό κανονικές συνθήκες φόρτωσης και υγρασίας .

Η επιφάνεια επαφής Ε των τροχών μετρήθηκε επί τόπου και το αποτέλεσμα των μετρήσεων έρχεται σε απόλυτη συμφωνία με τα μεγέθη που προκύπτουν από τη σχέση : $E = 0{,}5227 . L^2$ όπου L είναι το μήκος του αποτυπώματος του τροχού που έχει διάμετρο πέλματος ίση με 0,6L.[13]

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.Τεχνικά χαρακτηριστικά μέσων μεταφοράς

Τύπος οχήματος	Αξονικά φορτία KN	Μέγεθος ελαστικού mm	Πίεση ελαστικού bar	Επιφάνεια επαφής cm^2	Πίεση Εδάφους KPa
Φορτηγά	60 - 130	315/ R 560	7 – 8,5	1460	200 - 500
Forwarder	72 - 48	570 /R 650	2	4693	51 - 72
Franklin	34 - 23	450/ R 650	2	2925	39 - 58
Timberjack	72 - 45	600 /R 800	2	5227	43 - 69

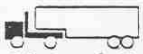
Στον Πίνακα 2 φαίνεται η μετατροπή – από την επεξεργασία σε ηλεκτρονικό υπολογιστή- των κυριότερων κυκλοφορούντων αξονικών τύπων και φορτίων σε ισοδύναμους άξονες (Ι.Α.) όταν τα ελαστικά τους έχουν πίεση 5,5 και 7 bar ή 80 και 100psi αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Μετατροπή αξονικών φορτίων σε ισοδύναμους άξονες (Ι.Α.) για πίεση ελαστικών 80 και (100) psi,

Φορτίο άξονα	Συντελεστές ισοδυναμίας ανά τύπο άξονα		
KN	Μονός με μονά ελαστικά	Μονός με διπλά ελαστικά	Δίδυμος με διπλά ελαστικά
44.5	0.45 (0.76)	0.33 (0.55)	0.13 (0.21)
60	0.80 (1.40)	0.59 (0.70)	0.21 (0.35)
65	0.87 (1.44)	0.62 (1.10)	0.24 (0.40)
70	0.92 (1.60)	0.80 (1.25)	0.3 0 (0.50)
90	1.70 (2.50)	1.22 (2.04)	0.47 (0.78)
130	3.21 (5.36)	2.50 (3.80)	0.90 (1.50)
200		5.50 (9.20)	2.10 (3.50)
220			2.50 (4.20)
220	Τρίδυμος με	διπλά ελαστικά	1.20 (2.20)

Από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων των δύο παραπάνω Πινάκων , σχηματίστηκε ο Πίνακας 3, στον οποίο φαίνεται η μετατροπή του συνολικού βάρους του κάθε φορτηγού σε ισοδύναμους άξονες (Ι.Α.) -όταν τα ελαστικά τους έχουν πίεση 80 και (100) psi. - και πόσοι Ι.Α.από κάθε όχημα μεταφέρουν $1m^3$ ωφέλιμου φορτίου .

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. (Ι.Α.) που απαιτούνται, για κάθε μεταφερόμενο m^3 από φορτηγά με διάφορες πιέσεις.

ΤΥΠΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ Κατανομή Άξόνων KN* 10^{-1}	I.A. / άξονα (συνολικά) για πίεση ελαστικών 80psi	I.A / άξονα (συνολικά) για πίεση ελαστικών 100 psi	Φορτίο που μεταφέρεται συνολικά και από (1 I.A.) (80) (100)psi m^3	I.A. που μεταφέρουν 1 m^3 για πίεση 80 και (100)psi η
1	2	3	4	5
 6 13	0.8 / 2.5 (3.3)	1.4 / 4.2 (5.6)	16 (4.8) (2.85)	0.20 (0.35)
 6 20	0.8 / 2.1 (2.9)	1.4 / 3.5 (4.9)	23 (7.9) (4.7)	0.12 (0.21)
 6.5 6.5 20	2 *0.87 /2.2 (3.94)	1.5/ 1.5/ 3.5 (6.5)	27 (6.8) (4.1)	0.14 (0.24)
 14 22	1.5/2.5 (4)	2/4.2 (6.2)	34 (8.5) (5.5)	0.11 (0.18)
 7 9 22	0.9/ 1.7/ 1.2 (3.82)	1.6/ 2.5/ 2.2 (6.3)	35 (9.1) (5.5)	0.109 (0.18)

Στους Πίνακες 4 και 5 παρουσιάζονται τα βάθη βύθισης των τροχών στο έδαφος σε σχέση με τον αριθμό των διαδρομών ενός συγκομιστή Franklin που χρησιμοποιείται στις δασικές εργασίες στην περιοχή του αβεστόλιθου (Πίνακας 4) και στην περιοχή του γρανίτη (Πίνακας 5) τόσο κατά την περίοδο της άνοιξης όσο και του θέρους.

Και στις δύο περιοχές έρευνας οι μετρήσεις έγιναν με το όχημα να κυκλοφορεί με τροχούς που είχαν πλάτος επαφής d και πιέσεις p ελαστικών, αυτές που δίνει ο κατασκευαστής (d = 450mm , p= 2 ή 1,5 bar) , αλλά και με τροχούς φαρδύτερους της τάξης των 600mm και τιμές πίεσης 1,2 και 1,5bar .

Τέλος από τον Πίνακα 6 φαίνεται η μεταβολή των αποτυπωμάτων επιφάνειας επαφής των ελαστικών ενός φορτηγού στο έδαφος , καθώς αυτό κινείται και σε αργιλώδες και σε αμμοαργιλώδες έδαφος χαμηλής και μέσης αντοχής CBR, με διάφορες τιμές εδαφικής υγρασίας και με ταχύτητα κίνησης 10 και 20Km /h.

Πίνακας 4 . Σχέση βάθους βύθισης τροχών και του αριθμού διαδρομών του Franklin για διάφορες διαστάσεις και πιέσεις ελαστικών σε ασβεστολιθικό υπόβαθρο με εδαφική υγρασία 20% και (30%)

Αριθμός διαδρομών	Βάθος βύθισης τροχών (Παραμόρφωση) σε cm			
	Πλάτος επαφής ελαστικών 450 mm		Πλάτος επαφής 600 mm	
	Πίεση 1,5 bar	Πίεση 2,0 bar	Πίεση 1,2 bar	Πίεση 1,5 bar
1	4,0 (5,2)	4,3 (6,0)	2,2 (3,8)	2,4 (4,5)
2	4,8 (5,8)	5,4 (6,3)	3,1 (4,0)	3,5 (5,0)
3	5,3 (6,3)	5,9 (6,9)	3,8 (4,5)	4,0 (5,2)
4	5,8 (6,9)	6,3 (7,5)	4,0 (4,8)	4,3 (5,5)
5	6,0 (7,6)	6,6 (8,2)	4,5 (5,0)	5,0 (5,8)

Πίνακας 5 . Σχέση βάθους βύθισης τροχών και αριθμού διαδρομών του Franklin για διάφορες διαστάσεις και πιέσεις ελαστικών σε γρανιτικό υπόβαθρο με εδαφική υγρασία 20% και (30%)

Αριθμός διαδρομών	Βάθος βύθισης τροχών (Παραμόρφωση) σε cm			
	Πλάτος επαφής ελαστικών 450 mm		Πλάτος επαφής 600 mm	
	Πίεση 1,5 bar	Πίεση 2,0 bar	p =1,2 bar	p =1,5 bar
1	2,1 (2,3)	2,4 (2,6)	1,7 (1,8)	1,9 (2,1)
2	2,3 (2,8)	2, 7 (3,0)	1,9 (2,4)	2,2 (2,7)
3	2,8 (3,4)	3,3 (3,6)	2,4 (2,8)	2,6 (3,3)
4	3,5 (3,9)	3,6 (4,1)	2,6 (3,3)	2,9 (3,7)
5	3,7 (4,3)	4,0 (4,6)	2,8 (3,5)	3,1 (4,0)

Πίνακας 6.Μεταβολή των αποτυπωμάτων της επιφάνειας επαφής του συγκομιστή Franklin στους τόπους έρευνας, σε σχέση με την εδαφική υγρασία και τη διαφορετική ταχύτητα κίνησης

Τύπος οχήματος	Επιφάνεια επαφής τροχών σε cm^2			
	Ταχύτητα 10 Km/h		Ταχύτητα 20Km/h	

Franklin	Ασβεστόλιθος	Γρανίτης	Ασβεστόλιθος	Γρανίτης
450/R650	Υγρασία	Υγρασία	Υγρασία	Υγρασία
	20 (30)%	12 (20)%	20 (30)%	12 (20)%
	2960 (4375)	2925 (3700)	2945 (4100)	2925 (3550)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τη διεξαχθείσα έρευνα προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα :

1. Εξαιτίας της μεγαλύτερης αξονικής φόρτισης και της μικρότερης επιφάνειας επαφής των τροχών των φορτηγών, αυτά επιβαρύνουν πολλαπλάσια το έδαφος από τα λοιπά μηχανήματα και μέσα μεταφοράς.

2. Διατηρώντας την ίδια αξονική φόρτιση αλλά αυξάνοντας την πίεση του ελαστικού κατά 25%, αυξάνεται ο αριθμός των Ισοδυνάμων αξόνων σε ποσοστά 69% στα διαξονικά , 68% στα τριαξονικά και από 55 - 64% στα τετραξονικά.

3. Φορτίο που μεταβιβάζεται σε δίδυμους άξονες με διπλά ελαστικά επιβαρύνει μέχρι και 3,5 φορές λιγότερο το έδαφος από το ίδιο φορτίο που μεταφέρεται από μονό άξονα με μονό ελαστικό και περίπου 2,5 φορές από μονό άξονα με διπλά ελαστικά.

4. Ο τύπος του φορτηγού που προτείνεται να κυκλοφορεί σε αγροτοδασικό περιβάλλον , γιατί επιβαρύνει λιγότερο το έδαφος κατά τη μεταφορά 1 m^3 είναι κάποιοι τύποι τετραξονικών ,τα τριαξονικά και ορισμένοι συρμοί 5 αξόνων .Η επιβάρυνση είναι περίπου 50% λιγότερη από αυτήν που επιφέρει ένα διαξονικό όχημα. Βρέθηκε ότι ένας Ισοδύναμος Άξονας τετραξονικού φορτηγού μεταφέρει 4.1 μέχρι 5.5 m^3 ,του τριαξονικού 4.7 m^3,όταν ένας Ι.Α. διαξονικού μεταφέρει μόλις 2.85 m^3

5. Αυξανόμενης της εδαφικής υγρασίας κατά 50% , αυξάνονται τα αποτυπώματα των τροχών κατά 50% και το βάθος βύθισης των τροχών κατά 30%. Η παραμόρφωση αυξάνεται επίσης κατά 15% καθώς αυξάνεται η πίεση των ελαστικών κατά 33%, ενώ μειώνεται μέχρι 40% καθώς αυξάνονται οι διαστάσεις των πελμάτων των ελαστικών κατά 33%.

6. Το μέγεθος του βάθους βύθισης των τροχών καθώς και η η επιφάνεια επαφής των τροχών επηρεάζονται επίσης από την ταχύτητα των κινούμενων οχημάτων. Μειούμενης της ταχύτητας των οχημάτων από 20 στα 10Km/h η επιφάνεια επαφής των τροχών αυξάνεται μέχρι και 5%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. AASHTO, 1993. *Guide for design of pavement structures*. American Ass. of state Highway and Transportation Officials, Washington D.C
2. Eskioglou, P., Ch., 1993.Boden und Fahrbahrverformungen von forstwegenunter den Einwirkungen der belastungen von mechanisierungsmitteln. *Proc. Of the XXVII Int. Symposium zur Mechanisierung der Waldabeit* ,Thessaloniki ,324-332.
3. Eskioglou,P., 1994. Die Wirtschaftlichkeit von Lastwagen -transporten unter

Berucksichtingung der Belastung und Abnutzung von Waldstrassen. *Proc. Of the XXVIII Int.Symposium Mechanisierung der Waldarbeit*. Langau i.E., 33- 38.

4. Eskioglou ,P., 1995 . The impact of wood transport with overloaded vehicles on the dimension and the duration of road pavements. *Proc.of the Cost Effective Early Thinnings seminar ,*Limoge„56-63.
5. Heinimann, H.,R., 1997. .Aggregate -surfaced forest roads - Analysis of Vulnerabi lity due to surface erosion. *Proc. of the IUFRO/ FAO seminar on Forest operation in Himalayan Forests ,* Bhutan, 23-31.
6. Hirt, R.,1996. Technische minimalanforderungen im Wald -und Guterstrassenbau. *Schweiz. Z. Forstwes.* 147 (10). 803-816.
7. Hirt, R., 1998 . 40 Toner auf Wald -und Guterstrassen. *Schweiz. Z. Forstwes* .149 (1). 33 – 40.
8. Hirt, R. and Veikko, M., 1999. Die Schadenwirkung verschiedener Lastwagen auf den Strassenoberbau. *Strasse und Verkehr* .243 (8). 54-59 .
9. Καραγιάννης,Ε. και Καραρίζος, Π.,1996. Συνθήκες πρόσφυσης και παραμόρφωσης των φυσικών εδαφών κατά τη μετατόπιση του ξύλου με ελκυστήρες. *Επιστ.Επετηρ. Δ.Φ.Π.,* ΛΘ (2). 155-162.
10. Παναγιωτόπουλος, Κ., 1991. *Παραδόσεις Γεωργικής Μηχανικής*.Υπηρεσία Δημοσιευμάτων . Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
11. Παναγιωτόπουλος, Κ.,Π., και Αλιφέρης , Η., 1990. Η επίδραση της μύζησης εδαφικού νερού και του ρυθμού παραμόρφωσης στη συμπύκνωση δύο αλλουβιακών εδαφών. *Πρακτικά 3ου Εδαφολογικού Συνεδρίου «Προστασία εδαφών – Ποιότητα ζωής»* . Ελληνική Εδαφολογική Εταιρεία . Αθήνα . 59-75.
12. Shoene , W., 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering* . 39. 276-290.
13. Whitcomb ,W., Yapp, M., and Myers, M. 1995. *STP -Surface Thicknes Program-Aggregate Surfacing Design Guide* . USDA - Forest Service.New York.

ΑΡΙΣΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΑΜΒΑΚΟΣΥΛΛΕΚΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Ε. Μυγδάκος, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Οργάνωσης και Διαχείρισης Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων, Αγρίνιο, emygdak@cc.uoi.gr
Γ. Κιτσοπανίδης, Ομότιμος Καθηγητής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσ/νίκης
Θ.Α. Γέμτος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, gemtos@agr.uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή επιχειρείται ο προσδιορισμός του άριστου χρόνου αντικατάστασης των βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών κάτω από τις ελληνικές συνθήκες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από 62 μηχανές της περιοχής Καρδίτσας, στα οποία εφαρμόσθηκαν πέντε μέθοδοι ανάλυσης. Οι τέσσερις μέθοδοι δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα, αναφορικά με το χρόνο αντικατάστασης των μηχανών ($13^{ο}$ μέχρι $15^{ο}$ έτος), τις συνολικές ώρες εργασίας (4280 μέχρι 4862) και τα συνολικά στρέμματα συγκομιδής (13585 μέχρι 15611), εκτός μιας που δίνει ως άριστο χρόνο το $17^{ο}$ έτος, τις 5353 ώρες εργασίας και τα 17485 στρέμματα συλλογής.

Λέξεις κλειδιά: βαμβακοσυλλεκτική, άριστος χρόνος αντικατάστασης, δαπάνες, καθαρό εισόδημα

OPTIMUM REPLACEMENT TIME FOR COTTON PICKERS UNDER GREEK CONDITIONS

E. Mygdakos, University of Ioannina, Department of Farm Business Management, Agrinio, emygdak@cc.uoi.gr
G. Kitsopanidis, Professor emeritus of Aristotelian University of Thessaloniki
T.A. Gemtos, University of Thessaly, Laboratory of Farm Mechanization, gemtos@agr.uth.gr

ABSTACT

In this study an attempt has been made to determine the optimum replacement time for cotton pickers under Greek conditions. For that purpose five methods have been used to analyze the data of 62 pickers working at the Karditsa Prefecture. The analysis has shown that the four methods give similar results regarding the replacement year (13^{th} – 15^{th}), the total working hours (4280 – 4862) and the total hectares harvested (13585 – 15611), except the third method which gives as optimum replacement time the 17^{th} year, the 5353 hours of work and the 17485 hectares harvested.

Keywords: cotton picker, optimum replacement time, expenses, net income

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεταπολεμικά παρατηρήθηκε αθρόα εισαγωγή μηχανών στην ελληνική γεωργία, αρχικά ως γενικής χρήσης μηχανές (π.χ ελκυστήρες), και αργότερα ως μηχανές ειδικής χρήσης (π.χ θεριζοαλωνιστικές, βαμβακοσυλλεκτικές, τευτλοεξαγωγικές, κ.λπ). Η αθρόα εισαγωγή των μηχανών διευκόλυνε την επέκταση ορισμένων κλάδων γεωργικής παραγωγής, συνετέλεσε όμως, σε άλλες περιπτώσεις, στην αύξηση του κόστους παραγωγής. Η αύξηση του κόστους παραγωγής από πλευράς μηχανών, οφείλεται κυρίως στις ετήσιες δαπάνες τους (απόσβεση, τόκος, επισκευές και συντήρηση), ως συνέπεια, είτε του περιορισμένου χρόνου χρήσης τους, είτε της παλαιότητας, σε συνδυασμό με τη μείωση της αξιοπιστίας τους και τις υψηλές δαπάνες επισκευών και συντήρησης [1,2]. Η αύξηση του κόστους γίνεται περισσότερο αισθητή στην περίπτωση απόκτησης των μηχανών με δανεισμό, λόγω υψηλών συμβατικών τόκων και αρκετές φορές λόγω τόκων υπερημερίας [3]). Επειδή η παρουσία των μηχανών στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις είναι συνδεδεμένη με την επέκταση των γεωργικών δραστηριοτήτων και συνεπώς με την αύξηση του εισοδήματος των παραγωγών, εκείνο που επιβάλλεται είναι η καλύτερη δυνατή αξιοποίησή τους. Με τον όρο αυτό εννοούμε την οικονομικότερη σχέση απόδοσης προς τις δαπάνες λειτουργίας των μηχανών, η οποία όμως επιδεινώνεται με την ηλικία αυτών, λόγω μείωσης της απόδοσης και αύξησης των δαπανών . Η σχέση αυτή φέρνει στο προσκήνιο το θέμα του προσδιορισμού του άριστου χρόνου αντικατάστασης των μηχανών.

Το θέμα αυτό, απ' ότι γνωρίζουμε, δεν έτυχε μέχρι σήμερα ειδικής έρευνας, εκτός από κάποιες αναφορές που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, οι Bowers [4] και Hunt [5] αναφερόμενοι στις συνθήκες των ΗΠΑ θεωρούν ως διάρκεια παραγωγικής ζωής μιας βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής τη 10ετία ή τις 2000-2500 ώρες εργασίας. Οι ίδιοι αριθμοί δίνονται στο Yearbook της American Society of Agricultural Engineers [6] . Ο Sowell [7] επίσης, σε μια θεωρητική μελέτη σχετικά με το θέμα αυτό, προσδιορίζει ως ανώτερο όριο για την αντικατάσταση των μηχανών τις 2000 ώρες εργασίας.

Από ελληνικής πλευράς υπάρχουν επίσης κάποιες αναφορές σχετικά με τον πιθανό χρόνο αντικατάστασης μιας βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής. Οι Σούτερ [8] και Τσατσαρέλης [9] αναφέρονται στα 10 έτη παραγωγικής ζωής και στις 2000 ώρες εργασίας τους. Το Υπουργείο Γεωργίας, εξέδωσε το 1981 πίνακες, στους οποίους αναφέρεται η 10ετία ως πιθανός χρόνος αντικατάστασης μιας μηχανής, με βάση τα στοιχεία των ΗΠΑ. Ακόμη, τα 10 χρόνια παραγωγικής ζωής και οι 2500 ώρες συνολικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν σε μελέτη υπολογισμού του κόστους μηχανικής συλλογής βαμβακιού στην Ελλάδα τη 2ετία 1978-79 [10]. Σε σχετική έρευνα που έγινε στον ελλαδικό χώρο σχετικά με το θέμα της παραγωγικής ζωής των βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών, βρέθηκε ότι πολλές από αυτές είχαν ξεπεράσει τη 10ετία και τις 3500 ώρες εργασίας [11], ενώ σε πρόσφατη μελέτη, διαπιστώθηκε μεγάλο ποσοστό μηχανών

ηλικίας πάνω από 15 χρόνια παραγωγικής ζωής, με συνολικές ώρες εργασίας περισσότερες από 5000 [3].

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΡΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΑΔΩΝ ΚΑΙ ΜΕΣΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Το πρόβλημα προσδιορισμού του άριστου χρόνου αντικατάστασης ενός κλάδου παραγωγής (π.χ οπωρώνα), ή ενός μέσου παραγωγής (μηχανήματος), παρουσιάζει οικονομικό ενδιαφέρον, αφού συνδέεται με το κέρδος μιας γεωργικής επιχείρησης. Για το σκοπό αυτό διατυπώθηκαν κατά καιρούς διάφοροι μέθοδοι προσέγγισης του θέματος, μεταξύ των οποίων σπουδαιότερες είναι οι παρακάτω πέντε, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν για την περίπτωση των βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών.

α) Ο προσδιορισμός του έτους, όπου η συνολική απόσβεση της μηχανής ισοσκελίζεται από τις συνολικές δαπάνες των επισκευών και της συντήρησης αυτής [8,9]

β) Ο προσδιορισμός του έτους, όπου οι δαπάνες αθροιστικά της απόσβεσης, των επισκευών και της συντήρησης της μηχανής ελαχιστοποιούνται ανά ώρα εργασίας και ανά στρέμμα συλλογής βαμβακιού [5,12].

γ) Ο προσδιορισμός του έτους, όπου η αρχική αξία της μηχανής αθροιστικά με τις δαπάνες επισκευών και συντήρησης « holding costs», γίνονται ελάχιστες ανά ώρα εργασίας [13,14,15,16].

δ) Ο προσδιορισμός του έτους, όπου ελαχιστοποιείται αθροιστικά το μέσο συνολικό κόστος της μηχανής ανά ώρα εργασίας και γίνεται ίσο με το μέσο οριακό κόστος [17].

ε) Ο προσδιορισμός του έτους, όπου μεγιστοποιείται αθροιστικά το ετήσιο σταθερό καθαρό εισόδημα της μηχανής [18].

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΒΑΜΒΑΚΟΣΥΛΛΕΚΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Τεχνικοοικονομικά δεδομένα, 62 βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών της περιοχής Καρδίτσας της 20ετίας 1983-2002, χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται στις ετήσιες ώρες εργασίας των μηχανών, στον αριθμό των συγκομιζόμενων στρεμμάτων ετησίως, στο συλλεκτικό δικαίωμα ανά στρέμμα, στην ετήσια αμοιβή των χειριστών και την ασφάλιση αυτών, στην ετήσια δαπάνη καυσίμων και λιπαντικών, στις ετήσιες δαπάνες (απόσβεσης, επισκευών και συντήρησης, ασφάλίστρων, και τόκων) των μηχανών, στις ετήσιες δαπάνες στέγασης κλπ. Για λόγους σύγκρισης όλα τα οικονομικά δεδομένα δίνονται σε σταθερές τιμές.

Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο, υπολογίζονται ετησίως αθροιστικά τόσο η απόσβεση της μηχανής όσο και οι δαπάνες επισκευών και συντήρησης αυτής.Η αναπόσβεστη αξία της μηχανής για κάθε έτος της ζωής της και έμμεσα η ετήσια απόσβεση αυτής, υπολογίστηκε ύστερα από στατιστική ανάλυση πραγματικών

στοιχείων πώλησης 45 βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών διαφόρων ηλικιών στη μελετώμενη περιοχή. Από τα στοιχεία αυτά προέκυψε η παρακάτω σχέση

$$Y = e^{-0.506 - 0.0686x}, \qquad R^2 = 0.67$$

όπου: Υ = ποσοστό επί της αρχικής αξίας της μηχανής,
x = ηλικία μηχανής σε έτη

Από την άλλη πλευρά, επειδή, οι ετήσιες δαπάνες επισκευών και συντήρησης της μηχανής παρουσιάζουν ανώμαλη εξέλιξη, συναρτήσει της παραγωγικής της ζωής, ομαλοποιήθηκαν με τη χρήση της παρακάτω εξίσωσης, η οποία προέκυψε από πραγματικά δεδομένα

$$Z = 161.46 + 319.36x - 33.71x^2 + 1.27x^3, \qquad R^2 = 0{,}927$$

όπου: Z = ετήσιες δαπάνες επισκευών και συντήρησης της μηχανής,
x = ηλικία μηχανής σε έτη.

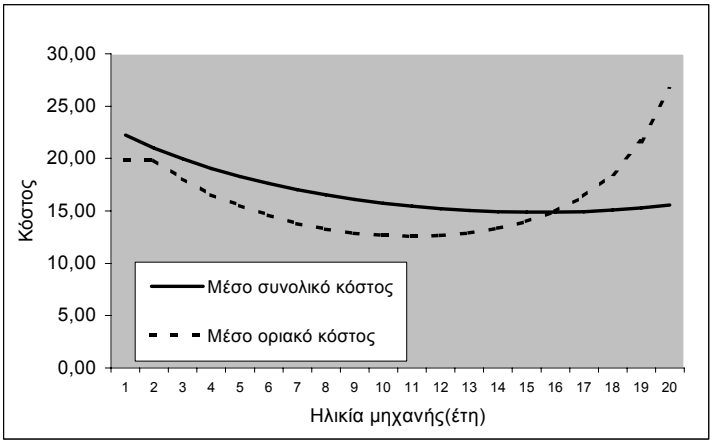
Από τη σύγκριση αθροιστικά της απόσβεσης με τις δαπάνες επισκευών και συντήρησης προέκυψε ότι η ισοσκέλισή τους συντελείται μεταξύ 13^{ου} και 14^{ου} έτους της παραγωγικής ζωής της βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής, γεγονός που σημαίνει ότι ο άριστος χρόνος αντικατάστασής της βρίσκεται μεταξύ των δύο αυτών ετών. Τα έτη αυτά εκφραζόμενα σε έκταση συγκομισθέντος βαμβακιού αντιστοιχούν σε 13600-14625 στρέμματα.

Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο, η αντικατάσταση μιας μηχανής συνιστάται τη χρονιά που επιτυγχάνεται το μικρότερο κόστος απόσβεσης, δαπανών επισκευών και συντήρησης, ανά ώρα εργασίας της μηχανής ή ανά στρέμμα συγκομισθέντος βαμβακιού. Το ελάχιστο κόστος ανά ώρα εργασίας (2294 δραχμές), επιτυγχάνεται στις 4280 ώρες, που αντιστοιχούν στο 13^{ο} έτος της παραγωγικής της ζωής. Αντίθετα, το ελάχιστο κόστος ανά στρέμμα συγκομιδής βαμβακιού (719 δραχμές), επιτυγχάνεται όταν η μηχανή έχει συγκομίσει 15611 στρέμματα, που αντιστοιχούν στο 15^{ο} έτος της παραγωγικής της ζωής. Από το συνδυασμό αυτών, προκύπτει ότι ο άριστος χρόνος αντικατάστασης της μηχανής βρίσκεται μεταξύ 13^{ου} και 15^{ου} χρόνου (μ.ο.14 χρόνια), έχοντας βέβαια συμπληρώσει 4500 ώρες εργασίας και συγκομίσει 14500 στρέμματα.

Η τρίτη μέθοδος προσδιορισμού του αρίστου χρόνου αντικατάστασης μιας βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής στηρίζεται στο συνδυασμό της αρχικής αξίας αυτής και των δαπανών επισκευών και συντήρησης αθροιστικά, γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως «holding costs». Η μέθοδος αυτή εντοπίζει τον άριστο χρόνο αντικατάστασης της μηχανής στο 17^{ο} έτος και στις 5359 ώρες εργασίας της μηχανής..

Η τέταρτη μέθοδος προσδιορισμού του αρίστου χρόνου αντικατάστασης μιας βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής, αναφέρεται στο ελάχιστο μέσο συνολικό και μέσο οριακό κόστος ανά ώρα εργασίας, που εντοπίζεται στο 15^{ο} έτος της

παραγωγικής ζωής της μηχανής και στις 4682 ώρες εργασίας. Αυτό επιβεβαιώνεται γραφικά και από την πορεία της καμπύλης του μέσου συνολικού κόστους ανά ώρα εργασίας συναρτήσει των ετών λειτουργίας της και του συνολικού αριθμού ωρών εργασίας (σχήμα 1).



Σχήμα 1. Μέσο συνολικό και μέσο οριακό κόστος βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής

Η πέμπτη μέθοδος προσδιορισμού του άριστου χρόνου αντικατάστασης μιας βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής σχετίζεται με το χρόνο που επιτυγχάνεται αθροιστικά το μέγιστο ετήσιο σταθερό καθαρό εισόδημα από τη λειτουργία της μηχανής. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται από τη μια πλευρά η ακαθάριστη πρόσοδος και από την άλλη το άμεσο κόστος της βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής συναρτήσει της παραγωγικής της ζωής. Η ετήσια διαφορά ακαθάριστης προσόδου και άμεσου κόστους μας δίνει το ετήσιο καθαρό εισόδημα και σ' αυτό προστίθεται η ετήσια αναπόσβεστη αξία της μηχανής. Τα προκύπτοντα ετήσια αθροίσματα (αρνητικά ή θετικά) ανάγονται σε τιμές του $1^{ου}$ έτους παραγωγικής ζωής της μηχανής δια μέσου συντελεστών προεξόφλησης για να είναι συγκρίσιμα. Στη συνέχεια γίνονται προσθέσεις και αφαιρέσεις από έτος σε έτος αθροιστικά και δια μέσου συντελεστού μετατροπής προεξοφλημένου καθαρού εισοδήματος υπολογίζεται πάλι αθροιστικά το ετήσιο σταθερό καθαρό εισόδημα. Το μέγιστο ετήσιο σταθερό καθαρό εισόδημα από τη λειτουργία της μηχανής επιτυγχάνεται στο $14^{ου}$ έτος της παραγωγικής της ζωής ή στις 4580 ώρες εργασίας της.

4. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια για την όσο το δυνατόν ακριβέστερη προσέγγιση του αρίστου χρόνου αντικατάστασης των βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών υπό τις ελληνικές συνθήκες λειτουργίας τους. Στα χρησιμοποιηθέντα τεχνικοοικονομικά δεδομένα που προέρχονται από 62

βαμβακοσυλλεκτικές μηχανές της περιοχής Καρδίτσας την 20ετία 1983-2002, εφαρμόσθηκαν πέντε μέθοδοι προσδιορισμού του άριστου χρόνου αντικατάστασης των μηχανών. Τρεις από αυτές βασίζονται στο χρόνο (σε συνδυασμό με το συνολικό αριθμό ωρών εργασίας και το συνολικό αριθμό συγκομιζόμενων στρεμμάτων βαμβακιού) όπου επιτυγχάνεται η ισοσκέλιση αθροιστικά της απόσβεσης από τις δαπάνες επισκευών και συντήρησης ή η ελαχιστοποίηση του συνόλου των παραπάνω κατηγοριών δαπανών ανά ώρα εργασίας ή ανά στρέμμα συλλογής βαμβακιού. Η τέταρτη μέθοδος βασίζεται στο χρόνο όπου επιτυγχάνεται αθροιστικά το ελάχιστο μέσο συνολικό κόστος των μηχανών ανά ώρα εργασίας και ανά στρέμμα συλλογής βαμβακιού, ενώ ο πέμπτος συνδέεται με το χρόνο μεγιστοποίησης αθροιστικά του ετήσιου σταθερού καθαρού εισοδήματος από τη λειτουργία αυτών. Η ανάλυση έδειξε ότι δεν παρατηρείται μεγάλη διαφορά μεταξύ των προαναφερθέντων πέντε τρόπων τόσο ως προς το χρόνο ($13^{ο}$ με $15^{ο}$ έτος), όσο και ως προς το συνολικό αριθμό ωρών εργασίας (4280 με 4862 ώρες) και το συνολικό αριθμό συγκομιζόμενων στρεμμάτων (13585 με 15611), εκτός του τρίτου τρόπου ($17^{ο}$ έτος, 5353 ώρες εργασίας, 17485στρ.). Από τις τέσσερις πρώτες μεθόδους, που στηρίζονται σε κάποια μορφή κόστους πρέπει να προτιμάται αυτή με το ελάχιστο μέσο συνολικό κόστος ($15^{ο}$ έτος, 4862 ώρες εργασίας, 15611 στρέμματα συλλογής), ενώ συνολικά πρέπει να προκρίνεται αυτή που προσδιορίζει αθροιστικά το μέγιστο ετήσιο σταθερό καθαρό εισόδημα ($14^{ο}$ έτος, 4580 ώρες εργασίας, 14614 συγκομισθέντα στρέμματα) από τη λειτουργία των βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι τα μέχρι σήμερα θεωρητικά δεδομένα των 10 ετών παραγωγικής ζωής ή 2000-2500 ωρών εργασίας των βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών, δεν ανταποκρίνονται στην ελληνική πραγματικότητα. Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας τεχνοοικονομικής έρευνας προτείνεται όπως χρησιμοποιείται τόσο από τους ερευνητές, όσο και από τους κατόχους (συνεταιρισμούς, ομάδες παραγωγών, ιδιώτες κλπ.) βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών η ηλικία των 14-15 ετών παραγωγικής ζωής σε συνδυασμό με 4500-5000 ώρες εργασίας και 14500-15500 συγκομισθέντα στρέμματα ως άριστος χρόνος αντικατάστασης αυτών υπό τις ελληνικές συνθήκες λειτουργίας τους. Η προτίμηση των ανώτερων ή κατώτερων ορίων παραγωγικής ζωής, ωρών εργασία και συγκομισθέντων στρεμμάτων, θα πρέπει να στηρίζεται στην καλή ή μη καλή συντήρηση και διατήρηση των μηχανών.

Το γεγονός ότι δεν υπάρχουν ανάλογες εργασίες στην Ελλάδα μας δίνει το δικαίωμα να ισχυρισθούμε ότι, τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής πρέπει να αποτελέσουν τη βάση για τη χάραξη από το Υπουργείο Γεωργίας ορθής πολιτικής πάνω στο θέμα του χρόνου αντικατάστασης των 3100 βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών που λειτουργούν σήμερα στη χώρα μας. Ένα μεγάλο ποσοστό, που πλησιάζει το 90% περίπου, των μηχανών αυτών έχουν ξεπεράσει τη 15ετία [19] και συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται με όλες τις οικονομικές συνέπειες, ενώ θα έπρεπε να είχαν αποσυρθεί στα πλαίσια μιας

γενικότερης πολιτικής πάνω στο θέμα των βαμβακοσυλλεκτικών αλλά και τις βαμβακοκαλλιέργειας γενικότερα προς όφελος της εθνικής οικονομίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Mygdakos E., Gemtos T.A. (2002). Reliability of cotton pickers and its effect on harvesting cost, Agricultural Biosystes Vol 8, No 4, August.

[2] Hunt D. 2001. Farm Power and Machinery Management, Iowa state University Press, Ames, Iowa, tenth edition.

[3] Μυγδάκος Ε, Κιτσοπανίδης Γ. και Γέμτος Θ. 2002. Οικονομικότητα των βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών συναρτήσει παραγωγικής ζωής ή συνολικής απόδοσης αυτών: Η περίπτωση του Νομού Καρδίτσας, Εργασία που υποβλήθηκε για το Συνέδριο της ΕΤΑΓΡΟ στην Αθήνα 22-23 Νοεμβρίου.

[4] Bowers W. (1970). Modern Concepts of Farm Machinery Management, Stipes publishing company, Illinois.

[5] Hunt D. 1977. Farm Power and Machinery Management, Iowa state University Press, Ames, Iowa, sevevth edition.

[6]American Society of Agricultural Engineers Year Book (1970).

[7] Sowell R. 1967. A farm machinery replacement study with application to the replacement of self-propelled cotton picker. Ph. D. Thesis, Department of Biological and Agricultural Enginnering, North Carolina State University.

[8] Σούτερ Χ. (1972). Γεωργική Μηχανολογία. Ελκυστήρες-κινητήρες. Αθήνα.

[9] Τσατσαρέλης Κ. (1995). Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη.

[10] Mygdakos E. (1992). The development and use of a simulation model to studu group farming systems for mechanical harvesting of cotton in Greece, PhD. Thesis, Reading University U.K.

[11] Μυγδάκος Ε. και Γέμτος Θ.Α.. (1996). Κόστος συντήρησης και επισκευών βαμβακοσυλλεκτικών, Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 7, τεύχος 4.

[12] Hunt D. 1999. Cost Analysis, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volum III, American Society of Agricultural Engineers.

[13] Barnard C. and Nix J. (1979). Farm Planning and Control, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge.

[14] Upton M. (1976). Agricultural Production Economics and Resource-Use, Oxford University Press, London.

[15] Morris W. (1964). The Analysis of Management Decisions, Richard D. Irwin, Inc. Illinois.

[16] Dunford W. and Ricard R. (1961). The timingk of farm machinery replacement, Journal of Agricultural Economics.

[17] Witney B. (1988). Choosing and Using Farm Machines. Longman, N.Y.

[18] Κιτσοπανίδης Γ. (1990). Οικονομική Γεωργικών Εκμεταλλεύσεων, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

[19] Μυγδάκος Ε. και Γάκος Η. (2000). Βιωσιμότητα βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών στην Ελλάδα, Οργανισμός Βάμβακος

Επεξεργασία Γεωργικών Προϊόντων

ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΟΠΩΡΟΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΜΑΝΙΤΑΡΙ

Δ. Γεωργοπούλου*, Π. Δημαρέλη*, Γ. Λαμπρινός*, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος***

*Γ.Π.Α., Τμήμα Α.Φ.Π.-Γ.Μ., Ιερά Οδός 75, 11855. Τηλ .2105294035, Fax 2105294032
**Τ.Ε.Ι.-Κ, Σ.ΤΕ.Γ., Φ.Π, Αντικάλαμος-24100 Καλαμάτα. Τηλ. 2721045214, Fax 2721069047

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι να εκτιμηθεί αξιόπιστα ο ρυθμός αναπνοής οπωροκηπευτικών που συντηρούνται σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η μέτρηση της αναπνοής συσκευασμένων με πολυαιθυλενικά φιλμς μανιταριών έγινε μετά από σταθεροποίηση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας, κάτω από συνθήκες 'σταθερής κατάστασης'. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αναπνευστική δραστηριότητα μανιταριών του στελέχους F56 *(Agaricus bisporus)* όταν αυτό συντηρείται σε θερμοκρασία 0 ^{o}C και ατμόσφαιρες 3% CO_2 και 12% O_2 ή 4,5% CO_2 και 6% O_2 μειώνεται περίπου στο 30% αυτής που μετρήθηκε σε κανονική ατμόσφαιρα.

Λέξεις κλειδιά: Συντήρηση, τροποποιημένη ατμόσφαιρα, μανιτάρι, ρυθμός αναπνοής.

RESPIRATION MEASUREMENT OF FRUITS AND VEGETABLES UNDER MODIFIED ATMOSPHERE. APPLICATION ON MUSHROOM

D. Georgopoulou*,P. Dimareli* G. Lambrinos*, H. Manolopoulou, D. Mitropoulos***

*Agronomic University of Athens – 75 Iera Odos, 11855 Athens, Greece.
** Technological Educational Institute of Kalamata, Antikalamos, 24100 Kalamata, Greece

ABSTRACT

The aim of this study is to estimate reliably the respiration rate of fruit and vegetables stored under modified atmosphere. The respiration activity measurements were carried out under steady state conditions. Results, from the method application on mushrooms, showed that the respiration rate of the F56 studied strain at 0 ^{o}C and in 3% CO_2 -12% O_2 or 4,5% CO_2 - 6% O_2 atmosphere composition is decreased to 30% of that measured in normal atmosphere.

Keywords: Storage, modified atmosphere, mushroom, respiration rate.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα υπό συσκευασία (MAP), αποτελεί μία τεχνική συντήρησης των οπωρολαχανικών που χρησιμοποιείται για να επιμηκύνει τη ζωή των φρέσκων φυτικών προϊόντων. Η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας περιορίζει την αναπνευστική δραστηριότητα, καθυστερεί την ωρίμανση και τη γήρανση, δημιουργώντας και διατηρώντας μια ευνοϊκή μικροατμόσφαιρα γύρω από το προϊόν (συνήθως περιορισμένης περιεκτικότητας O_2, αυξημένης συγκέντρωσης CO_2 και υψηλής σχετικής υγρασίας). Για να επιλεγεί η πλέον ευνοϊκή σύνθεση της ατμόσφαιρας μέσα σε μια συσκευασία ενός συγκεκριμένου προϊόντος, πρέπει να αναπτυχθεί ένα μαθηματικό μοντέλο που θα περιγράφει την εξέλιξη της ατμόσφαιρας μέσα στη συσκευασία, λαμβάνοντας φυσικά υπ' όψη το ρυθμό αναπνοής του προϊόντος και την περατότητα του πλαστικού φύλλου συσκευασίας στο O_2 και στο CO_2 . Η τελική σύνθεση της ατμόσφαιρας θα εξαρτηθεί από τη θερμοκρασία, την αρχική σύνθεση, την επιφάνεια της συσκευασίας και τη μάζα του προϊόντος.

Η συνήθης μέθοδος μέτρησης του ρυθμού αναπνοής ενός προϊόντος σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα είναι αυτή του κλειστού αναπνευστικού θαλάμου με παράλληλη και συνεχή δέσμευση του παραγόμενου CO_2 [2]. Βέβαια μ' αυτή, είναι δύσκολη η συσχέτιση του ρυθμού αναπνοής με τη συγκέντρωση του CO_2 .

Η ανάγκη ύπαρξης τράπεζας δεδομένων σχετικών με την αναπνευστική δραστηριότητα διαφόρων προϊόντων που συντηρούνται κάτω από συνθήκες ελεγχόμενης/τροποποιημένης ατμόσφαιρας, σε συνδυασμό με την έλλειψή της [1,4] οδήγησαν στην αναζήτηση μεθόδου υπολογισμού του ρυθμού αυτού αναπνοής.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθόδου μέτρησης της αναπνευστικής δραστηριότητας φυτικών οργάνων που συντηρούνται σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα και η παρουσίαση αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της στο καλλιεργούμενο μανιτάρι.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα μανιτάρια που χρησιμοποιήθηκαν ανήκαν στο στέλεχος F56 του είδους Agaricus bisporus της οικογένειας Agaricacae. Μανιτάρια β΄ κοπής (κύματος), προερχόμενα από τη «Φάρμα Μανιταριών Ευβοίας», αμέσως μετά τη συλλογή μεταφέρθηκαν οδικώς και υπό ψύξη στο εργαστήριο μετασυλλεκτικών χειρισμών και ψύξης του τμήματος Α.Φ.Π.-Γ.Μ. του Γ.Π.Α. Μετά τη διαλογή και ομαδοποίηση τα μανιτάρια τοποθετήθηκαν ανά 10 σε πλαστικά κεσεδάκια των 250 g περίπου. Κάθε πλαστικό κεσεδάκι συσκευάσθηκε σε σακουλάκι πολυαιθυλενίου διαστάσεων 23 x 41 cm. Η κατασκευή και συγκόλληση των σακουλιών έγινε με τη βοήθεια θερμοσυγκολλητικής συσκευής. Παράλληλα σε κάποιο σημείο της άνω επιφάνειας της συσκευασίας τοποθετήθηκε ένα septum σιλικόνης για να είναι δυνατή η είσοδος σύριγγας και η λήψη δείγματος αέρα από το εσωτερικό της , για ανάλυση. Μετά την ολοκλήρωση της συσκευασίας,

τα δείγματα αριθμήθηκαν και τοποθετήθηκαν σε πλαστικά διάτρητα τελάρα και σε ψυκτικό θάλαμο συντήρησης στους 0 ^{o}C. Στο ίδιο θάλαμο τοποθετήθηκαν και μάρτυρες (ασυσκεύαστα κεσεδάκια). Τα πλαστικά φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν εύκαμπτα φύλλα πολυαιθυλενίου (PE), μέσης πυκνότητας (MD) 910 kg·m^{-3}, και πάχους 20μm και 30μm και γνωστών περατοτήτων.

Η μεταβολή των συγκεντρώσεων του O_2 και του CO_2 μέσα στις συσκευασίες παρακολουθήθηκαν συστηματικά μέχρι τη σταθεροποίηση τους. Η ανάλυση των αέριων δειγμάτων της ατμόσφαιρας των συσκευασιών έγινε με τη βοήθεια αέριου χρωματογράφου Perkin Elmer 8700, ο οποίος έφερε δύο κολώνες (Porapaque Q 80-100 mesh και Μοριακού πλέγματος ζεολιθικής σύνθεσης) και ανιχνευτή θερμοαγωγιμότητας.

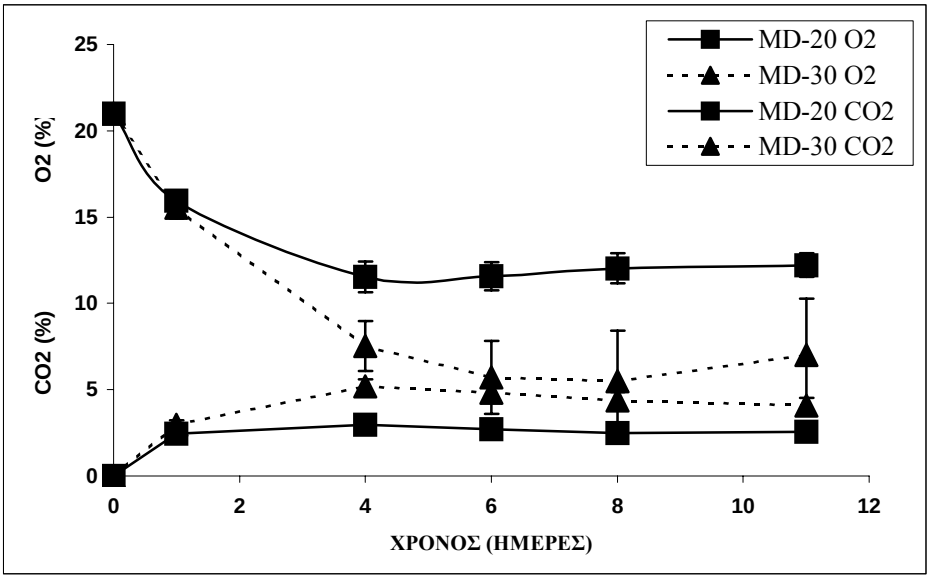
Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της αναπνοής του προϊόντος σε σταθερή κατάσταση (steady state), δηλαδή όταν η ατμόσφαιρα στο εσωτερικό της συσκευασίας έχει σταθεροποιηθεί, οπότε ο ρυθμός αναπνοής των μανιταριών ισοσταθμίζει τις εναλλαγές του O_2 και του CO_2 από τα τοιχώματα της συσκευασίας. Μετά τη σταθεροποίηση της ατμόσφαιρας κάθε συσκευασίας πραγματοποιόταν η μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας με τη συσκευή RICKLOS [3], διάταξη αποτελούμενη από φορητό IR αναλυτή του CO_2 συνδεόμενο σε σειρά και σε κλειστό ελεγχόμενο κύκλωμα με τον αναπνευστικό θάλαμο. Με την ίδια αναπνευστική συσκευή μετρήθηκε ο ρυθμός αναπνοής των ασυσκεύαστων μανιταριών (μάρτυρα). Μετά τη μέτρηση της αναπνοής των συσκευασμένων μανιταριών, αυτά αποσυσκευάζονταν και τοποθετούνταν σε αναπνευστικούς θαλάμους, οι οποίοι συνδεδεμένοι με τη συσκευή RICKLOS μέσω αυτόματου πίνακα ελέγχου υφίσταντο εναλλάξ και κατά τακτά (προγραμματισμένα) χρονικά διαστήματα μέτρηση της ατμόσφαιρας ή αερισμό. Σκοπός αυτής της διαδικασίας ήταν η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής των μανιταριών σε κανονική πλέον ατμόσφαιρα, 21% O_2 και φυσικά αφού η αναπνευστική δραστηριότητα αποκατασταθεί και σταθεροποιηθεί. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων βασίστηκε στην t-δοκιμή σε επίπεδο 0,05 και σε δείγμα 10 συσκευασιών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Η μεταβολή των συγκεντρώσεων του O_2 και του CO_2 της εσωτερικής ατμόσφαιρας των δύο τύπων συσκευασιών παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Παρατηρείται αλλαγή της ατμόσφαιρας (εμπλουτισμός σε CO_2, πτώχευση σε O_2) κατά τις 4 έως 6 πρώτες ημέρες της συντήρησης. Στη συνέχεια η ατμόσφαιρα σταθεροποιείται σε τιμές 2,7% CO_2 και 12,2% O_2 για το πλαστικό PEMD-20 και 4,5% CO_2 και 6.3% O_2 για το πλαστικό PEMD-30.

Στον πίνακα 1 παραθέτουμε το ρυθμό αναπνοής που είχαν τα ασυσκεύαστα μανιτάρια (μάρτυρας), το ρυθμό αναπνοής που είχαν τα μανιτάρια εντός των συσκευασιών PEMD-20 και PEMD-30 μετά τη σταθεροποίηση της εσωτερικής ατμόσφαιρας, καθώς και το ρυθμό αναπνοής των μανιταριών μετά το άνοιγμα των συσκευασιών και τη σταθεροποίηση της αναπνευστικής δραστηριότητας. Η

μεταβολή του εκλυόμενου CO_2 μετά το άνοιγμα της συσκευασίας μέχρι τη σταθεροποίησης του, οπότε αντιπροσωπεύει το ρυθμό αναπνοής του μανιταριού ως ασυσκεύαστου σε κανονική ατμόσφαιρα, φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 1. Μεταβολή της περιεκτικότητας του O_2 και του CO_2 εντός των συσκευασιών PEMD-20 και PEMD-30 των μανιταριών.

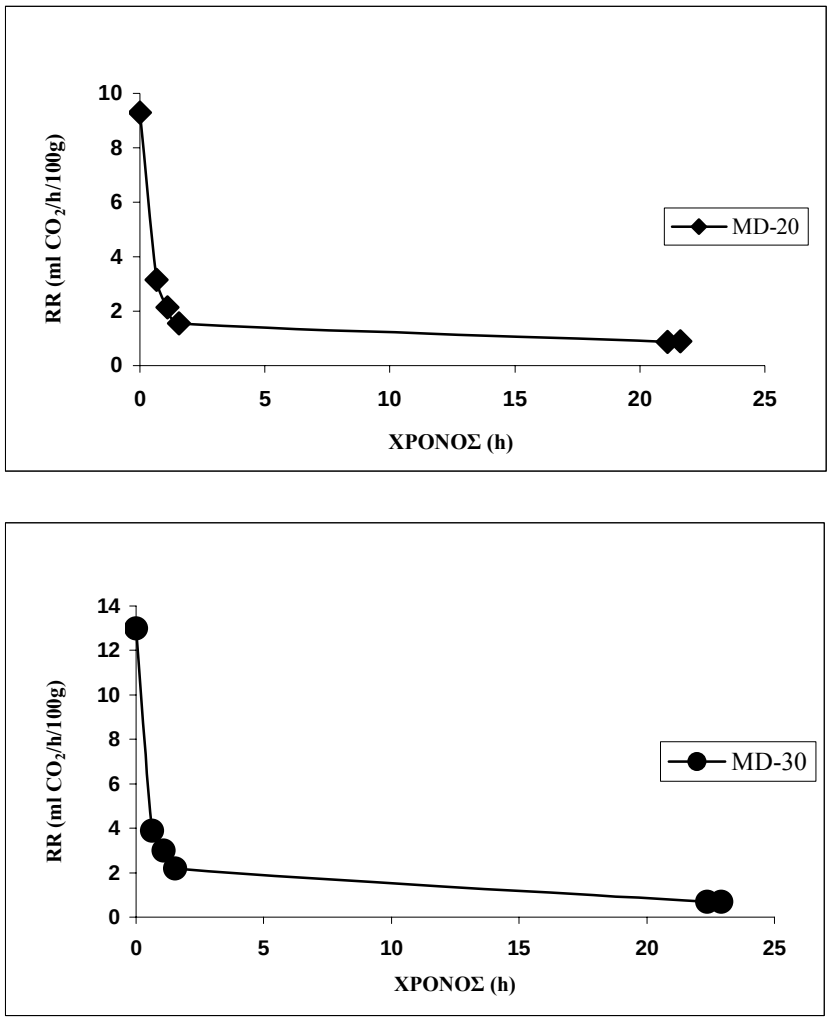
Παρατηρούμε στον πίνακα 1 ότι ο ρυθμός αναπνοής των ασυσκεύαστων μανιταριών είναι υπερτριπλάσιος από αυτόν των συσκευασμένων μανιταριών.

Πίνακας 1. Ρυθμός αναπνοής συσκευασμένων και ασυσκεύαστων μανιταριών.

	ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ (ml CO_2/ h /100g)	
ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ 0 ^{0}C	**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**	**ΜΕΤΑ ΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ**
ΜΑΡΤΥΡΑΣ	0,87 ±0,23	
PEMD-20 (CO_2=2,7% O_2=12,2%)	0,26 ±0,11	0,89 ±0,33
PEMD-30 (CO_2=4,50% O_2=6,30%)	0,24 ±0,09	0,70 ±0,21

Στο σχήμα 2 η μεγαλύτερη πτώση παρατηρείται μεταξύ της 1^{ης} και της 2^{ης} μέτρησης, όπου για 40min ο ρυθμός έκλυσης του CO_2 είναι 6,14ml CO_2/h/100g για τα μανιτάρια που είχαν συσκευασθεί σε PEMD-20 και 9,08 ml CO_2/h/100g για αυτά της συσκευασίας με PEMD-30. Η μείωση αυτή του ρυθμού έκλυσης του CO_2 ερμηνεύεται ως εξής: η ατμόσφαιρα εντός των συσκευασιών είναι πλούσια σε CO_2 και τα μανιτάρια κορεσμένα με αυτήν. Γι' αυτό μετά το άνοιγμα αποβάλλουν προοδευτικά το CO_2 που έχουν απορροφήσει, λαμβάνουν O_2 και επανακτούν σταδιακά ένα σταθερό ρυθμό αναπνοής. Μετά το άνοιγμα, ο ρυθμός

αναπνοής των μανιταριών πλησιάζει αυτόν του μάρτυρα. Επομένως η αναπνευστική δραστηριότητα του προϊόντος που έχει επιβραδυνθεί μέσα στη συσκευασία από την τροποποιημένη ατμόσφαιρα, μετά το άνοιγμα τείνει να επανέλθει στα αρχικά επίπεδα.



Σχήμα 2. Μεταβολή του ρυθμού έκλυσης CO_2 με το χρόνο μετά το άνοιγμα των δύο συσκευασιών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος εκτιμά την αναπνευστική δραστηριότητα του φυτικού οργάνου, αφού αυτή σταθεροποιηθεί σε ήδη γνωστή ατμόσφαιρα (αυτή της MAP), σε αντίθεση με την κλασσική μέθοδο, που εκτιμά το ρυθμό αναπνοής σε μεταβαλλόμενη σύνθεση της ατμόσφαιρας του αναπνευστικού θαλάμου.

Με αυτοματοποίηση, είναι δυνατή η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής σε πολλούς αναπνευστικούς θαλάμους συγχρόνως ώστε να υπάρξει κέρδος χρόνου. Η μέτρηση της αναπνοής μετά την αποσυσκευασία καρπών βοηθάει στην επαλήθευση του αποτελέσματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. .Lee, D.S., Haggar, P.E., Lee, J. and Yam,K.L., 1991. Model for fresh produce respiration in modified atmospheres based on principles of enzyme kinetics. *Journal of Food Science* 56(6). 1580-1585.
2. Lee, J., 1987. The design of controlled or modified packaging systems for fresh produce. In: *J.I. Gray, B.R. Harte and J. Miltz (Eds) Food Product Package Compatibility*, *Techomic Publishing Co.,* Lancaster.
3. Mitropoulos, D., Lambrinos, G. and Manolopoulou, H., 2000. A portable setup for fruit respiration measurement. *Proc of the Int. IIR Conference on Post-harvest treatments of Fruit, Vegetables and ornamentals*, Murcia, vol II, 926-931.
4. Raghavan, G.S.V., Ramachandra, M., Ratti, C. and Gariepy, Y., 1999. Broccoli Respiration Rate Modelling at Varying Gas Compositions and Different Temperatures. *Int. Conference on Agricultural Engineering, Beijing, Paper No 99-ICAE.*

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

Σ. Χαρίτση, Ι.Μαρίτσα, Ν.Παυλίκου και Ε.Μανωλοπούλου
ΤΕΙ-Καλαμάτας, ΣΤΕΓ, Φ.Π., Αντικάλαμος- 24100 Καλαμάτα
Τηλ.2721045214, Fax 2721045234

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της συντήρησης της πιπεριάς σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Οι πιπεριές συσκευάσθηκαν σε τρία διαφορετικά εύκαμπτα πλαστικά φύλλα (LDPE, MDPE, PVC) γνωστής περατότητας και αφού συντηρήθηκαν στους 10 °C και 5 °C για 15 ημέρες, παρέμειναν στη συνέχεια στους 20 °C για 4 ημέρες. Μελετήθηκε η μεταβολή των αερίων O_2, CO_2 μέσα στις συσκευασίες, η απώλεια βάρους, η μεταβολή του χρώματος, της σκληρότητας και της βιταμίνης C καθώς και η εμφάνιση μετασυλλεκτικών βλαβών. Οι πλαστικές συσκευασίες διατήρησαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και μείωσαν τις βλάβες.

Λέξεις κλειδιά: Συντήρηση, πλαστικές συσκευασίες, τροποποιημένη ατμόσφαιρα, πιπεριά

THE EFFECT OF STORAGE TEMPERATURE AND MODIFIED ATMOSPHERE ON BELL PEPPER QUALITY

S. Charitsi, J.Maritsa, N.Pavlikou and H.Manolopoulou
Tecnological Educational Institute of Kalamata, Antikalamos, 24100 Kalamata, Greece
Tel. 2721045214, Fax 2721045234

ABSTRACT

The aim of this paper is the study of bell pepper storage under modified atmosphere. Bell peppers were packaged in three different plastic films (LDPE, MDPE, PVC) of known permeabilities and stored at 10°C and 5°C. After 15 days of storage, bell peppers were kept, for 4 days, in air at 20°C (shelf-life). Package gaz composition change, mass loss, colour evolution, firmness and vitamin C change, as well as decay appearance were studied. The plastic film packages conserve well the quality characteristics of stored bell peppers.

Keywords: Storage, plastic packages, modified atmosphere, bell pepper.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πιπεριά είναι ένα από τα πιο φθαρτά φρέσκα λαχανικά. Το μεγαλύτερο μετασυλλεκτικό της πρόβλημα είναι η υπερβολική απώλεια υγρασίας που οφείλεται κυρίως στη διαπνοή λόγω της μεγάλης επιφάνειας της σε σχέση με τη μάζα της, και η οποία προκαλεί αφυδάτωση, ρυτίδιασμα και παθολογικές ανωμαλίες που μειώνουν αισθητά την ποιότητα και την εμπορευσιμότητα [8]. Η συντήρηση σε χαμηλές θερμοκρασίες και η υψηλή σχετική υγρασία είναι τα κύρια μέσα για την καθυστέρηση της αφυδάτωσης και της γήρανσης. Όμως η πιπεριά είναι ευαίσθητη στις χαμηλές θερμοκρασίες και σε θερμοκρασίες κάτω των 7 °C παρουσιάζει συμπτώματα ασθενειών ψύχους, όπως μαλάκωμα της σάρκας, κηλίδωση και αποχρωματισμό στον κάλυκα [14]. Η υπερβολικά υψηλή σχετική υγρασία λόγω συμπυκνώσεων υδρατμών μπορεί να προκαλέσει μυκητολογικές προσβολές [16]. Ο Janssens [10] συνιστά 8 °C και 90-95% σχετική υγρασία για αποφυγή τόσο της αφυδάτωσης όσο και των μυκητολογικών προσβολών. Οι Forney & Lipton [5] αναφέρουν ότι η τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP) ελαττώνει αισθητά την ευαισθησία της πιπεριάς στο ψύχος. Μελέτες συσκευασιών με πλαστικά φύλλα [14] απέδειξαν ότι η διάρκεια συντήρησης της πιπεριάς αυξάνεται με την τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η συμπύκνωση όμως που μπορεί να δημιουργηθεί μέσα στην συσκευασία, είναι πιθανόν να προκαλέσει την εμφάνιση μυκητολογικών προσβολών [1,7].

Το αντικείμενο της παρούσης μελέτης είναι να εκτιμήσει τις ποιοτικές μεταβολές πιπεριάς που συντηρήθηκε με MAP σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Πιπεριές (*Capsicum annuum* L.) ποικιλίας Twingo F1 συλλέχτηκαν στο πράσινο στάδιο ωριμότητας και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μέσα σε 2 ώρες. Ακολούθησε διαλογή ως προς το μέγεθος, το χρώμα και το βάρος και τοποθέτηση των καρπών σε δισκάκια από πολυστερίνη (4καρποί/δισκάκι) διαστάσεων 15X22X2,5 cm τα οποία συσκευάσθηκαν σε πλαστικές συσκευασίες γνωστής περατότητας στο O_2 και CO_2 που είχαν δημιουργηθεί από πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας πάχους 60μm (LDPE-60), μέσης πυκνότητας πάχους 30μm (MDPE-30) ή φύλλα PVC πάχους 13 μm.

Το κλείσιμο των συσκευασιών έγινε με θερμοσυγκολλητική μηχανή για το PE ή θερμαινόμενη πλάκα για το PVC. Οι συσκευασμένες και μη πιπεριές (μάρτυρες) συντηρήθηκαν για 15 ημέρες στους 5 °C και 95% R.H ή στους 10 °C και 95% R.H και ακολούθως για 4 ημέρες στους 20 °C και 70-75% R.H. Για κάθε χειρισμό (συσκευασία x θερμοκρασία) δημιουργήθηκαν 40 συσκευασίες. Σε 10 πλαστικές συσκευασίες ανά χειρισμό μία μικρή επιφάνεια (<2-3 cm^2) καλύφθηκε από σιλικόνη για να χρησιμεύσει ως septum λήψης αερίων δειγμάτων με τη βοήθεια υποδερμικής βελόνης. Η σύνθεση της ατμόσφαιρας

των συσκευασιών προσδιοριζόταν καθημερινά με τη βοήθεια ενός αναλυτή O_2/CO_2 ChecMate 9900 (PBI Dansensor). Οι ποιοτικοί δείκτες που μελετήθηκαν ήταν οι εξής: απώλεια βάρους, χρώμα, σκληρότητα, περιεκτικότητα σε βιταμίνη C και φυσιολογικές/ μυκητολογικές προσβολές.
Η απώλεια βάρους προσδιορίσθηκε σε 10 συσκευασίες /χειρισμό κάθε $2^η$ ημέρα, με ζυγό ακριβείας (0,01g) και εκφράσθηκε ως % απώλεια του αρχικού βάρους. Η ανάλυση των υπολοίπων δεικτών γινόταν κάθε 4 ημέρες σε 6 τυχαία δείγματα. Το χρώμα μετρήθηκε σε 2 καθορισμένα από την αρχή εκ διαμέτρου αντίθετα σημεία του καρπού με την βοήθεια χρωματόμετρου Minolta CR-300. Πριν από κάθε μέτρηση το όργανο ρυθμιζόταν με την πλάκα βαθμονόμησης (Y=92.6, x=0.3135, ψ=0.3193), η δε χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η CIE 1976, L*,α*,b*. Η μεταβολή του χρώματος εκφράσθηκε με τις χρωματικές παραμέτρους L*= φωτεινότητα (0=μαύρο,100=λευκό), ΔL*%, α*= κόκκινο (+) έως πράσινο (-) χρώμα , b* = κίτρινο (+) έως μπλε (-) χρώμα. Η σκληρότητα μετρήθηκε σε 6 τυχαία δείγματα /χειρισμό με τη βοήθεια ενός Texture Analyser TA.XT2i εφοδιασμένου με έμβολο 2mm. Σε κάθε καρπό γίνονταν 2 μετρήσεις σε τεμάχια διαστάσεων 2cm X 2cm επιλεγμένα από δύο εκ διαμέτρου αντίθετα σημεία. Η αντίσταση στο τρύπημα εκφράστηκε σε N. Η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C προσδιορίσθηκε ογκομετρικά με δείκτη 2,6 διχλωρο –φαινολ-ινδοφαινόλη σύμφωνα με το AOAC πρωτόκολλο και εκφράσθηκε σε mg/100g φρέσκου βάρους. Οι φυσιολογικές και παθολογικές προσβολές εκφράσθηκαν % του αριθμού των καρπών κάθε χειρισμού. Ένα τυχαίο δείγμα 20 καρπών χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των ποιοτικών δεικτών της πρώτης ύλης, στην αρχή κάθε επανάληψης του πειράματος. Το πείραμα επαναλήφθηκε 3 φορές.
Όλα τα δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά με τη μέθοδο της παράλλαξης και οι Μ.Ο. για μεν την απώλεια βάρους και την μεταβολή αερίων συγκρίθηκαν με την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD για p=0.05), για δε την σκληρότητα, την βιταμίνη C και το χρώμα με τη μέθοδο του πολλαπλού εύρους του Duncan (p=0.05). Το στατιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Statgraphics 4.0.

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Σύνθεση της ατμόσφαιρας μέσα στις συσκευασίες

Η περιεκτικότητα των συσκευασιών σε O_2 και CO_2 εξαρτάται από τη θερμοκρασία συντήρησης και το πάχος του πλαστικού (πίνακας 1).
Η συγκέντρωση του O_2 και του CO_2 σε όλους τους χειρισμούς δεν έφθασε σε επίπεδα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν φυσιολογικές ανωμαλίες στους καρπούς. Σύμφωνα με τον Kader [11] η ελάχιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση του O_2 για την πιπεριά κυμαίνεται στο 3%, ενώ αυτή του CO_2 στο 5%. Η συγκέντρωση αυτή του CO_2 καθυστερεί την ωρίμανση των καρπών και διατηρεί τη σκληρότητα [17]. Σύμφωνα με τον Hughes [9] μία ατμόσφαιρα που περιέχει 5% O_2 και 10% CO_2 στους 8 °C αυξάνει κατά 70% το χρόνο συντήρησης της

πιπεριάς ,ενώ οι Bussel and Kenigsberger [3] συνιστούν συγκεντρώσεις O_2 4-8% και CO_2 2-8%. Από τα μελετηθέντα πλαστικά μόνο το LDPE-60 στους 10 °C δημιούργησε μία ατμόσφαιρα που εμπίπτει στα δεδομένα αυτά.

Πίνακας 1. Σύνθεση της ατμόσφαιρας των πλαστικών συσκευασιών στους 10 και 5°C

Ημέρες	Θ°C	LDPE-60		MDPE-30		PVC	
		O_2 %	CO_2 %	O_2 %	CO_2 %	O_2 %	CO_2%
7*	10	7..37±0.9	4..96±0.31	10.86±0..91	2.46±0.3	15.75±0.91	0.90±0.31
15	10	7.24±1.0	4.02±0.27	14.22±1.02	1.68±0.3	16.87±1.0	0.7±0.2
7*	5	11.38±0. 6	3.99±0.16	12.77±0.6	2.26±0.2	17.73±0.61	0.6±0.1
15	5	8.64±1.05	4.60±0.26	12.7±1.05	2.34±0.3	17.87±1.05	0.61±0.3
* Η σταθεροποίηση της ατμόσφαιρας έγινε την $7^{η}$ ημέρα							

3.2 Απώλεια βάρους

Τα 3 πλαστικά φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν δημιούργησαν γύρω από τους καρπούς μία κορεσμένη ατμόσφαιρα που μείωσε το βάρος τους στους 10 °C από 0.32 έως1.1% και στους 5 °C από 0.37 έως 0.8%, έναντι 4% και 3.5% των μαρτύρων, στους 10 °C και 5°C αντίστοιχα. Στο τέλος της εμπορικής ζωής (shelf-life), η απώλεια βάρους της πιπεριάς που συντηρήθηκε στους 10°C κυμάνθηκε από 0.9%(MDPE) έως 2.4%(PVC) έναντι 7.5% του μάρτυρα ,ενώ αυτής που συντηρήθηκε στους 5°C κυμάνθηκε μεταξύ 1.8%(LDPE) και 2.1%(PVC) έναντι 5.3% του αντίστοιχου μάρτυρα. Από τις συσκευασμένες πιπεριές τη μεγαλύτερη απώλεια βάρους παρουσίασαν αυτές που συσκευάστηκαν με PVC και συντηρήθηκαν στους 10 °C.Η απώλεια βάρους ,L%, των μαρτύρων και των συσκευασμένων καρπών με LDPE και PVC παρουσιάζει γραμμική μεταβολή συναρτήσει του χρόνου της μορφής $L(\%) = At$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2 > 0.95$, ενώ αυτών που συσκευάστηκαν με MDPE παρουσιάζει πολυωνυμική μεταβολή της μορφής $L(\%) = At^2 + Bt$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2 > 0.90$

Η απώλεια βάρους αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της συντήρησης και οφείλεται στην αναπνοή, στη διαπνοή και στη διάχυση υδρατμού από την επιδερμίδα. Η απώλεια βάρους λόγω αναπνοής /διαπνοής είναι συνάρτηση της αναπνευστικής δραστηριότητας του καρπού, ενώ η απώλεια βάρους λόγω διάχυσης εξαρτάται από τη διαφορά της υγρασίας μεταξύ του καρπού και της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας καθώς και από την αντίσταση στη διάχυση που παρουσιάζει η επιδερμίδα. Η αντίσταση στη διάχυση εξαρτάται από τη δομή και το πάχος της επιδερμίδας που είναι συνάρτηση της ποικιλίας και του σταδίου ωριμότητας. Τα αρχικά συμπτώματα της αφυδάτωσης παρουσιάζονται όταν η πιπεριά χάσει 5% του αρχικού της βάρους οπότε υποβαθμίζεται η ποιότητά της [6] και αυξάνει η ευαισθησία της στις προσβολές από *Botrytis* και άλλα παθογόνα [4]. Η συσκευασία λειτουργεί σαν μία επιπλέον αντίσταση στη διάχυση και αποτελεί ένα εξαιρετικό μέσον μείωσης της απώλειας βάρους,

όπως έδειξαν τα αποτελέσματα τα οποία είναι ακόμα καλλίτερα όταν η συσκευασία δεν επιτρέπει τη δημιουργία συγκεντρώσεων O_2 και CO_2 επιζήμιων για τη συντήρηση των καρπών.

3.3 Σκληρότητα

Η μεταβολή της σκληρότητας της πιπεριάς συσκευασμένης ή μη, συντηρούμενης στους 5°C και στους 10°C παρουσιάζεται στον πίνακα 2, όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι, στο τέλος της συντήρησης στους 10°C καθώς και στο τέλος του shelf life (S.L) οι πλαστικές συσκευασίες

Πίνακας 2. Επίδραση της συσκευασίας και της θερμοκρασίας συντήρησης στη σκληρότητα της πιπεριάς στο τέλος της συντήρησης ($15^η$ ημ.) και του S.L ($19^η$ ημ.)

Ημέρες	Μάρτυρας	LDPE-60	MDPE-30	PVC
Αρχή = 10,3 N		10°C		
15	8.05 a	9.55 b	9.51b	8.88b
19 (S.L)	7.67 a	9.00 b	9.23b	8.50ab
Αρχή = 10.3 N		5 °C		
15	8.26 a	9.48 b	9.15b	9.0 ab
19 (S.L)	7.78 a	8.95 b	8.50ab	8.40ab
Οι τιμές στην αυτή γραμμή με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά (Duncan's test p=0.05)				

διατήρησαν υψηλότερες τιμές σκληρότητας (στατιστικά σημαντικές) σε σύγκριση με το μάρτυρα. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για τη συντήρηση στους 5°C, με τη διαφορά ότι οι συσκευασμένες με PVC πιπεριές παρότι διατήρησαν υψηλότερη τιμή συγκριτικά με το μάρτυρα, δεν διαφέρουν στατιστικά. Από τα αποτελέσματα και των απωλειών βάρους φαίνεται ότι η σκληρότητα της πιπεριάς είναι άμεσα συνδεδεμένη με την απώλεια βάρους.

3.4 Χρώμα

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει τις μεταβολές του χρώματος συσκευασμένης και μη πιπεριάς συντηρημένης για 15 ημέρες στους 5 ή 10 °C και στη συνέχεια στους 20 °C για 4 ημέρες. Η μεταβολή του χρώματος όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία συντήρησης όσο και από τη συσκευασία. Οι συσκευασίες στο τέλος της συντήρησης των 10° C επέτρεψαν στις πιπεριές να διατηρήσουν υψηλότερη φωτεινότητα (μικρότερες τιμές ΔL%) και πιο έντονο πράσινο χρώμα (μεγαλύτερες απόλυτες τιμές του α*). Στο τέλος του shelf-life οι συσκευασμένες πιπεριές εξακολούθησαν να παρουσιάζουν μικρότερη απώλεια φωτεινότητας (διαφορά στατιστικά σημαντική). Αναφορικά με το πράσινο χρώμα (α*) η συσκευασία MDPE παρουσίασε την υψηλότερη απόλυτη τιμή, η δε συσκευασία PVC τη χαμηλότερη. Τέλος οι συσκευασίες διατήρησαν υψηλότερες τιμές του b*. Μετά από 15 ημέρες συντήρησης στους 5°C οι συσκευασμένοι καρποί παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως

προς την απώλεια της φωτεινότητας, καμία όμως διαφορά ως προς το πράσινο χρώμα. Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και για το τέλος του S.L.
Οι τιμές του L* αυξάνονται με την ωρίμανση του καρπού, πράγμα που σημαίνει αλλαγές από ένα έντονο πράσινο χρώμα σε ένα λιγότερο έντονο. Οι χαμηλές τιμές του L* στην περίπτωση των μαρτύρων προφανώς οφείλονται στη μεγαλύτερη απώλεια βάρους, γεγονός που συμφωνεί με τις παρατηρήσεις του Ben –Yehoshua [2] ο οποίος προτείνει μία άμεση συσχέτιση μεταβολής του χρώματος και του υδατικού stress. Τα αποτελέσματα μας συμφωνούν με αυτά του Lownds [12]. Η μεταβολή

Πίνακας 3.Μεταβολή του χρώματος της πιπεριάς συναρτήσει της συσκευασίας και της θερμοκρασίας συντήρησης.

Τύπος συσκ.	L*		ΔL*%		α*		b*	
	$15^{η}$ημ	S.L	$15^{η}$ημ	S.L	$15^{η}$ημ	S.L	$15^{η}$ημ	S.L
10°C Αρχή 38.5±0.73					**-14.39±0.48**		**20.6±1.03**	
Μάρτ/ας	35.81a	34.93a	5.46a	6.39a	-12.0a	-10.5a	20.67a	17.78a
LDPE-60	37.78ab	37.67b	2.65ab	1.86b	-13.96b	-11.2a	20.75a	19.24b
MDPE-30	38.0b	38.59b	0.97b	0.78b	-13.84b	-12.6c	21.63a	19.93b
PVC	38.07b	39.25b	2.6ab	1.66b	-13.16b	-9.61b	21.8a	21.4b
5°C Αρχή 38.23±0.71					**-13.8±0.55**		**19.99±1.06**	
Μάρτ/ας	36.41a	36.73ab	4.3c	3.92c	-13.92a	-12.07a	24.08a	18.89ab
LDPE-60	38.8a	39.55c	0.18ab	1.12b	-13.40a	-12.21ab	22.08ab	21.7b
MDPE-30	37.24a	37.9a	0.10a	0.47a	-12.93a	-10.99b	20.04b	17.41a
PVC	37.22a	39.17bc	0.41ab	0.73a	-13.29a	-13.0a	20.61ab	20.73ab
Οι τιμές στην αυτή στήλη με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά (Duncan's test p=0.05)								

των τιμών του α* είναι συνάρτηση τόσο της αποικοδόμησης της χλωροφύλλης όσο και της σύνθεσης των καροτινοειδών [18]. Η διατήρηση των τιμών του α* στα αρχικά επίπεδα στην περίπτωση των συσκευασιών πρέπει να αποδοθούν στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα [17] ενώ ο Lownds [12] το αποδίδει μόνο στη μείωση του υδατικού stress.Τέλος η αύξηση των τιμών του b* κατά τη διάρκεια της συντήρησης και στις δύο θερμοκρασίες υποδηλώνει σύνθεση κίτρινων χρωστικών (β-καροτίνια, βιολοξανθίνη) που λαμβάνει χώρα κατά την ωρίμανση [18].

3.5. Βιταμίνη C

Οι μεταβολές της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C κατά τη διάρκεια της συντήρησης, παρουσιάζονται στον πίνακα 4 όπου παρατηρούμε ότι οι πλαστικές συσκευασίες LDPE και MDPE διατήρησαν την περιεκτικότητα του καρπού σε βιταμίνη C και στις δύο θερμοκρασίες τόσο στο τέλος της συντήρησης όσο και στο τέλος του shelf-life.Οι συσκευασίες που δημιούργησαν μία ατμόσφαιρα με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε O_2 και υψηλότερη σε CO_2 από αυτήν του αέρα (LDPE, MDPE) διατήρησαν σε υψηλότερα επίπεδα την περιεκτικότητα των καρπών σε ασκορβικό οξύ, ενώ αυτές των οποίων η σύνθεση της ατμόσφαιρας

ήταν κοντά σε αυτή του αέρα (PVC) παρουσίασαν ελαφρά καλλίτερες τιμές από το μάρτυρα όχι όμως στατιστικά διαφορετικές.

Πίνακας 4. Μεταβολή της περιεκτικότητας σε ασκορβικό οξύ συσκευασμένης και μη πιπεριάς, μετά από συντήρηση 15 ημερών στους 5°C και 10°C και 4 ημερών S.L

Συσκευασία	Ασκορβικό οξύ (mg/100 g φρέσκου βάρους)						
	Αρχή	$7^{η}$ ημέρα		$15^{η}$ ημέρα		Shelf-life	
		10°C	5°C	10°C	5°C	10°C	5°C
LDPE-60	101.2±7.7	98.08a	99.1a	94.67a	91.29a	90.0a	88.0a
MDPE-30	101.2±7.7	99.4a	98.4a	96.66a	92.15a	92.66a	89.5a
PVC	101.2±7.7	78.26b	85.3ab	86.0b	81.33a	79.33b	80.0b
Μάρτυρας	101.2±7.7	77.02b	81.42b	84.0b	76.04b	78.0b	75.0b
Σύγκριση Μ.Ο με Duncan's test p=0.05							

3. 6.Φυσιολογικές ανωμαλίες και Παθολογικές προσβολές

Οι μετασυλλεκτικές ανωμαλίες των συσκευασμένων πιπεριών κατά τη συντήρηση στους 5°C ήταν ελάχιστες και δε ξεπερνούσαν συνολικά το 1% έναντι 10% του μάρτυρα. Οι πλαστικές συσκευασίες μείωσαν αισθητά τις ασθένειες ψύχους, οι οποίες εμφανίζονται στη θερμοκρασία αυτή μετά από μία εβδομάδα [16]. Η μείωση των φυσιολογικών ασθενειών δεν επηρεάστηκε από τη σύνθεση της ατμόσφαιρας, αλλά από τη διατήρηση της υγρασίας γιατί και οι συσκευασίες με PVC δεν παρουσίασαν φυσιολογικές ανωμαλίες. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με αυτά άλλων ερευνητών [2,13]. Κατά τη συντήρηση στους 5°C και 10°C δεν παρατηρήθηκαν παθολογικές προσβολές. Στο τέλος του shelf- life οι συσκευασμένες και συντηρημένες στους 10°C πιπεριές παρουσίασαν 3% προσβολές στην περίπτωση των συσκευασιών LDPE και 5% σ' αυτήν με PVC, έναντι 10% του μάρτυρα. Ο μάρτυρας των 5°C παρουσίασε ένα ποσοστό της τάξης του7-8%.

Οι παθολογικές προσβολές είναι περιοριστικός παράγοντας μιας μακροχρόνιας συντήρησης και ευνοούνται από τις συμπυκνώσεις πάνω στους καρπούς [2,4]. Στην συγκεκριμένη έρευνα δεν παρουσιάστηκαν συμπυκνώσεις και ίσως σε αυτό να οφείλεται η μη εμφάνιση παθολογικών προσβολών σε συνδυασμό με την πιθανή ανθεκτικότητα της ποικιλίας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ατμόσφαιρες που δημιουργήθηκαν από τις πλαστικές συσκευασίες χαρακτηρίζονται ως αποτελεσματικές, ειδικότερα αυτές του πλαστικού LDPE-60, επιτυγχάνοντας τόσο σημαντική μείωση της απώλειας βάρους όσο και διατήρηση της σκληρότητας, του αρχικού βάρους και της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C, ενώ παράλληλα παρεμπόδισαν την εμφάνιση φυσιολογικών ασθενειών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ben- Yehoshua, S., 1985. Individual seal packaging of fruit and vegetables in plastic film. A new postharvest technique. *HortScience*. (20). 32-37.
2. Ben-Yehoshua, S., Shapiro, B., Chen, J.E, Lurie, S., 1983. Mode of action of plastic film in extending life of lemon and bell peppers fruits by alleviation of water stress. *Plant Physiol*. (73). 87-93.
3. Bussel, J., Kenigsberger, Z., 1975. Packaging green bell peppers in selected permeability films. *Journal of Food Science*. (40).1300-1303.
4. Eckert, J.W., 1978. Pathological diseases of fresh fruits and vegetables. In: *Postharvest biology and biotechnology*. Food and Nutrition Press, Westport, Conn. 161-209.
5. Forney, C.F., Lipton, W.J., 1990. Influence of controlled atmosphere and packaging on chilling sensitivity. In: *Chilling injury of Horticultural Crops*. C.R.C Press, Boca Raton Fla. 257-268.
6. Gonzalez, G., Tiznado, M., 1993. Postharvest physiology of bell peppers stored in low density polyethylene bags. *L.W.T* . (26). 450-455
7. Govindarajan, V.S., 1985. Capsicum :production technology, chemistry and quality: Part I. History botany cultivation and primary processing. *Crit. Rev Food Sci. Nutr*. (24). 109-176.
8. Hardenbourg, R.E.,1971. Effects of in-package environment on keeping quality of fruits and vegetables. *HortScience.* (6).198-202.
9. Hughes, P.A., Thompson, A.K., Pumbley, R.A., Seymour, G.B., 1981. Storage of capsicum under controlled atmosphere, modified atmosphere and hypobaric conditions. *J.Hort. Sci*. (1).261-265.
10. Janssens, M.F.M.,1993. Sea transportation of bell peppers by a controlled atmosphere container. *6th Int. Controlled atmosphere Res. Conf*. Cornell Univ, Ithaca, N.Y. paper N^{o} 18.
11. Kader, A.A., 1992. *Postharvest technology of horticultural crops.* University of California, Div. Of Agr. And Nat. Res. Bublication.3311
12. Lownds, N.K., Banaras, M., Bosland, P.W., 1994. Postharvest water loss and storage quality of nine pepper cultivars. *HortScience*. 29(3).191-193.
13. Meir, S., Rosenberger, I., Aharon,Z., Grinberg, S.,Fallik,E., 1995. Improvement of the postharvest keeping quality and colour development of bell pepper by packaging with polyethylene bags at a reduced temperature. *Postharvest Biology and Technology.* (5).303-309.
14. Miller, W.R., Risse, L.A., Mc Donald, R.E., 1986. Deterioration of individually wrapped and non wrapped bell peppers during long –term storage. *Tropical Science*. (26).1-8.
15. Polderdijk, J.J., Boerrigter, H.A.M., Wilkinson, E.C., Meijer, J.G., Janssens, M.F.M.,1993. The effects of controlled atmospherestorage at varying levels of relative humidity on weight loss, softening and decay of red bell peppers. *Scientia Horticulturae*. 55(3-4).315-321.
16. Rajput, J.C, Parulekar, Y.R., 1998. Capsicum. In: *Handbook of vegetable Science and Technology.* Marcell Dekker, Inc. 203-224.
17. Weichman, J.,1986. The effect of controlled atmosphere storage on the sensory and nutritional quality of fruits and vegetables. *Hort. Rev*. (8).101-105.
18. Wien, H.C.,1997. Peppers. In: *The physiology of vegetable crops*. CAB International, N.Y. 259-293.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ

Π. Δημαρέλη*, Γ. Βαρζακάκος, Γ. Λαμπρινός*, Ε. Μανωλοπούλου ****
*Γ.Π.Α., Τμήμα Α.Φ.Π.-Γ.Μ. Ιερά Οδός 75, 11855. Τηλ:.2105294035, Fax:2105294032
**Τ.Ε.Ι.-Κ, Σ.ΤΕ.Γ., Φ.Π, Αντικάλαμος-24100 Καλαμάτα. Τηλ: 2721045214, Fax:2721069047

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τρία διαφορετικά στελέχη (F56, 737, A2810) καλλιεργούμενου μανιταριού *(Agaricus bisporus*) συντηρήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους 0 ^{o}C, 5 ^{o}C, 10 ^{o}C, 15 ^{o}C και 20 ^{o}C. Παρατίθενται πειραματικά δεδομένα της μεταβολής του ρυθμού αναπνοής συναρτήσει της θερμοκρασίας για τα τρία στελέχη. Η σύγκριση δείχνει ότι το στέλεχος 737 επηρεάζεται περισσότερο από τη θερμοκρασία συντήρησης. Τέλος, εκτίθεται η σχέση που δίνει τη μεταβολή της αποδιδόμενης από το προϊόν (για όλα τα στελέχη μαζί) ανά μονάδα μάζας θερμικής ισχύος (KJ· kg^{-1} h^{-1}) με τη θερμοκρασία συντήρησης.

Λέξεις κλειδιά: Συντήρηση, μανιτάρι, ρυθμός αναπνοής, θερμότητα αναπνοής.

TEMPERATURE EFFECT ON RESPIRATION RATE AND RESPIRATION HEAT OF CULTIVATED MUSHROOMS

P. Dimareli*, G. Varzakakos, G. Lambrinos*, H. Manolopoulou****
*Agronomic University of Athens – 75 Iera Odos, 11855 Athens, Greece.
**Technological Educational Institute of Kalamata, Antikalamos, 24100 Kalamata, Greece

ABSTRACT

Three different strains (F56, 737, A2810) of cultivated mushroom (*Agaricus bisporus*) were stored in cold rooms at 0 ^{o}C, 5 ^{o}C, 10 ^{o}C, 15 ^{o}C and 20 ^{o}C. Experimental data showing the change of the respiration rate versus temperature for the three strains are presented. The data comparison shows that the strain 737 is more influenced by the storage temperature than the other ones. Finally, a relationship giving the mushroom respiration heat against storage temperature is presented.

Keywords: Storage, mushroom, respiration rate, respiration heat.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το εδώδιμο μανιτάρι αποτελεί ένα ενδιαφέρον φυτικό προϊόν, η επιμήκυνση δε του χρόνου συντήρησής του έχει μεγάλη οικονομική σημασία τόσο για το γεωργικό όσο και τον εμπορικό χώρο. Ο χρόνος συντήρησης συνδέεται άμεσα με την αναπνευστική δραστηριότητα του προϊόντος, η οποία με τη σειρά της είναι συνάρτηση των συνθηκών συντήρησης [1]. Για τη βελτίωση των μετασυλλεκτικών διαδικασιών και τεχνολογιών που αφορούν στο μανιτάρι, είναι απαραίτητες οι πληροφορίες που σχετίζονται με την αναπνευστική δραστηριότητα του καλλιεργούμενου μανιταριού και οι οποίες είναι λίγες. Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην παρούσα μελέτη, η οποία είχε ως στόχους:
α) Τη μέτρηση του ρυθμού αναπνοής τριών στελεχών μανιταριού *Agaricus bisporus* σε διάφορες θερμοκρασίες συντήρησης
β) Την εκτίμηση της εκλυόμενης από το προϊόν θερμικής ισχύος (αναπνοής) ανάλογα με τη θερμοκρασία συντήρησης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μανιτάρια του είδους *Agaricus bisporus* και των στελεχών F56 (ITALSPAWN), 737 (SYLVAN) και A2810 (AMICEL) β΄ κοπής (κύματος), προερχόμενα από τη «Φάρμα Μανιταριών Ευβοίας», αμέσως μετά τη συλλογή μεταφέρθηκαν οδικώς και υπό ψύξη στο εργαστήριο μετασυλλεκτικών χειρισμών και ψύξης του Τμήματος Α.Φ.Π.-Γ.Μ. του Γ.Π.Α. Στη συνέχεια τα μανιτάρια μετά τη διαλογή, ομαδοποιήθηκαν και αφού τοποθετήθηκαν σε πλαστικές θήκες ή κεσεδάκια (7 θήκες ανά ομάδα) συντηρήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους θερμοκρασιών 0 ^{o}C, 5 ^{o}C, 10 ^{o}C, 15 ^{o}C και 20 ^{o}C.

Σ' όλες τις θερμοκρασίες συντήρησης, έγινε συστηματικός καθημερινός έλεγχος και καταγραφή του βάρους (με ζυγό ακριβείας 0.02g και διακριτικής ικανότητας 0.01g) και του ρυθμού αναπνοής με τη συσκευή RICKLOS [3,4], διάταξη αποτελούμενη από φορητό IR αναλυτή CO_2 που συνδέεται σε σειρά με τον αναπνευστικό θάλαμο και που με τις σωληνώσεις αποτελούν κλειστό ελεγχόμενο κύκλωμα. Το αναλογικό σήμα της συσκευής καταγραφόταν ηλεκτρονικά και με τη μέθοδο της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων υπολογιζόταν η κλίση της ευθείας C=f(t). Μετά τις μετρήσεις της αναπνευστικής δραστηριότητας των μανιταριών κάθε πλαστικής θήκης, ακολουθούσε ογκομέτρηση των περιεχόμενων μανιταριών. Ο ρυθμός αναπνοής υπολογίστηκε με βάση τη σχέση:

$$RR = C \cdot (V / m) \cdot 10^{-4} \qquad [\text{ml } CO_2 / 100\text{g}/ \text{h}]$$

Όπου C: η κλίση της ευθείας C=f(t) σε ppm/h.
V: ελεύθερος όγκος του αέρα (ml) = συνολικός όγκος κυκλώματος –όγκος του προϊόντος
m: μάζα προϊόντος σε g.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

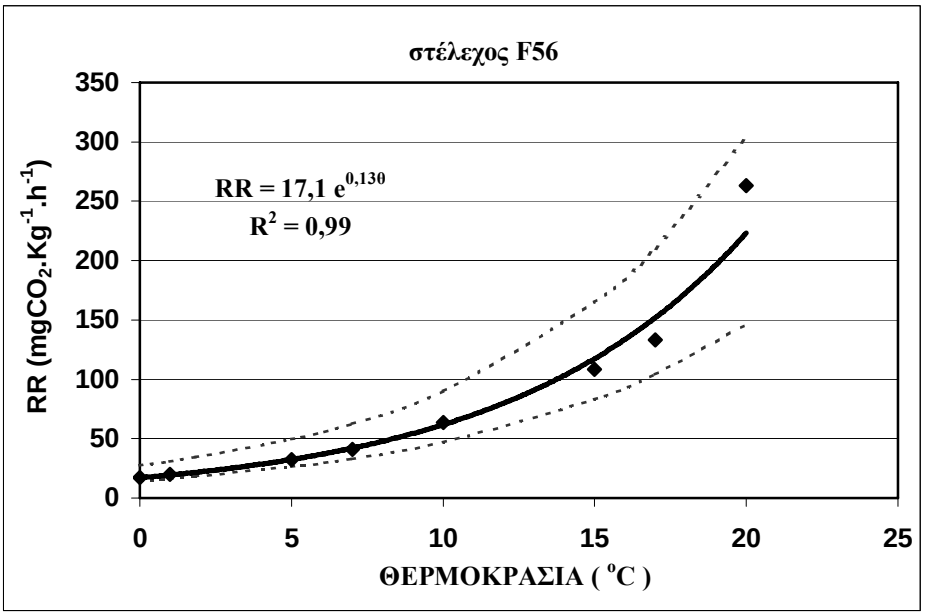
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ρυθμού αναπνοής των τριών στελεχών στις κύριες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Μέσοι όροι του ρυθμού αναπνοής των τριών στελεχών μανιταριού Agaricus bisporus για πέντε βασικές θερμοκρασίες συντήρησης.

ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ($mgCO_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$)			
	στέλεχος		
θερμοκρασία	**F56**	**737**	**A2810**
(^{O} C)	RR	RR	RR
0	17,4	21	29,4
5	32,2	44,8	54,2
10	63,8	85,8	77,8
15	108,2	240,6	191
20	263,4	392,2	374

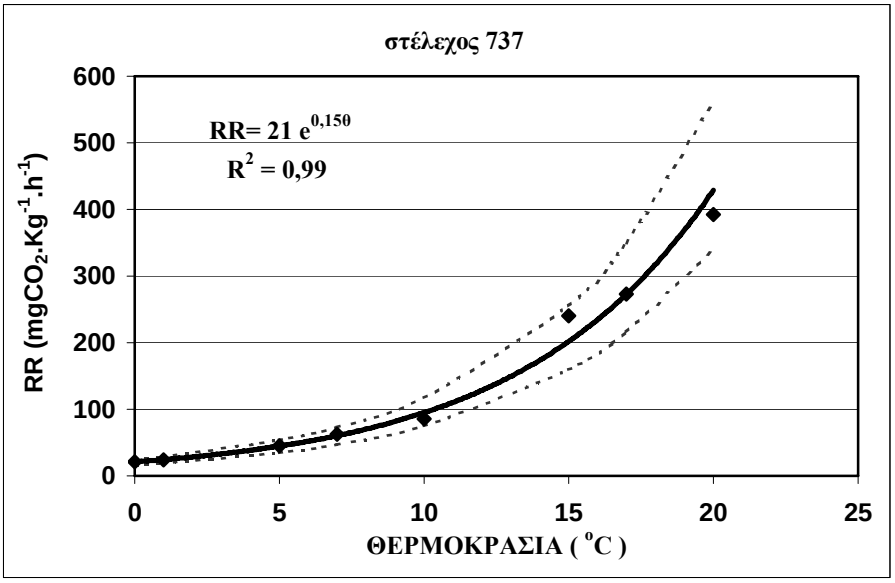
Η στατιστική επεξεργασία με την t-δοκιμή σε επίπεδο 0,05 των τιμών αναπνοής που αντιστοιχούσαν σε διαφορετικές θερμοκρασίες συντήρησης (7 τιμές ανά ομάδα), οδήγησε σε γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων όπως φαίνεται στα σχήματα 1-3.

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή της αναπνευστικής δραστηριότητας του στελέχους F56 με τη θερμοκρασία συντήρησης. Παρατηρούνται μικροί ρυθμοί αναπνοής τόσο στις χαμηλές όσο και στις υψηλές θερμοκρασίες.



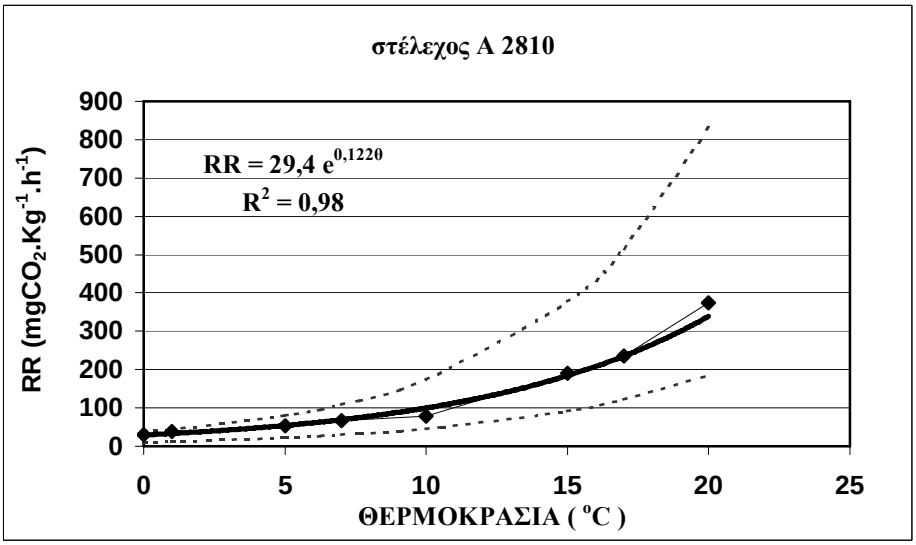
Σχήμα 1. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής του στελέχους F56 με τη θερμοκρασία συντήρησης.

Το στέλεχος 737 (σχήμα 2) παρουσιάζει ελαφρώς υψηλότερους ρυθμούς αναπνοής από το προηγούμενο στις χαμηλές θερμοκρασίες, ρυθμούς οι οποίοι αυξάνουν έντονα με την άνοδο της θερμοκρασίας συντήρησης.



Σχήμα 2. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής του στελέχους 737 με τη θερμοκρασία συντήρησης.

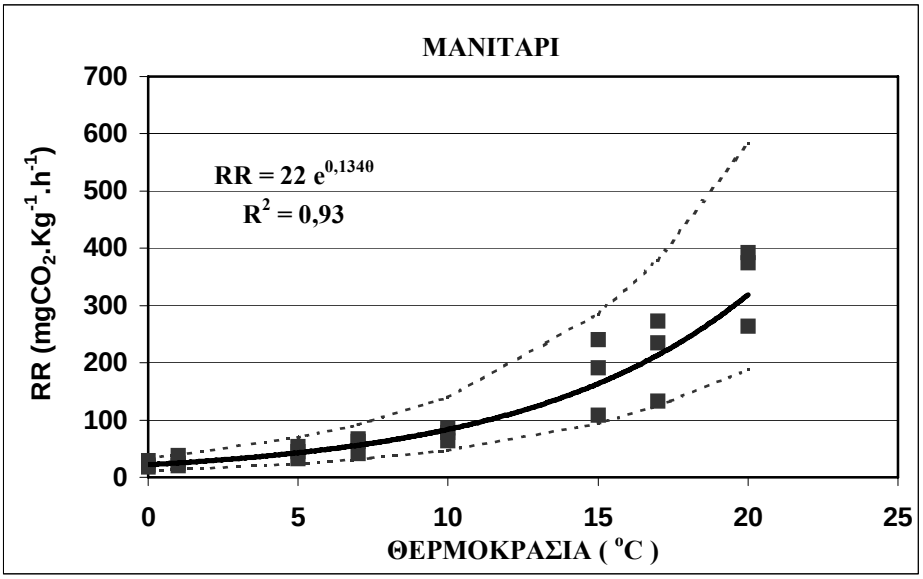
Τέλος το στέλεχος Α2810 (σχήμα 3) ενώ έχει σημαντικά υψηλότερους ρυθμούς



Σχήμα 3. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής του στελέχους Α2810 με τη θερμοκρασία συντήρησης.

αναπνοής στις χαμηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης, στις υψηλότερες δεν εμφανίζει το ίδιο υψηλούς ρυθμούς όπως το στέλεχος 737.

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η μεταβολή της αναπνευστικής δραστηριότητας και των τριών στελεχών μανιταριού *Agaricus bisporus* με τη θερμοκρασία συντήρησης και στον πίνακα 2 παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι συσχετίσεις του ρυθμού αναπνοής.



Σχήμα 4. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής των στελεχών F56, 737και A2810 με τη θερμοκρασία συντήρησης.

Πίνακας 2. Συσχέτιση του ρυθμού αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης.

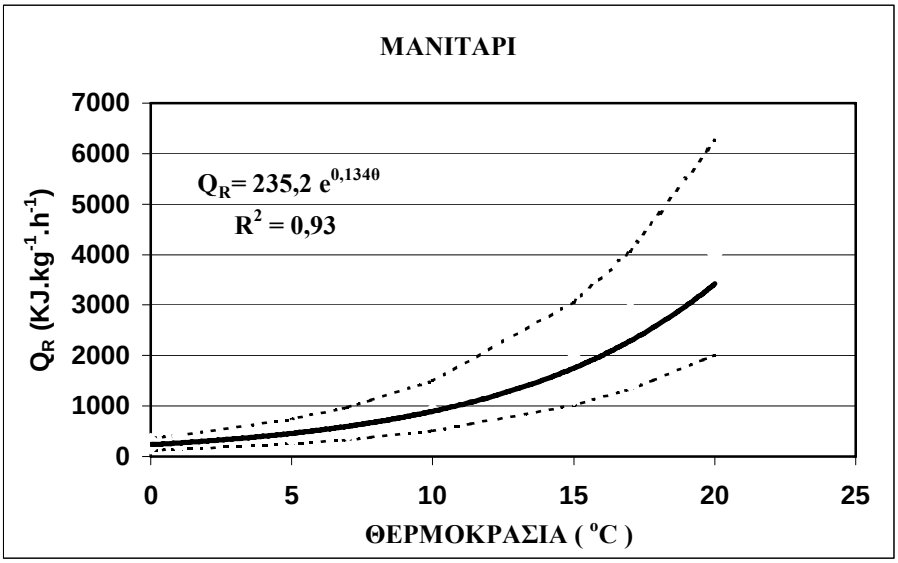
	$RR = A\ e^{B\theta}$		
στέλεχος	**A**	**B**	**R^2**
F56	17,1	0,13	0,992
737	21	0,15	0,994
A2810	29,4	0,122	0,984
Μανιτάρι (και για τα 3 στελέχη)	22	0,134	0,934

Πάντως οι εκτιμηθείσες τιμές του ρυθμού αναπνοής, συγκρινόμενες με αυτές που χρησιμοποιεί ο Kader [2] για την ταξινόμηση των προϊόντων από πλευράς αναπνευστικής δραστηριότητας, μόνο για το στέλεχος A2810 συμφωνούν. Οι άλλες είναι ελαφρώς μικρότερες, κατατάσσοντας το μανιτάρι στα προϊόντα υψηλού (και όχι λίαν υψηλού) ρυθμού αναπνοής.

Με βάση τη σχέση που περιγράφει την παραγωγή θερμότητας αναπνοής ανά μονάδα χρόνου από το ρυθμό αναπνοής του μανιταριού (των τριών στελεχών):

$$\dot{Q}_R[KJ \cdot Kg^{-1} \cdot h^{-1}] = \dot{m}_{CO_2}[KgCO_2 \cdot Kg_{pr}^{-1} \cdot h^{-1}] \cdot [10{,}71KJ \cdot Kg^{-1}]$$

προκύπτει η μεταβολή της θερμικής ισχύος αναπνοής των μανιταριών συναρτήσει της θερμοκρασίας συντήρησης (σχήμα 5), σχέση η οποία μπορεί να βοηθήσει τον μελετητή στον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων.



Σχήμα 5. Μεταβολή της παραγόμενης θερμικής ισχύος αναπνοής μανιταριών *Agaricus bisporus* με τη θερμοκρασία συντήρησης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής των τριών στελεχών καλλιεργούμενου μανιταριού με τη θερμοκρασία συντήρησης, είναι εκθετικής μορφής. Το στέλεχος F56 παρουσιάζει τη μικρότερη αναπνευστική δραστηριότητα στους 0 ^{o}C ενώ το στέλεχος A2810 τη μεγαλύτερη. Τέλος, το στέλεχος 737 επηρεάζεται από τη θερμοκρασία συντήρησης περισσότερο και από τα τρία μελετηθέντα στελέχη, φθάνοντας στους 20 ^{o}C σε ρυθμούς διπλάσιους απ' αυτούς του F56 που φαίνεται ότι επηρεάζεται λιγότερο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Forcier, F., Raghavan, G.S.V. and Gariepy, Y., 1987 . Electronic sensor for the determination of fruit and vegetables respiration. *Int. J of Refrigeration*. 10(11). 353-356.

2. Kader, A.A., 1987 Respiration and Gas Exchange of Vegetables, in: *J.Weichmann*, *Postharvest Physiology of Vegetables*, Marcel Dekker Inc., N.York.
3. Μητρόπουλος, Δ., Κοζής, Γ., Μανωλοπούλου, Ε. και Λαμπρινός, Γ., 2000. Εκτίμηση του χρόνου συλλογής με μέτρηση του ρυθμού αναπνοής στον αγρό. *Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*, Βόλος, 425-432.
4. Mitropoulos, D., Lambrinos, G. and Manolopoulou, H., 2000. A portable setup for fruit respiration measurement. *Proc of the Int. IIR Conference on Post-harvest treatments of Fruit, Vegetables and ornamentals*, Murcia, vol II, 926-931.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ

Μ. Κανάκη [**], Γ. Λαμπρινός [*], Δ. Μητρόπουλος [*] και Ε. Μανωλοπούλου [**]
[*]Γ. Π. Α. , Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855. Τηλ 2105294032
[**]Τ.Ε.Ι.-Κ, Σ.Τ.Ε.Γ., Αντικάλαμος-24100 Καλαμάτα. Τηλ 2721045214, Fax 2721069047

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μήλα των ποικιλιών *Pilafa Delicious* και *Granny Smith* συντηρήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους θερμοκρασιών 0 ^{o}C, 5 ^{o}C, 10 ^{o}C, 15 ^{o}C και 20 ^{o}C. Η συστηματική μέτρηση και καταγραφή της αναπνευστικής τους δραστηριότητας έδειξε ότι ο ρυθμός αναπνοής των μήλων *Pilafa Delicious* κυμαινόμενος μεταξύ 3,5 έως 30,0 mgCO_2/Kg/h στην περιοχη 0 ^{o}C και 20 ^{o}C, μεταβάλλεται εκθετικά με την θερμοκρασία. Ο ρυθμός αναπνοής των μήλων *Granny Smith* κινείται σε χαμηλότερα επίπεδα, μεταξύ 2,40 και 24,0 mgCO_2/Kg/h. Η ανά μονάδα μάζας αποδιδόμενη θερμική ισχύς αναπνοής των όψιμων αυτών ποικιλιών κυμαίνεται μεταξύ 31 και 320 KJ/Kg/h στην εξεταζόμενη θερμοκρασιακή περιοχή.

Λέξεις κλειδιά: Συντήρηση μήλων, *Pilafa Delicious*, *Granny Smith*, ρυθμός αναπνοής, θερμότητα αναπνοής

RESPIRATION RATE AND RESPIRATION HEAT EVOLUTION OF TWO APPLE CULTIVARS DEPENDING ON STORAGE TEMPERATURE

M. Kanaki [**], G. Lambrinos [*], D. Mitropoulos [*] and H. Manolopoulou [**]
[*]Agronomic University of Athens-75 Iera Odos, 11855, Greece
[**]Technological Educational Institute of Kalamata, Antikalamos, 24100, Kalamata, Greece

ABSTRACT

Pilafa Delicious and *Granny Smith* apples were stored in cold rooms at 0 ^{0}C, 10 ^{0}C, 5 ^{0}C, 15 ^{0}C, 20 ^{0}C. The systematic recording of respiration activity showed that the respiration rate of *Pilafa Delicious* apples varied from 3,5 to 30,0 mgCO_2 /Kg/h between 0 ^{0}C and 20 ^{0}C, and evolved exponentially with storage temperature. *Granny Smith* respiration rate varied in slightly lower levels between 2,4 and 24,0 mgCO_2 /Kg / h. The respiration heat power evolution of these two late maturing apple cultivars, was between 31 and 320 mgKJ/Kg/h, in the explored temperature range.

Keywords: Apples storage, *Pilafa Delicious*, *Granny Smith,* respiration rate, respiration heat.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χρόνος συντήρησης των οπωρολαχανικών συνδέεται αντιστρόφως ανάλογα με την αναπνευστική τους δραστηριότητα [5], εξαρτάται δε από το περιβάλλον του χώρου συντήρησης και ειδικότερα από τη θερμοκρασία και τη σύνθεση του αέρα. Η αναπνευστική δραστηριότητα του προϊόντος αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των μετασυλλεκτικών τεχνολογιών. Γι'αυτό είναι επιθυμητή η γνώση παραμέτρων όπως ο ρυθμός αναπνοής και η παραγόμενη θερμική ισχύς αναπνοής ενός συγκεκριμένου προϊόντος κάτω από διάφορες συνθήκες.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να παρουσιασθούν σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία συντήρησης στοιχεία της αναπνευστικής δραστηριότητας μήλων των ποικιλιών *Delicious Pilafa* και *Granny Smith*.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν μήλα ποικιλίας *Pilafa Delicious* που προήρχοντο από την περιοχή Τεγέας Αρκαδίας (συλλογή στις 26 Οκτωβρίου 2001) και μήλα ποικιλίας *Granny Smith* που συγκομίστηκαν στην ίδια περιοχή στις 2 Νοεμβρίου 2001. Τα μήλα αμέσως μετά τη συλλογή μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μετασυλλεκτικών χειρισμών και ψυκτικών εφαρμογών (Γ.Π.Α.,Τμήμα Α.Φ.Π.-Γ.Μ.) όπου έγινε η διαλογή. Καρποί προσβεβλημένοι, χτυπημένοι, πολύ μεγάλοι ή πολύ μικροί, πολύ ώριμοι ή πολύ άγουροι απομακρύνθηκαν. Τα μήλα του πειράματος αριθμήθηκαν, ζυγίστηκαν και ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με το χειρισμό. Για κάθε ποικιλία δημιουργήθηκαν 5 ομάδες, από 12 μήλα κάθε μία, που τοποθετήθηκαν σε θαλάμους θερμοκρασίας 0 ^{0}C, 5 ^{0}C, 10^{0}C, 15^{0}C, 20 ^{0}C αντίστοιχα. Σε τακτά χρονικά διαστήματα δύο ή τεσσάρων ημερών (ανάλογα με τη θερμοκρασία), γινόταν μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας όλων των μήλων με τη βοήθεια της συσκευής RIKCLOS[10].

Οι συνθήκες των ψυκτικών θαλάμων που συντηρήθηκαν τα μήλα ήταν οι εξής:

- θάλαμος 0 ^{0}C, μέση θερμοκρασία: 0,5 ^{0}C, σχετική υγρασία: 87±1%.
- θάλαμος 5 ^{0}C, μέση θερμοκρασία: 4,6 ^{0}C, σχετική υγρασία: 87±2%.
- θάλαμος 10 ^{0}C, μέση θερμοκρασία: 9,6 ^{0}C, σχετική υγρασία: 92±1%.
- θάλαμος 15 ^{0}C, μέση θερμοκρασία: 14,6 ^{0}C, σχετική υγρασία: 89±2%.
- θάλαμος 20 ^{0}C, μέση θερμοκρασία: 19,7 ^{0}C, σχετική υγρασία: 71±5%.

Η λειτουργία του κύριου οργάνου στηρίζεται σε ένα ανιχνευτή IR (απορρόφηση στο υπέρυθρο), η κλίμακα μέτρησης του οργάνου κυμαίνεται από 0-5000 ppm, η διακριτική του ευχέρεια είναι 25 pmm ενώ η ακρίβειά του είναι ±1% της κλίμακας του. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται ψηφιακά, το όργανο όμως διαθέτει και αναλογική έξοδο συνεχούς τάσης (0-100 mV) για συνεχή καταγραφή. Ο μετρητής του CO_2 είναι συνδεδεμένος εν σειρά με τον αναπνευστικό θάλαμο έτσι ώστε μαζί με τις σωληνώσεις να αποτελούν μια

διάταξη κυκλώματος. Από τη συστηματική καταγραφή μέσω της αναλογικής εξόδου του οργάνου, υπολογίζεται η κλίση της συγκέντρωσης CO_2, C=f(t), με τη μέθοδο της ευθείας των ελάχιστων τετραγώνων και ο συντελεστής συσχέτισης R αποτελεί το κριτήριο για την εκτίμηση της αξιοπιστίας του υπολογισμού. Ο ρυθμός αναπνοής των καρπών δίνεται από τη σχέση:$RR=(\Delta C/\Delta t)x(V/m)x1,96x10^{-3}$

Όπου RR = ρυθμός αναπνοής σε $mgCO_2/h/Kg$ φρούτου

$\Delta C/\Delta t$ = η κλίση της ευθείας C=f(t) σε ppm/h

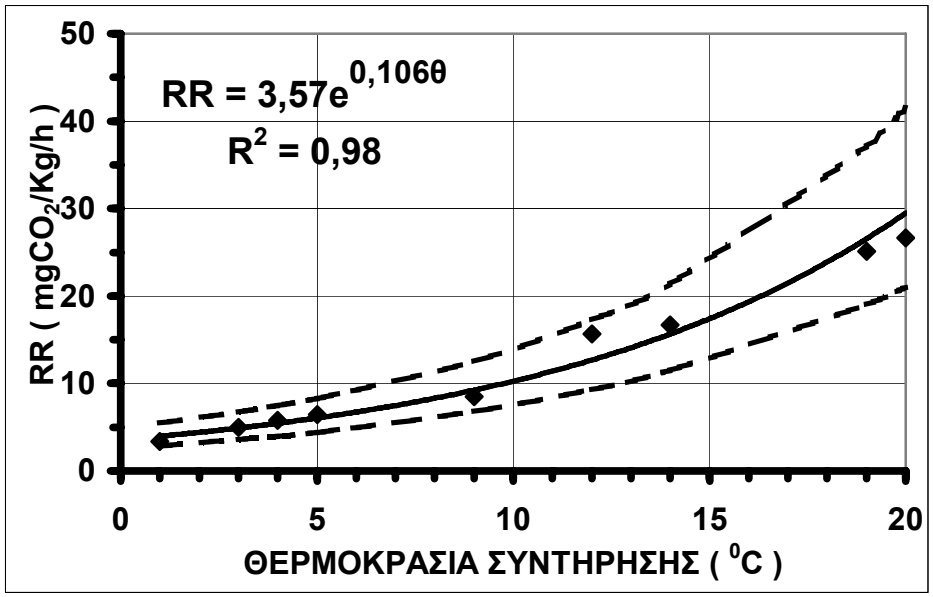
V = μικτός όγκος κυκλώματος – όγκος προϊόντος = καθαρός όγκος του αέρα σε mL

m = μάζα του προϊόντος σε g

Οι μέσοι όροι του ρυθμού αναπνοής για κάθε θερμοκρασία (τη στιγμή της μέτρησης) προκύπτουν από στατιστική ανάλυση τιμών ατομικών μετρήσεων δέκα μήλων, τα δε όρια (εμπιστοσύνης) των μη γραμμικών παλινδρομήσεων προέρχονται από στατιστική ανάλυση της t-δοκιμής σε επίπεδο 0,05.

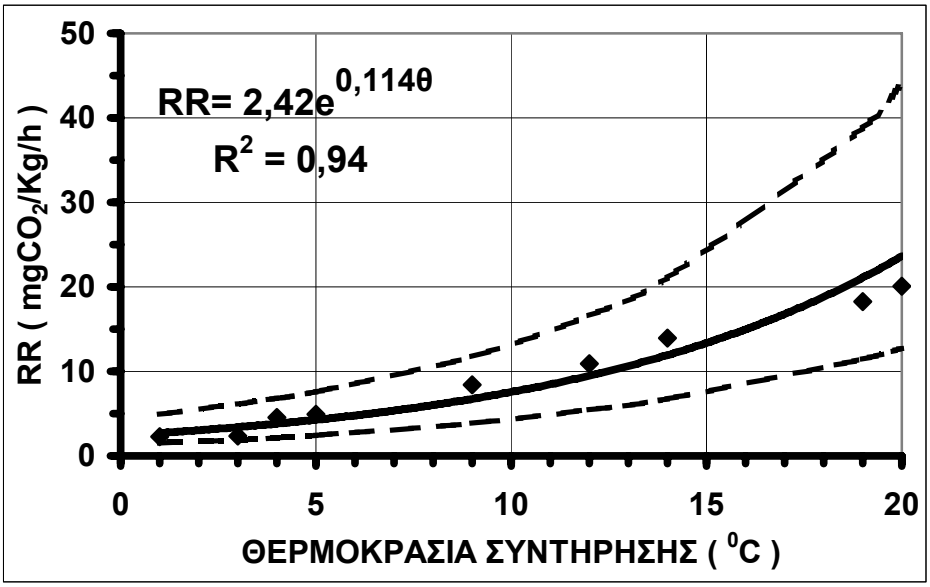
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Στα σχήματα 1 και 2 παρουσιάζεται η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης μήλων *Pilafa Delicious* και *Granny Smith* αντίστοιχα, για την χρονική περίοδο του 'αναπνευστικού ελαχίστου'. Η αναπνευστική δραστηριότητα των μήλων μεταβάλλεται εκθετικά με τη θερμοκρασία.



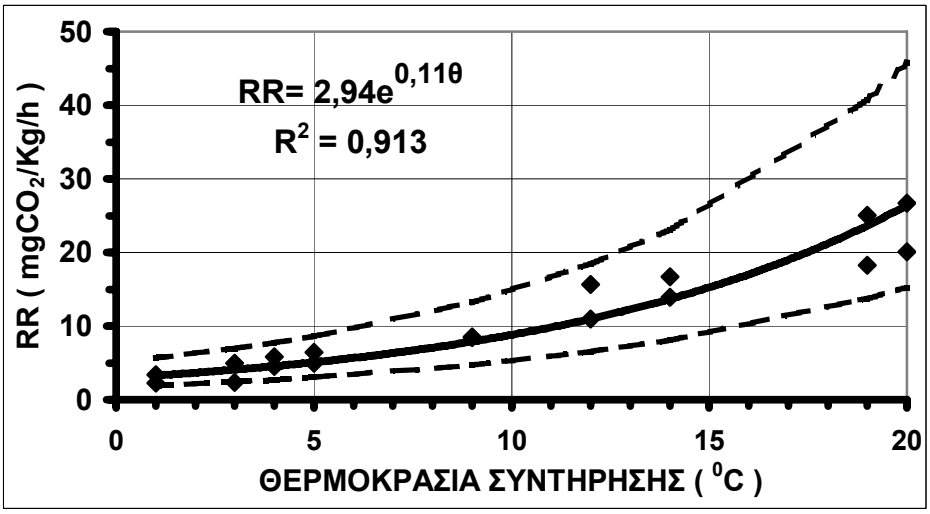
Σχήμα 1. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης στα μήλα *Pilafa Delicious*

Παρατηρούμε επίσης ότι οι τιμές του ρυθμού αναπνοής των μήλων *Pilafa Delicious* είναι υψηλότερες αυτών των μήλων *Granny Smith* κατά 25-30%.



Σχήμα 2. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης των μήλων *Granny Smith*

Το σχήμα 3 παρουσιάζει την μεταβολή του ρυθμού αναπνοής και των δύο αυτών όψιμων ποικιλιών με τη θερμοκρασία συντήρησης.



Σχήμα 3. Μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης για όψιμες ποικιλίες.

Οι τιμές του σχήματος 3 υπολείπονται ελαφρώς των τιμών που δίνουν οι Becker και Fricke [3] γενικά για μήλα καθώς και ο Andrich [1] για μήλα *Golden Delicious*, συμφωνούν όμως με τις τιμές που δίνει η ASHRAE [2], οι Moras και Chapon [11], το Διεθνές Ινστιτούτο Ψύξης [6], και οι Ryall και Pentzer [9] για όψιμα μήλα.

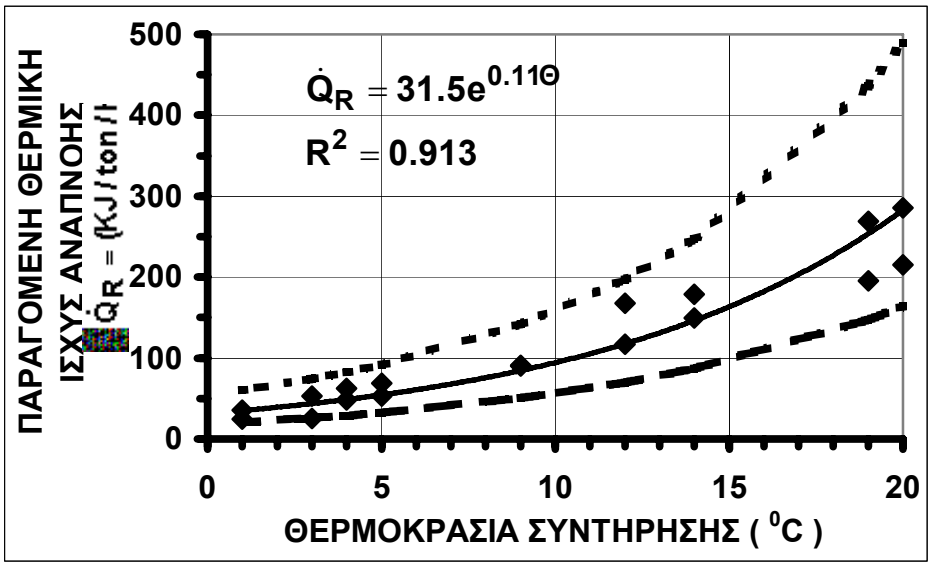
Από τη χημική αντίδραση της αναπνοής

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 2667\ KJ \quad (1)$$

προκύπτει ότι για κάθε χιλιογραμμάριο απελευθερούμενου CO_2 παράγονται 10,7 Joules θερμότητας [12]. Η σχέση που περιγράφει την παραγωγή θερμότητας αναπνοής ανά μονάδα χρόνου είναι :

$$\dot{Q}_R[KJ \cdot Kg^{-1} \cdot h^{-1}] = \dot{m}_{CO_2} \cdot [KgCO_2 \cdot Kg_{\mathrm{Pr}}^{-1} \cdot h^{-1}] \cdot 10,7 \cdot [KJ \cdot Kg^{-1} CO_2] \quad (2)$$

Με βάση τη σχέση (2) υπολογίστηκαν οι τιμές της θερμικής ισχύος αναπνοής των μήλων συναρτήσει της θερμοκρασίας και χαράχθηκε η σχετική καμπύλη (σχήμα 4).



Σχήμα 4. Μεταβολή της παραγόμενης θερμικής ισχύος αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης όψιμων ποικιλιών μήλων *(Pilafa Delicious* και *Granny Smith).*

Οι τιμές της συσχέτισης αυτής είναι ελαφρώς υποεκτιμημένες σε σύγκριση με τις τιμές των Becker και Fricke [3], του Lewis [8] και του Fellows [4], συμφωνούν όμως με τις τιμές του Διεθνούς Ινστιτούτου Ψύχους [6,7], τους πίνακες των Ryall και Pentzer [9] καθώς και αυτούς των Moras και Chapon [11].

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της έρευνας μπορούν να συνοψισθούν στα εξής :

1. Η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής και της παραγόμενης θερμικής ισχύος αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης και για τις δύο ποικιλίες, είναι εκθετικής μορφής.
2. Οι τιμές του ρυθμού αναπνοής της ποικιλίας *Pilafa Delicious* είναι 25-30% υψηλότερες αυτών της ποικιλίας *Granny Smith*.
3. Γνωρίζοντας τη μεταβολή του ρυθμού αναπνοής, μπορούμε εύκολα να εκτιμήσουμε τους ρυθμούς ανανέωσης του αέρα σ' ένα θάλαμο ή να προεκτιμήσουμε μία τροποποιημένη ατμόσφαιρα μέσα σε συσκευασία από γνωστής περατότητας εύκαμπτο πλαστικό φύλλο.
4. Η γνώση τέλος της μεταβολής της παραγόμενης θερμικής ισχύος αναπνοής βοηθάει πολύ τους υπολογισμούς των ψυκτικών φορτίων στη βιομηχανική ψύξη.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Andrich, G., Zinnai, A., Balzini, S., Silvestri, S. and Fiorentini, R., 1995. Respiration Rate of Golden Delicious apples as a function of temperature of storage cell. *Proc. of 19th Int. Congress of Refrigeration*. The Hague. vol.II. Theme 2.129-135.
2. ASHRAE. *Handbook of Refrigeration*, 1990. Atlanta.
3. Becker, G.A., Fricke, B.A., 1996.Transpiration and respiration of fruits and vegetables. *Proc. of the Int. IIR Conference: New Developments in Refrigeration for Food Safety and Quality*, Lexington, 110-121.
4. Fellows, P.J., 2000. *Food Processing Technology*. CRC, Woodhead Publishing Ltd. Cambridge.
5. Hardenburg, R.E., Watada, A.E. and Wang, C. Y., 1990. *The commercial storage of fruits, vegetables, florist and nursery stocks*. U.S.D.A., Agriculture Handbook 66.
6. I.I R. 1967. *Recommended conditions for cold storage of perishable produce*. Paris.
7. I.I.R. 2000. *Recommendations for chilled storage of perishable produce*. Paris.
8. Lewis, M.J., 1998. *Physical properties of foods and food processing systems*. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge.
9. Ryall, A L. and Pentzer, W.T., 1982. *Handling Ttansportation and Storage of Fruits and Vegetables*, Vol. 2 (Fruits and Tree Nuts). AVI Publishing Co..Westport.
10. Mitropoulos, D., Lambrinos, G., Manolopoulou, H., 2000. A portable setup for fruit respiration measurement, *Proc. of the IIR meeting "Improving Postharvest Technologies of Fruits, Vegetables and Ornamentals"*, Murcia, Vol II, 926-931.
11. Moras, P. et Chapon, J-F., 1983. *Entreposage et conservation des fruits et legumes.* CTIFL, Paris.
12. USD, 1977. *The commercial storage of fruits,vegetables and florist and nursery stocks.* Agriculture Handbook No 66.Washington.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΜΗΛΩΝ *PILAFA DELICIOUS*

Ι. Καμβύση [**], Γ. Λαμπρινός[*], Ε. Μανωλοπούλου[**] και Δ. Μητρόπουλος [*]
[*]Γ. Π. Α. , Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855. Τηλ 2105294032
[**]Τ.Ε.Ι.-Κ, Σ.Τ.Ε.Γ., Αντικάλαμος-24100 Καλαμάτα. Τηλ 2721045214, Fax 2721069047

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μήλα της ποικιλίας *Pilafa Delicious*, συντηρήθηκαν σε τέσσερις διαφορετικές πολυαιθυλενικές συσκευασίες σε ψυκτικούς θαλάμους 0 ^{o} C και 10 ^{o} C. Συστηματική μέτρηση της εσωτερικής ατμόσφαιρας των συσκευασιών καθώς και της αναπνευστικής δραστηριότητας των συσκευασμένων μήλων, κάτω από συνθήκες σταθερής κατάστασης (steady state) έδειξε ότι στις χαμηλές περιεκτικότητες O_2 ή στις υψηλές περιεκτικότητες CO_2 υπάρχει εμφανής μείωση του ρυθμού αναπνοής των μήλων που κυμάνθηκε μεταξύ 0,45 και 1,70 mlCO_2/Kg/h στους 0 ^{o} C, και μεταξύ 0,8 και 3,20 mlCO_2/Kg/h στους 10 ^{o} C.

Λέξεις κλειδιά: Συντήρηση μήλων, *Pilafa Delicious*, ρυθμός αναπνοής, τροποποιημένη ατμόσφαιρα

THE EFFECT OF MODIFIED ATMOSPERE ON RESPIRATION RATE OF *PILAFA DELICIOUS* APPLES

J. Kamvissi[**], G. Lambrinos [*], D. Mitropoulos [*] and H. Manolopoulou [**]
[*]Agronomic University of Athens-75 Iera Odos, 11855, Greece
[**]Technological Educational Institute of Kalamata, Antikalamos, 24100, Kalamata, Greece

ABSTRACT

Pilafa Delicious apples were preserved in cold stores at 0 ^{o} C and 10 ^{o} C packaged with four different polyethylene films. The systematic analysis of the package headspace gas composition as well as of the respiration rate under steady state conditions showed that in low O_2 or high CO_2 concentration, a clear decrease of respiration activity is observed. Respiration rate varied between 0,45 and 1,70 mlCO_2 /Kg / h at 0 ^{o} C and between 0,80 and 3,20 mlCO_2 /Kg / h at 10 ^{o} C depending on the modified atmosphere composition.

Keyword: Apple storage, *Pilafa Delicious*, respiration rate, modified atmosphere.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της εφαρμογής της ελεγχόμενης (CA) ή της τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MA) είναι ο περιορισμός του ρυθμού αναπνοής του συντηρούμενου οπωρολαχανικού και η επιμήκυνση του χρόνου συντήρησης [1, 2, 3, 4, 6, 9]. Η ύπαρξη δεδομένων της αναπνευστικής δραστηριότητας ενός προϊόντος σε γνωστές συνθήκες CA ή MA είναι σημαντική για τη μελέτη της φυσιολογικής συμπεριφοράς του προϊόντος ή για τη πρόβλεψη και βελτιστοποίηση μίας συντήρησης σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα [7, 8].

Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια να καθορισθεί η αναπνευστική δραστηριότητα μήλων *Pilafa Delicious* κάτω από συνθήκες διαφόρων τροποποιημένων ατμοσφαιρών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκαν μήλα ποικιλίας *Pilafa Delicious* προερχόμενα από την περιοχή Τεγέας Αρκαδίας. Τα μήλα αμέσως μετά τη συλλογή (26/10/2001) μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο ψυκτικών εφαρμογών του Γ. Π. Α. όπου έγινε η διαλογή, ομαδοποίηση, αρίθμηση, ζύγιση και συσκευασία. Τα πλαστικά φύλλα πολυαιθυλενίου (P.E.) που χρησιμοποιήθηκαν για τη συσκευασία των μήλων ήταν χαμηλής πυκνότητας (LD) πάχους 60 μm και μέσης πυκνότητας (MD) πάχους 60, 75 και 100μm (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά φύλλων PE που χρησιμοποιήθηκαν στη συσκευασία.

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ	**ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ**	**ΠΑΧΟΣ (μm)**	**ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ**	**ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ($ml \cdot m^{-2} \cdot day^{-1} \cdot bar^{-1}$)**	
				O_2	**CO_2**
Α	PELD	60	Ο ^{0}C	990	5.450
			2Ο ^{0}C	3.840	33.875
Β	PEMD	60	Ο ^{0}C	650	6.740
			2Ο ^{0}C	4.670	22.450
Γ	PEMD	75	Ο ^{0}C	470	4.910
			2Ο ^{0}C	1.980	22.180
Δ	PEMD	100	Ο ^{0}C	375	3.040
			2Ο ^{0}C	1.740	13.460

Οι πλαστικές συσκευασίες είχαν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί στο εργαστήριο έτσι ώστε να περιέχουν 4 μήλα συνολικού βάρους 800-900g, το δε μέγεθος τους ήταν 20 × 25cm, και το μέσο απόβαρό τους 17 g. Οι ραφές των συσκευασιών έγιναν με θερμοσυγκολλητική μηχανή. Τα συσκευασμένα μήλα συντηρήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους θερμοκρασίας 0 ^{0}C και 10 ^{0}C.

Η ανάλυση των αερίων δειγμάτων έγινε σε αέριο χρωματογράφο PERKIN ELMER 8700 με ανιχνευτή θερμοαγωγιμότητας (T.C.D.). Οι στήλες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Porapaque Q(80-100 mesh) για το διαχωρισμό του CO_2 και η Molecular Sieve για το διαχωρισμό των Ar, O_2 και N_2. Οι

συγκεντρώσεις του O_2 και του CO_2 μέσα στις συσκευασίες παρακο- λουθήθηκαν έως ότου υπάρξει σταθεροποίησή τους. Η λήψη του αερίου δείγματος γινόταν από ειδικά προετοιμασμένη θέση της συσκευασίας (septum) με τη βοήθεια ειδικής στεγανής σύριγγας.

Η αναπνευστική δραστηριότητα υπολογιζόταν μετά τη σταθεροποίηση των αερίων μέσα στις συσκευασίες, με τη βοήθεια της συσκευής RIKCLOS [5], εγκλείοντας κάθε συσκευασία μήλων στον κατάλληλου μεγέθους αναπνευστικό θάλαμο. Η καταγραφή των ενδείξεων του οργάνου ήταν αυτόματη και η τελική ακρίβεια υπολογισμού της αναπνοής 2-3%.

Η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής συναρτήσει της συγκέντρωσης ενός από τα αναπνευστικά αέρια, εκτιμήθηκε μετά από ομαδοποίηση όλων των παραπλησίων (ως προς το άλλο αναπνευστικό αέριο) τροποποιημένων ατμοσφαιρών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των αέριων (O_2 και CO_2) στο εσωτερικό των συσκευασιών κατά τη διάρκεια της συντήρησης παρουσιάζονται στο σχήμα 1, ενώ οι τελικές (σταθεροποιημένες) τιμές των διαφόρων συσκευασιών φαίνονται στον πίνακα 2.

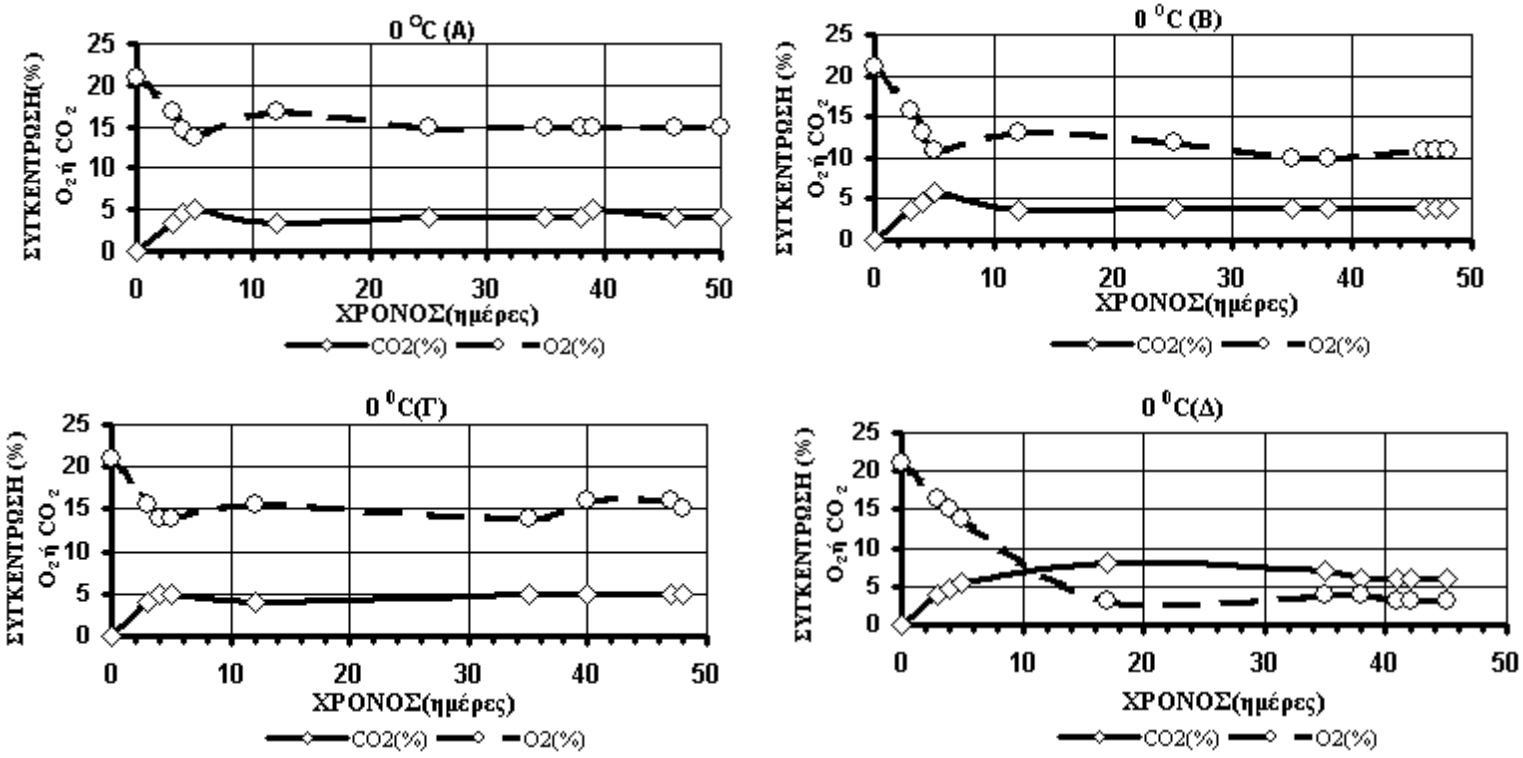
Πίνακας 2. Τελικές τιμές της εσωτερικής ατμόσφαιρας των 4 διαφορετικών πλαστικών συσκευασιών στις 2 θερμοκρασίες.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	**Ο ^{0}C**		**1Ο ^{0}C**	
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ	**O_2**	**CO_2**	**O_2**	**CO_2**
Α	15%	3-4%	6-7%	6%
Β	10-11%	4%	10-11%	6%
Γ	15-16%	5%	7-8%	8%
Δ	3%	6%	5-6%	10%

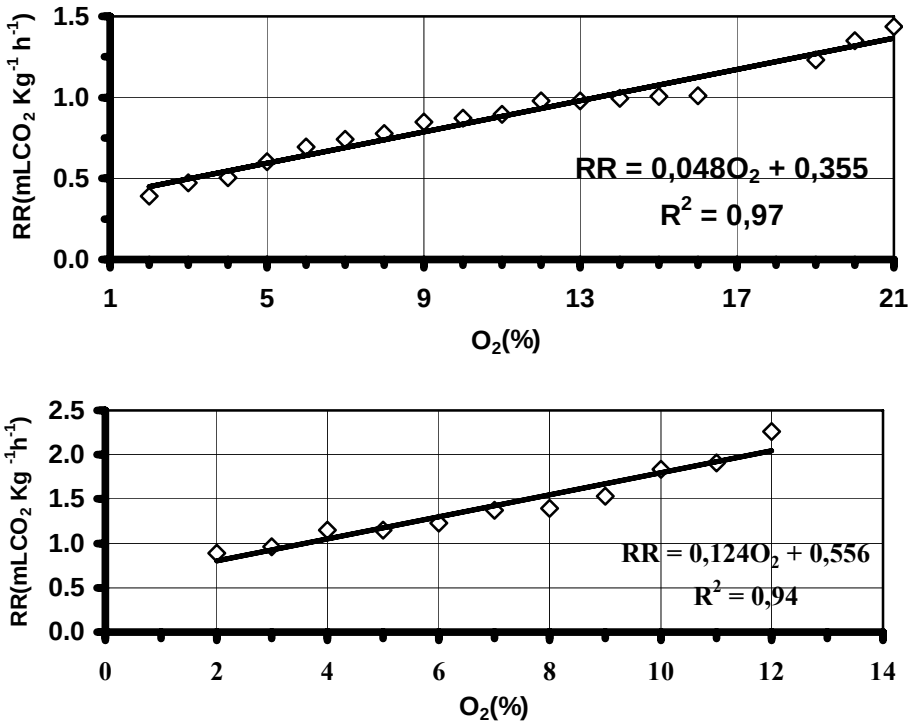
Από τους πίνακες 1 και 2 προκύπτει ότι στις συσκευασίες με το παχύτερο και πλέον αδιαπέρατο στα αέρια πλαστικό (όπως είναι π.χ. η ΣΔ) το O_2 σταθεροποιείται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις (3% στους 0 ^{0}C και 6% στους 10 ^{0}C). Αντίθετα στις συσκευασίες που παρουσιάζουν μεγάλη περατότητα όπως είναι οι ΣΑ και ΣΒ, το O_2 σταθεροποιείται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και το CO_2 σε μικρότερες. Αξιοσημείωτο επίσης είναι ότι η σταθεροποίηση της ατμόσφαιρας γίνεται πιο γρήγορα και πιο ομαλά στα πλέον περατά πλαστικά φύλλα. Τελικά η πλέον ικανοποιητική ατμόσφαιρα παρατηρείται στους Ο ^{0}C με τη συσκευασία ΣΔ (3% O_2 και 6% CO_2).

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής των συσκευασμένων μήλων με την συγκέντρωση του O_2 για σταθερή περιεκτικότητα του CO_2 (7% ± 1%).

Γενικά παρατηρούμε ότι στα συσκευασμένα μήλα ο ρυθμός αναπνοής επηρεάζεται τόσο από την θερμοκρασία, όσο και από την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε O_2 και CO_2.



Σχήμα 1. Μεταβολή της συγκεντρώσεως των αερίων (O_2 και CO_2), συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, συσκευασμένων μήλων *P.D.* στους 0 ^oC



Σχήμα 2. Επίδραση της συγκέντρωσης του O_2 στο ρυθμό αναπνοής μήλων *P.D.* συντηρούμενων στους Ο ^{0}C (άνω) και στους 1Ο ^{0}C (κάτω), σε σταθερή συγκέντρωση CO_2 7% ± 1%.

Από την μελέτη του σχήματος 2 παρατηρούνται τα εξής :

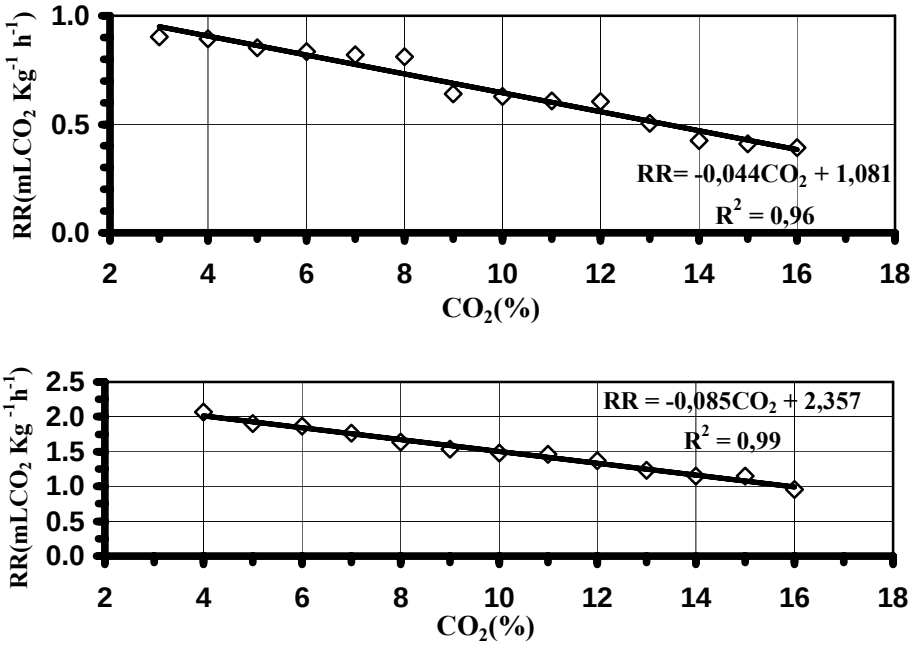
- Για συγκέντρωση CO_2 της τάξεως 7% ± 1% ο ρυθμός αναπνοής είναι σχεδόν διπλάσιος στους 10 ^{0}C σε σύγκριση με αυτόν στους 0 ^{0}C.
- Για σταθερές συγκεντρώσεις CO_2 ο ρυθμός αναπνοής μειώνεται μειούμενης της συγκέντρωσης του O_2.

Η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής των μήλων συναρτήσει της περιεκτικότητας σε CO_2 παρουσιάζεται στο σχήμα 3 για 0 ^{0}C και 4%±1% O_2 καθώς και για 10 ^{0}C και 5% ± 1% O_2. Φαίνεται ότι μεταβολές του CO_2 από 4% σε 7% ελάχιστα επιδρούν στον ρυθμό αναπνοής του μήλου *Pilafa Delicious*.

Για σταθερές συγκεντρώσεις O_2 ο ρυθμός αναπνοής μειώνεται όταν αυξάνει η συγκέντρωση του CO_2. Αυτό ισχύει για όλες τις θερμοκρασίες συντήρησης, η δε μείωση αυτή της αναπνευστικής δραστηριότητας είναι γραμμική.

Μικρή μεταβολή της περιεκτικότητας του O_2 20% ± 1% (σχήμα 4) έχει ασήμαντη επίδραση στην αναπνοή των μήλων η οποία κυμαίνεται γύρω στα 1,7mlCO_2· Kg^{-1}·h^{-1}, όταν το CO_2 είναι κοντά στο 0%. Στους 1Ο ^{0}C οι ρυθμοί αναπνοής σ'όλες τις περιπτώσεις είναι πρακτικά διπλάσιοι αυτών στους Ο ^{0}C.

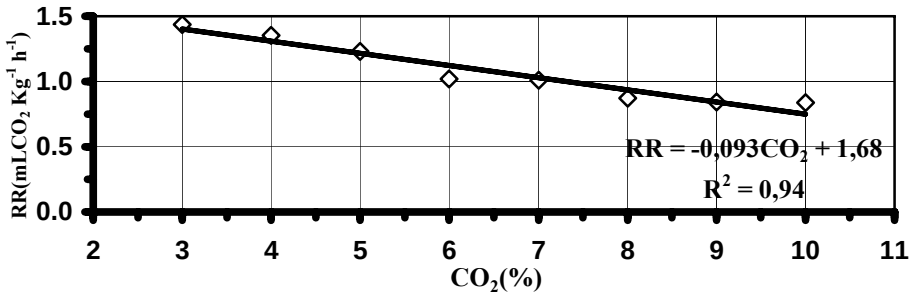
Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταβολής του ρυθμού αναπνοής συναρτήσει της συγκέντρωσης σε O_2 ή CO_2 για διάφορες σταθερές τιμές CO_2 ή O_2 αντίστοιχα.



Σχήμα 3. Επίδραση της συγκέντρωσης του CO_2 στο ρυθμό αναπνοής μήλων *P.D.* συντηρούμενων στους Ο ^{0}C (άνω) και στους 1Ο ^{0}C (κάτω), σε σταθερή συγκέντρωση O_2 4% ± 1% και 5% ± 1% αντίστοιχα.

Πίνακας 3. Συσχέτιση του ρυθμού αναπνοής με τη συγκέντρωση σε O_2 ή CO_2.

ΘΕΡΜΟ-	**RR = A O2 + B**				**RR = A΄CO2 + B΄**			
ΚΡΑΣΙΑ	CO_2 (%)	A	B	R^2	O_2 (%)	A΄	B΄	R^2
Ο ^{0}C	4%±1%	0,048	0,355	0,97	4%±1%	-0,044	1,081	0,96
	7%±1%	0,048	0,303	0,94	15%±1%	-0,029	1,143	0,95
					20%±1%	-0,093	1,68	0,94
1Ο ^{0}C	7%±1%	0,124	0,556	0,94	5%±1%	-0,085	2,357	0,99



Σχήμα 4. Επίδραση της συγκέντρωσης του CO_2 στο ρυθμό αναπνοής μήλων *P.D.* συντηρούμενων στους Ο ^{0}C σε σταθερή συγκέντρωση O_2 20 % ± 1%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από ατμόσφαιρες που επετεύχθησαν με τις διάφορες συσκευασίες, η πλέον ικανοποιητική (3%O_2 – 6 % CO_2) επετεύχθη στους Ο ^{0}C με το πλέον αδιαπέραστο φιλμ της συσκευασίας ΣΔ.

Μικρές μεταβολές της περιεκτικότητας του O_2 (20 % ± 1%) έχουν ασήμαντη επίδραση στην αναπνοή των μήλων η οποία στους Ο ^{0}C ανέρχεται σε 1,7mlCO_2 $Kg^{-1}\cdot h^{-1}$ όταν η περιεκτικότητα του CO_2 είναι 0%.

Στους Ο ^{0}C, μεταβολή του CO_2 της ατμόσφαιρας από 4 σε 7% ελάχιστα φαίνεται ότι επιδρά στο ρυθμό αναπνοής.

Τέλος συμπεραίνουμε ότι στους 1Ο ^{0}C οι ρυθμοί αναπνοής των μήλων *Pilafa Delicious* είναι πρακτικά διπλάσιοι.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Isenberg, F. M. R., 1979. CA storage of vegetables. *Horticultural Reviews* 1. 337-394.
2. Lambrinos, G., Manolopoulou, H., Assimaki, H., 1993. Response of Pilafa Delicious apples to modified atmospheres. *Acta Horticulturae.* 379, 375-382.
3. Manolopoulou, H., Lambrinos, G., 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.
4. Marcellin, P. 1974. Conservation des fruits et légumes en atmosphere controlee, a l'aide de membrane de polymeres. *Revue General du Froid*. 3. 217-223.
5. Mitropoulos, D., Lambrinos, G., Manolopoulou, H. 2000. A Portable setup for Fruit Respiration Measurement, *Proceedings of the Int IIR conference*:*Improving Postharvest Technologies of Fruits, Vegetables and Ornamentals*, Murcia. Vol II. 926-931.
6. 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.

7. Raghavan, G. S. V., Gariepy Y., 1989. Respiration activity of vegetables under CA. *ASAE/CSAE Meeting*, Québec,Paper N^{o} 896034.
8. Ratti, C., Raghavan, G. S. V. and Gariepy, Y., 1996. Respiration rate model and modified atmosphere packaging of fresh cauliflower. *J. of Food Engineering*. 28 (3-4). 297-306.
9. Smock, R. M., 1979. Controlled atmosphere storage of fruits. *Horticultural Reviews*. 301-336.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ανδρ. Μπιμπή[1], Χρ. Λύκας[1], Γ.Δ. Νάνος[2], Κ. Κίττας[1]

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,[1] Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, [2]Εργαστήριο Δενδροκομίας .Οδός Φυτόκου, 384 46 , Ν. Ιωνία Μαγνησίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η παραγωγικότητα ενός ανοικτού και ενός κλειστού συστήματος υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς. Για το λόγο αυτό, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο του 2001 μετρήθηκαν περιοδικά i) ο αριθμός των παραγόμενων από το κάθε σύστημα ανθέων, ii) το μήκος, η διάμετρος και το χλωρό βάρος των ανθικών στελεχών, iii) η τιμή του pH και του EC, στα διαλύματα απορροής. Από τις παραπάνω μετρήσεις προέκυψε ότι τα δύο συστήματα δεν διαφέρουν σημαντικά ως προς την παραγωγικότητα δρεπτών ανθέων.

Λέξεις κλειδιά: Υδροπονία, Rosa sp., παραγωγή ανθέων, bending, θρέψη φυτού, θρεπτικό διάλυμα.

COMPARATIVE STUDY ON THE PRODUCTION OF HARVESTED ROSES IN AN OPEN AND A CLOSED HYDROPONIC SYSTEM

A. Mpimpi[1], Ch. Lykas[1], G. D. Nanos[2], C. Kittas[1]

University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production & Agricultural Environment, [1]Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, [2]Laboratory of Pomology, Fytokou Street , GR- 384 46 Greece, Nea Ionia Magnesia.

ABSTRACT

The aim of this study was the comparison of cut flower production between an open and a closed hydroponic system, for rose cultivation. Measurements were taken during summer and autumn 2001 and included: i) Number of harvested flowers, ii) Length, diameter and fresh weight of harvested flowers, iii) Values of pH and EC of the drainage nutrient solution. The above measurements showed that there are no differences on cut flower production in roses cultivated in the open and closed hydroponic system.

Keywords: Hydroponic, Rosa sp., flower production, plant nutrition, bending, nutrient solution.

Εισαγωγή

Η υδροπονική καλλιέργεια ανθοκομικών ειδών και κυρίως της τριανταφυλλιάς εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια σε πολλές Μεσογειακές χώρες. Οι λόγοι αυτής της θεαματικής αύξησης των υδροπονικών καλλιεργειών έχουν σχέση με τη μεγιστοποίηση της παραγωγής, τη μείωση των εκροών στο περιβάλλον και την αντιμετώπιση των φυτοπαθολογικών προβλημάτων που δημιουργούσε η μέχρι σήμερα κλασική καλλιέργεια των φυτών στο έδαφος [1].

Η ευρεία εφαρμογή των ανοιχτών υδροπονικών συστημάτων σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες, αξιοποίησε πολλά από τα παραπάνω πλεονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών, δεν περιόρισε όμως σημαντικά τις εκροές χημικών αποβλήτων στο περιβάλλον [2]. Αντίθετα η εφαρμογή κλειστών υδροπονικών συστημάτων, υπό καθεστώς ορθολογικής διαχείρισης είναι σε θέση να δώσει λύση στο παραπάνω πρόβλημα. Η περιορισμένη, ιδιαίτερα στον Ελλαδικό χώρο, χρήση των κλειστών υδροπονικών συστημάτων για την παραγωγή ανθοκομικών φυτών, οφείλεται κυρίως στη δυσκολία διαχείρισης, στον κίνδυνο διάδοσης ασθενειών και στην ελλιπή γνώση των παραγωγών. Φαίνεται όμως, να είναι επιβεβλημένη στα πλαίσια μιας βέλτιστης οικονομικά και οικολογικά λύσης στην εφαρμογή των υδροπονικών καλλιεργειών [3]. Προϋπόθεση για την διασφάλιση του βέλτιστου οικονομικού οφέλους με τη χρήση των κλειστών υδροπονικών συστημάτων καλλιέργειας αποτελεί αφενός η εξοικονόμηση λιπασμάτων και νερού και αφετέρου η διατήρηση των υψηλών αποδόσεων (ποσοτικά και ποιοτικά).

Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα η εξοικονόμηση λιπασμάτων και νερού είναι δεδομένη και διασφαλίζεται με τη συνεχή ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος [4]. Αντίθετα, η διατήρηση της παραγωγής σε υψηλά επίπεδα, για ανθοκομικά κυρίως είδη, αμφισβητείται από πολλούς ερευνητές [5,6] κυρίως λόγω της συσσώρευσης αλάτων στο επίπεδο της ρίζας του φυτού και της ανεπιτυχούς μέχρι σήμερα ολοκληρωμένης διαχείρισης των συστημάτων αυτών.

Στην εργασία αυτή, έγινε μια προσπάθεια συγκριτικής μελέτης της επίδρασης ενός ανοιχτού και ενός κλειστού υδροπονικού συστήματος στην παραγωγή τριανταφυλλιάς, με κριτήριο τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων δρεπτών ανθέων.

Υλικά και Μέθοδοι

Η ποικιλία τριανταφυλλιάς που χρησιμοποιήθηκε ήταν η First Red, εγκατεστημένη σε ανοιχτό και σε κλειστό υδροπονικό σύστημα σε γυάλινο θερμοκήπιο (200 m^2) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή Βελεστίνου. Το υπόστρωμα καλλιέργειας των φυτών ήταν περλίτης τοποθετημένος σε σάκους μήκους 1 m και πλάτους 0.3 m, με χωρητικότητα 45 λίτρα ο καθένας. Η καλλιέργεια ήταν διαμορφωμένη με την τεχνική του λυγίσματος των βλαστών (bending) και η πυκνότητα φύτευσης ήταν 6 φυτά/m^2 μικτής επιφάνειας. Το λίγισμα της καλλιέργειας έγινε την 1/7/2001 και οι μετρήσεις έγιναν στο χρονικό διάστημα από 1/8/2001 μέχρι 18/11/2001 Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν 55 φυτά από το ανοιχτό υδροπονικό σύστημα και 53 από το κλειστό. Το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση της καλλιέργειας παρασκευαζόταν σε δεξαμενή χωρητικότητας 800 L και η σύνθεσή του ήταν και για τα δύο συστήματα η εξής (σε mg L^{-1}): NO_3 762.6, PO_4H_2 97, SO_4 72, NH_4 18, K 253, Ca 160, Mg 24, Fe 1.3, B 0.28, Cu 0.6, Mo 0.027, Mn 0.5 και Zn 0.23. Για το κλειστό υδροπονικό σύστημα ο χρόνος χρησιμοποίησης του θρεπτικού διαλύματος ήταν 8 ημέρες. Το pH και η αγωγιμότητα του θρεπτικού

διαλύματος ελεγχόταν καθημερινά. Το pH διορθωνόταν στην τιμή του 5.5 με προσθήκη HNO_3 και η αγωγιμότητα σε 1.7 mS cm^{-1} με την προσθήκη νερού. Κατά τη διάρκεια του πειράματος μετρήθηκαν: i) Οι παράμετροι του κλίματος του θερμοκηπίου όπως θερμοκρασία αέρα (Ti, ^oC) σε ύψος 1.5m από την επιφάνεια του εδάφους, ηλιακή ακτινοβολία (Gi, W m^{-2}) και σχετική υγρασία του αέρα (RHi, %), κάθε 20 δευτερόλεπτα και έγινε καταγραφή της μέσης τιμής τους για κάθε 10 λεπτά σε σύστημα καταγραφής δεδομένων (Delta-T, DL 3000). ii) Ο αριθμός των παραγόμενων ανθικών στελεχών από το κάθε σύστημα (ανοιχτό και κλειστό), iii) Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των συγκομιζόμενων ανθικών στελεχών (μήκος, βάρος, διάμετρος στη βάση), iv) Η οξύτητα (pH) και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) στα διαλύματα απορροής των δύο συστημάτων, v) Η συγκέντρωση των Cl^- στα διαλύματα απορροής των δύο συστημάτων. Τα συγκομιζόμενα ανθικά στελέχη κατατάχθηκαν σε τρεις κατηγορίες ποιότητας με βάση το μήκος (cm) και τη διάμετρο (mm) του ανθικού στελέχους, [7,8] όπως περιγράφονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Κριτήρια κατάταξης των κομμένων τριαντάφυλλων σε ποιότητες

Ποιότητα	Μήκος (L) του ανθικού στελέχους (cm)	Διάμετρος (D) του ανθικού στελέχους στη βάση του (mm)
Α	L>80	D>5
Β	65<L<80	4<D<5
Γ	L<65	D<4

Αποτελέσματα

Οι μέσες μηνιαίες τιμές των παραμέτρων του κλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για την περίοδο των μετρήσεων φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Μέσες μηνιαίες τιμές (για την περίοδο από 07:00 έως 20:00) των παραμέτρων του κλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, για την περίοδο 1/8/2001-18/11/2001.

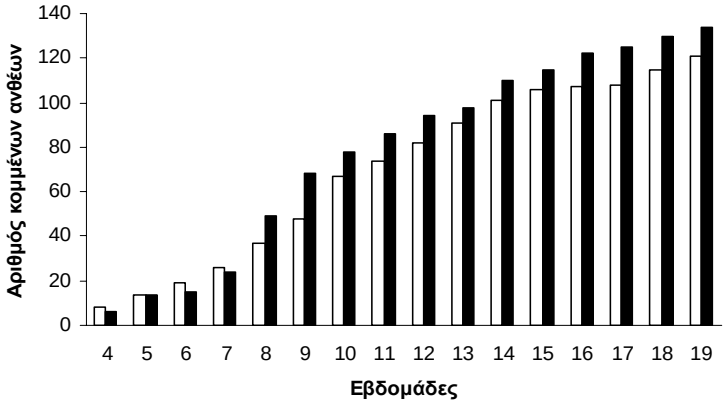
	Ti **^oC**	**Gi** **W.m^{-2}**	**RHi** **(%)**
Αύγουστος	29,8 ± 5,1	159,6 ± 94,7	53,8 ± 12,2
Σεπτέμβριος	26,1 ± 5,7	144,7 ± 79,5	37,8 ± 11,6
Οκτώβριος	21,3 ± 6,2	106,6 ± 64,4	46,1 ± 13,1
Νοέμβριος	15,7 ± 5,3	93,86 ± 67,2	66,3 ± 16,1

Gi = ηλιακή ακτινοβολία (W m^{-2}), Ti = θερμοκρασία αέρα (^oC), RHi = σχετική υγρασία του αέρα (%).

Κατά τη διάρκεια του πειράματος παρήχθησαν συνολικά 121 ανθικά στελέχη από το ανοικτό (2,20 ανθικά στελέχη/φυτό) και 134 ανθικά στελέχη (2,52 ανθικά στελέχη/φυτό) από το κλειστό υδροπονικό σύστημα. Το κλειστό υδροπονικό σύστημα

παρήγαγε μεγαλύτερο αριθμό δρεπτών ανθέων. Στα Σχήμα 1 φαίνεται το άθροισμα των συγκομισμένων ανθικών στελεχών ανά εβδομάδα καλλιέργειας από την εφαρμογή του κλαδέματος.

Κανένα από τα δύο συστήματα δεν παρήγαγε κατά την περίοδο των μετρήσεων ανθικά στελέχη που να εντάσσονται στην κατηγορία Α με κριτήριο το μήκος τους (L> 80 cm), και στην κατηγορία Γ με κριτήριο τη διάμετρο (D<4mm). Η ποιότητα των κομμένων λουλουδιών βελτιωνόταν συνεχώς κατά τη διάρκεια παραγωγής της καλλιέργειας όταν ως κριτήριο λαμβάνονταν το μήκος του ανθικού στελέχους (Πίνακας 3). Το κλειστό υδροπονικό σύστημα παρήγαγε περισσότερα μακρυστέλεχα άνθη, σε σχέση με το ανοιχτό, ιδιαίτερα κατά τους πρώτους δύο μήνες της καλλιέργειας. Η διαφορά αυτή μειώθηκε σημαντικά τους τελευταίους μήνες της παραγωγής. Κατά τη διάρκεια του πειράματος τα δύο συστήματα δεν διέφεραν ως προς την παραγωγή, όταν ως κριτήριο λαμβάνονταν η διάμετρος των ανθικών στελεχών στη βάση τους (Πίνακας 4).



Σχήμα 1. Το άθροισμα των συγκομιζόμενων ανθικών στελεχών ανά εβδομάδα από την εφαρμογή του κλαδέματος της καλλιέργειας, για το ανοιχτό □ και το κλειστό ■ υδροπονικό σύστημα

Πίνακας 3. Το ποσοστό (%) των παραγόμενων από τα δύο συστήματα ανθικών στελεχών, που εντάσσονται στις τρεις κατηγορίες ποιότητας με βάση το μήκος τους, ανά μήνα καλλιέργειας.

Υδροπονικό Σύστημα	Ποσοστό (%) παραγόμενων ανθικών στελεχών											
	Αύγουστος			Σεπτέμβριος			Οκτώβριος			Νοέμβριος		
	Α	Β	Γ	Α	Β	Γ	Α	Β	Γ	Α	Β	Γ
Ανοιχτό		5,5^{a}	94,4^{a}		8,5^{a}	91,4^{a}		21,2^{a}	78,5^{a}		35,7^{a}	57,1^{a}
Κλειστό		11,1^{b}	88,8^{a}		19,6^{b}	80,3^{a}		28,2^{a}	71,8^{a}		28,5^{a}	71,4^{b}

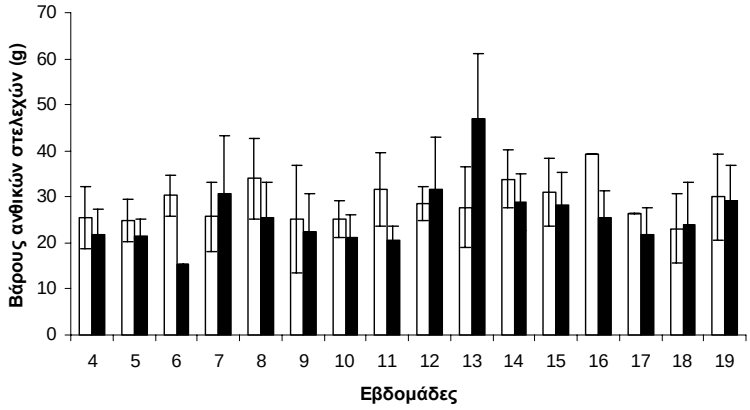
Σε κάθε στήλη τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για P=0.05

Πίνακας 4. Το ποσοστό (%) των παραγόμενων από τα δύο συστήματα ανθικών στελεχών, που εντάσσονται στις τρεις κατηγορίες ποιότητας με βάση τη διάμετρο στη βάση τους, ανά μήνα καλλιέργειας.

Υδροπονικό Σύστημα	Ποσοστό (%) παραγόμενων ανθικών στελεχών											
	Αύγουστος			Σεπτέμβριος			Οκτώβριος			Νοέμβριος		
	Α	Β	Γ	Α	Β	Γ	Α	Β	Γ	Α	Β	Γ
Ανοιχτό	88,8[a]	11,1[a]		91,4[a]	8,5[a]		96,4[a]	3,5[a]		92,8[a]	7,1[a]	
Κλειστό	86,1[a]	13,8[a]		87,5[a]	12,5[b]		93,7[a]	6,2[b]		92,8[a]	7,1[a]	

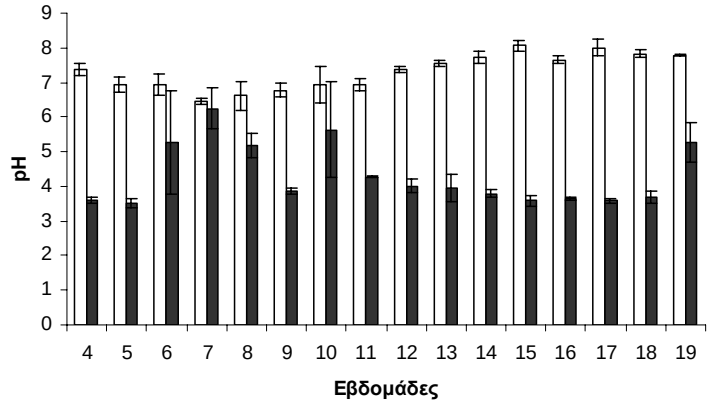
Σε κάθε στήλη τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για P=0.05

Τα ανθικά στελέχη που παρήχθησαν από τα δύο υδροπονικά συστήματα δεν διέφεραν σημαντικά ως προς το χλωρό βάρος (Σχήμα 2).



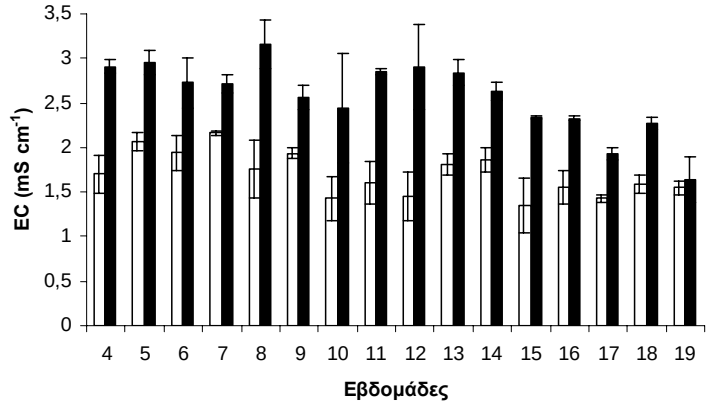
Σχήμα 2. Οι μέσες τιμές του χλωρού βάρους (g) των παραγόμενων ανθικών στελεχών από το ανοιχτό □ και το κλειστό ■ υδροπονικό σύστημα, ανά εβδομάδα καλλιέργειας Οι ράβδοι δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις από τις υπολογιζόμενες μέσες τιμές.

Η συνεχής ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, σε συνδυασμό με την έντονη βλαστική δραστηριότητα των φυτών, είναι δυνατόν να αυξάνει τον λόγο NH_4/N στο θρεπτικό διάλυμα, με αποτέλεσμα την πτώση της τιμής του pH του [9]. Οι μέσες εβδομαδιαίες τιμές του pH στο απορρέον θρεπτικό διάλυμα του κλειστού υδροπονικού συστήματος, ήταν χαμηλότερες από την επιθυμητή τιμή (5,5), ενώ αντίθετα ήταν πολύ υψηλότερες από την επιθυμητή τιμή στο ανοιχτό (Σχήμα 3).

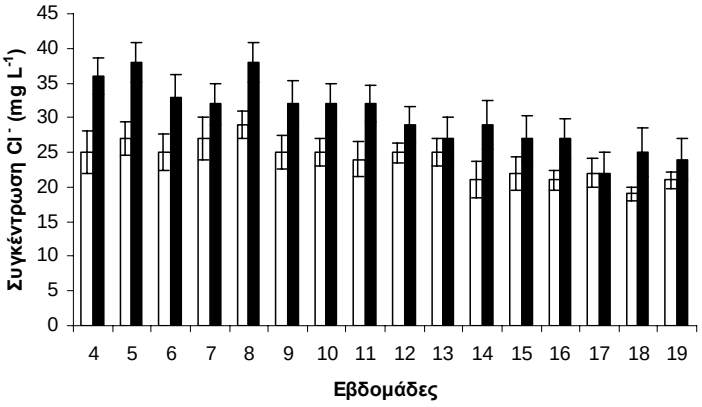


Σχήμα 3. Μέσες εβδομαδιαίες τιμές της οξύτητας (pH) του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος σε ανοιχτό □ και κλειστό ■ υδροπονικό σύστημα. Οι ράβδοι δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις από τις υπολογιζόμενες μέσες τιμές.

Στα κλειστά υδροπονικά συστήματα η συνεχής απώλεια νερού λόγω της διαπνοής των φυτών, η οποία δεν σχετίζεται πάντα με ανάλογη απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων [9], είναι δυνατόν να οδηγήσει σε συσσώρευση αλάτων στο θρεπτικό διάλυμα, με συνέπεια την αύξηση της EC του θρεπτικού διαλύματος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, οι μέσες εβδομαδιαίες τιμές EC στο απορρέον θρεπτικό διάλυμα του κλειστού υδροπονικού συστήματος, κυμάνθηκαν σε σχετικά υψηλά επίπεδα και εκτός των επιθυμητών ορίων που είναι 1.7-2.0 mS cm^{-1} ιδιαίτερα κατά την $4^{η}$ – $14^{η}$ εβδομάδα, όταν οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες ήταν υψηλές. Αντίθετα, οι αντίστοιχες τιμές EC στο απορρέον θρεπτικό διάλυμα του ανοιχτού υδροπονικού συστήματος δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά και κυμάνθηκαν εντός των επιθυμητών ορίων.



Σχήμα 4. Μέσες εβδομαδιαίες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC, mS cm^{-1}) του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος σε ανοιχτό □ και κλειστό ■ υδροπονικό σύστημα. Οι ράβδοι δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις από τις υπολογιζόμενες μέσες τιμές.



Σχήμα 5. Μέσες εβδομαδιαίες τιμές της συγκέντρωσης του Cl^- (mg L^{-1}), στο απορρέων θρεπτικό διάλυμα ανοιχτού □ και κλειστού ■ υδροπονικού συστήματος. Οι ράβδοι δείχνουν τις τυπικές αποκλίσεις από τις υπολογιζόμενες μέσες τιμές.

Τέλος, η συγκέντρωση του Cl^- στο απορρέον θρεπτικό διάλυμα του κλειστού υδροπονικού συστήματος κυμάνθηκε σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του ανοιχτού υδροπονικού συστήματος (Σχήμα 5). Η μη απορρόφηση του Cl^- από την καλλιέργεια [10], σε συνδυασμό με την μείωση του όγκου του θρεπτικού διαλύματος κατά την διάρκεια της ανακύκλωσής του στο κλειστό υδροπονικό σύστημα, φαίνεται να οδήγησε σε συσσώρευσή του Cl^- στο θρεπτικό διάλυμα.

Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε ότι:

- Το κλειστό υδροπονικό σύστημα παρουσίασε παρόμοια παραγωγή, σε αριθμό ανθέων και σε ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, σε σχέση με το ανοιχτό.
- Τα ανθικά στελέχη που παρήχθησαν από τα δύο υδροπονικά συστήματα δεν διέφεραν σημαντικά ως προς το χλωρό βάρος τους.
- Τα χαμηλότερα επίπεδα της οξύτητας και τα υψηλότερα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος του κλειστού υδροπονικού συστήματος, δεν επηρέασαν την παραγωγή.
- Τα υψηλότερα επίπεδα της συγκέντρωσης του Cl^- στο θρεπτικό διάλυμα του κλειστού υδροπονικού συστήματος δεν φαίνεται να επηρέασαν ποσοτικά και ποιοτικά την παραγωγή.
- Είναι απαραίτητος ο περιοδικός έλεγχος του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος, προκειμένου να αποφεύγεται η συνεχής διατήρηση των τιμών της οξύτητας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητάς του εκτός των επιθυμητών ορίων.

Βιβλιογραφία

1. FAO, 1990. Soilless culture for horticultural crop production. *Rome*.125-134.

2. Resh, M., 1998. *Hydroponic food production*. Woodbridge press publishing company.
3. Jensen, M.H., 1995. Hydroponics of the future. *Proceedings of the 16th Annual Conference on Hydroponics. Hydroponic Society of America, San Ramon, CA*, pp. 125-132
4. Papadopoulos, A.P. and Khosla, S., 1995. Concepts and methodology for fertilizers use economy in greenhouse tomato production, in Canada. *Acta Hortic*. 401: 461-471.
5. Brun, R. and Settebrino, A., 1995. Production and quality of *Rosa hybrida* CV Sonia in rockwool at three levels of electrical conductivity combined with two levels of relative humidity. *Acta Hortic*. 424: 115-117.
6. Hughes, H.E. and Hanan, J.J., 1978. Effect of salinity in water supplies on greenhouse rose production. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 103(5):694-699.
7. Syrios, T., Economou, A., Galaftis, A., Tsicritsis, G. and Ralli, P., 2001. A comparative study of rose cultivation on coco-soil and pumice with recirculation of the nutrient solution. *Acta Hortic*. 548: 619-624.
8. Morisot, A., 1995. 'PP.Rose': An empirical model to predict the potential yield of cut roses. *Acta Hortic*. 424: 89-93.
9. Savvas, D. and Passam, H., 2002 *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo publications, Athens Greece.
10. Mengel, K. αnd. Kirkby, E.A., 1982. *Principles of Plant Nutrition*. 3rd Edition. International Potash Institute, Bern, Switzerland, pp 545-548.

Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργία

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ ΜΕ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Essam Sh. Mohamed[#], Γ. Παπαδάκης
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής,
75 Ιερά Οδός 118 55 Αθήνα, [#]e-mail: <esamsh@aua.gr>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια απλοποιημένη μέθοδο σχεδιασμού και προσομοίωση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος που αποτελείται από δύο ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά για τη λειτουργία ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης για την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό ενός υποθετικού χωριού με 60 κατοίκους στη Δυτική Κρήτη. Δεδομένου ότι η ανάκτηση ενέργειας από τις μονάδες αντίστροφης ώσμωσης, είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την μείωση του κόστους του αφαλατωμένου νερού, στην ανάλυση λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα εφαρμογής ενός εναλλάκτη πίεσης για την ανάκτηση της απορριπτόμενης υδραυλικής ενέργειας, με 48% εξοικονόμηση ενέργειας στο σύστημα.

Λέξεις κλειδιά: Αντίστροφη ώσμωση, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια, σχεδιασμός.

DESIGN OF STAND ALONE REVERSE OSMOSIS DESALINATION SYSTEM POWERED BY WIND TURBINES AND PHOTOVOLTAICS

Essam Sh. Mohamed[#], G. Papadakis
Agricultural University of Athens
Department of Natural Resources and Agricultural Engineering
75 Iera Odos, Street, GR 11855 Athens, Greece, [#] e-mail:<esamsh@aua.gr>

ABSTRACT

This paper presents a simplified method for design and simulation of a hybrid renewable energy system consists of wind turbines and photovoltaics, to power a reverse osmosis desalination unit. This unit covers the water needs of a population of 60 inhabitants in an isolated village at western Crete Island. Since the energy recovery from reverse osmosis units has been a major factor in the cost reduction of the desalinated water, a pressure exchanger using the hydraulic energy of the brine is added to the system reducing the power consumption (48%) by reducing the size of the high pressure pump.

Keywords: Reverse osmosis photovoltaics, wind turbines, design and simulation

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 παρούσα εργασία ασχολείται με το σχεδιασμό και την προσομοίωση τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά (Φ/Β) για τη λειτουργία ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης (ΑΩ) με ανάκτηση της υδραυλικής ενέργειας από την άλμη.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

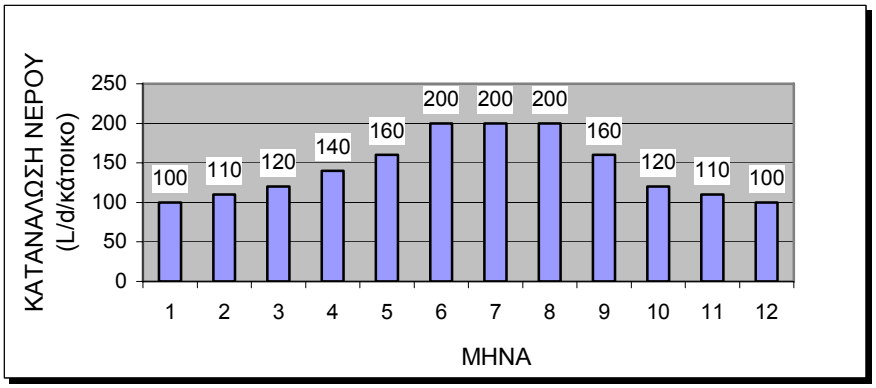
2.1 Η απαιτούμενη ποσότητα νερού

Βασικό στοιχείο για το σχεδιασμό ενός έργου αφαλάτωσης είναι ο καθορισμός των αναγκών σε νερό (κατανάλωση νερού). Στην απαιτούμενη κατανάλωση νερού θα βασιστούν όλοι οι υπολογισμοί για τον καθορισμό των διαστάσεων της μονάδας αφαλάτωσης. Η θεωρητική κατανάλωση νερού, φαίνεται στο Πίνακα 1.

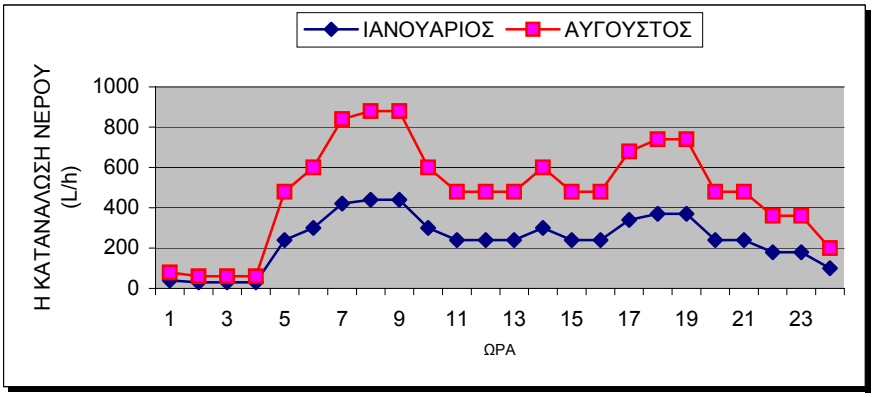
Πίνακας 1. Η θεωρητική κατανάλωση νερού

Ο πληθυσμός (αριθμός κατοίκων)	60 κάτοικοι
Είδος πληθυσμού	Αγροτικός
Η μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού (*l*/κάτ./ημ.)	200
Η συνολική απαιτούμενη ποσότητα νερού (m^3/ημ.)	12

Η καταναλώσεις των γραφημάτων 1 και 2 είναι υποθετικές, αλλά αντιστοιχούν σε πραγματικές ημερήσιες κατανομές καταναλώσεων όπως έχουν μετρηθεί σε άλλες περιπτώσεις,[5].



Γράφημα 1. Η κατανομή της κατανάλωσης νερού



Γράφημα 2. Η κατανομή της κατανάλωσης κατά την διάρκεια μιας ημέρας

2.2 Το απαιτούμενο μέγεθος συστήματος αντίστροφης ώσμωσης

Με την υπόθεση ότι το σύστημα ΑΩ λειτουργεί 24ώρες/24ωρο και ότι η μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι 12 m^3/ημ., επιλέγουμε ένα σύστημα αντίστροφης ώσμωσης με δυναμικότητα παραγωγής νερού 0.5 (m^3/h) [1] με τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά, (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος αντίστροφης ώσμωσης

Περιεκτικότητα σε άλατα στο θαλασσινό νερό	40000 ppm TDS
Ποσοστό ανάκτησης του γλυκού νερού	23%
Πίεση λειτουργίας	65 bar
Ποσότητα παραγόμενου γλυκού νερού	0.5 m^3/h
Ποσότητα νερού τροφοδότησης	2.17 m^3/h

2.3 Ανάλυση των ενεργειακών αναγκών του συστήματος

Οι ενεργειακές καταναλώσεις της μονάδας ΑΩ είναι η αντλία υψηλής πίεσης, η αντλία τροφοδοσίας, η αντλία ενίσχυσης, η αντλία καθαρισμού και οι δοσιμετρητικές αντλίες. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις της μονάδας ΑΩ καταγράφονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά των αντλιών του συστήματος και της κατανάλωσης

Είδος κατανάλωσης	Μέγιστη ισχύς	Ενέργεια	
		Ιαν.	**Αυγ**.
Αντλία υψηλής πιέσεως Αντλία τροφοδότησης Αντλία ενισχύσεως Αντλία καθαρισμού των μεμβρανών	3 kW 0.371 kW 0.15 kW 0.371 kW		
Δοσομετρικές αντλίες	0.2 kW		
Διάφορα φορτία	0.3 kW		
Σύνολο	4.392 kW	48.35 kWh	96.7 kWh

2.4 Μέγεθος του Φ/Β συστήματος

Με βάση την διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια (145 kWh/m^2 μήνα) [2] και χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό φύλο εργασίας (EXCEL), υπολογίστηκε το μέγεθος του Φ/Β συστήματος που θα καλύψει το 100% των ενεργειακών αναγκών της μονάδας ΑΩ, το οποίο φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Το μέγεθος του Φ/Β συστήματος για κάλυψη του 100% των ενεργειακών αναγκών της μονάδας ΑΩ

Ισχύς αιχμής	31.2 kW
Πλήθος των Φ/Β πλαισίων	208 Φ/Β πλαίσια Siemens sp150
Κλίση των συλλεκτών	30^o από Μάρτιο έως Σεπτέμβριο, και 60^o από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο
Έκταση του Φ/Β πάρκου	611.9 m^2

2.5 Η προσφορά της αιολικής ενέργειας

Με βάση το αιολικό δυναμικό της περιοχής, και με γνωστές οι τιμές των παραμέτρων k και c της κατανομής Weibull (Πίνακας 4) [3], εξετάζουμε την συμπεριφορά διάφορων ανεμογεννητριών ισχύος 1, 2, 4, και 10 kW και καταγράφουμε την παραγόμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια.

Πίνακα 4. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής

Στοιχεία περιοχής και οργάνων	Δεδομένα / Τιμές
Περιοχή	Χανίων
Υψόμετρο	290 m
Ύψος Ιστού	10 m
Τύπος ανεμογράφου	NRG 9000
Τύπος Αισθητ. Ταχύτητας	NRG Three Cups 40
Ολική μέση τιμή ταχύτητας	6.8565 m/s
Μέση τυπική απόκλιση	1.3320 m/s
Συντελεστές κατανομής Weibull	k = 1.371 και c = 6.571 m/s

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία η αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες φαίνεται στο Πίνακα 5.

Πίνακα 5. Η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες

Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ 1 kW	Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ 2 kW	Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ 4 kW	Παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ 10 kW
7.85 kWh/ημ.	15.42 kWh/ημ.	34.47 kWh/ημ.	71.34 kWh/ημ.

2.6 Το μέγεθος του υβριδικού συστήματος

Η παραγόμενη ενέργεια από το υβριδικό σύστημα (Φ/Β και Α/Γ) που θα καλύπτει όλες τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας ΑΩ, θα προέρχεται πρωτίστως από την ανεμογεννήτρια (μια ή περισσότερες), συν ένα ποσοστό από την παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β σύστημα. Δίνεται προτεραιότητα στην ανεμογεννήτρια διότι το κόστος της αιολικής kWh είναι μικρότερο από το κόστος της φωτοβολταϊκής kWh. Ακολουθεί μια οικονομική ανάλυση των διαθέσιμων συνδυασμών αιολικής και φωτοβολταϊκή ενέργειας για την επιλογή του κατάλληλου τεχνικά και οικονομικά υβριδικού συστήματος [4]. Η οικονομική ανάλυση έδειξε ότι ένα υβριδικό σύστημα που αποτελείται από δύο ανεμογεννήτριες των 4 kW και 40% της ισχύος του Φ/Β συστήματος (40% του 31.2 kWp) πού αντιστοιχεί σε 12.5 kWp, είναι το κατάλληλο τεχνικά και οικονομικά. Το τελευταίο βήμα είναι να προσδιορισθεί το τελικό μέγεθος του Φ/Β συστήματος (Πίνακας 6) και το μέγεθος των συσσωρευτών για αυτονομία δύο ημερών.

Πίνακας 6. Το τελικό μέγεθος του Φ/Β συστήματος

Ισχύς αιχμής	12.5 kW
Πλήθος των Φ/Β πλαισίων	84 Φ/Β πλαίσια Siemens sp150
Κλίση των συλλεκτών	30^o και 60^o
Έκταση του Φ/Β πάρκου	245 m^2

Για την αποθήκευση επαρκούς ποσότητος ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των καταναλώσεων τουλάχιστον 2 διαδοχικών θερινών ημερών και 4 διαδοχικών χειμερινών ημερών, η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών θα είναι 1422 Ah.

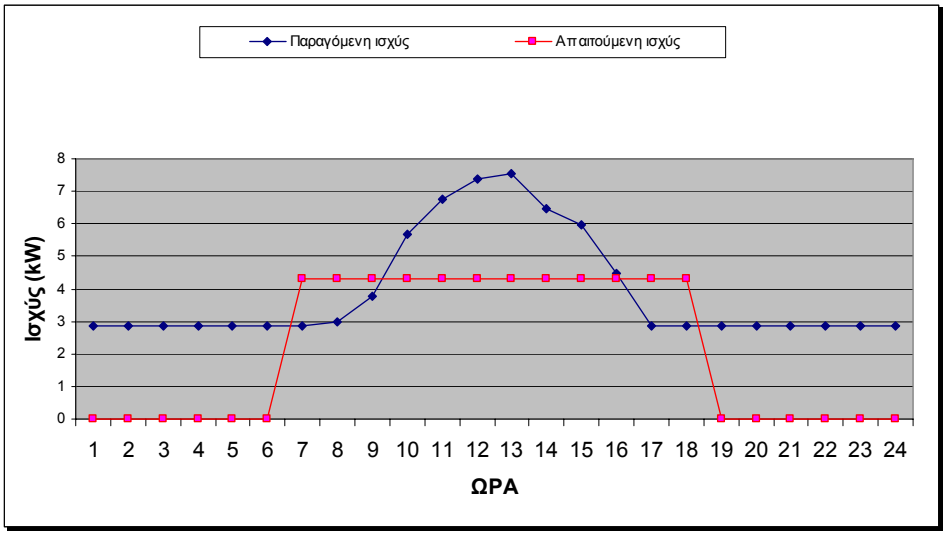
Για την ισοστάθμιση (κατανάλωση νερού) [5], καθώς και για την αυτονομία της κατανάλωσης νερού από τις διακυμάνσεις της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας, προβλέπεται χρήση δεξαμενής νερού με δυνατότητα αποθήκευσης νερού για δύο ημέρες (θερινές) της μέγιστης κατανάλωσης (24 m^3). Λαμβάνοντας υπόψη ένα βάθος ασφαλείας στην δεξαμενή 10% (2.4 m^3), τελικά επιλέγουμε μια δεξαμενή χωρητικότητας 30 m^3.

3. Προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος

3.1 Προσομοίωση του συστήματος τον μήνα Ιανουάριο

Η προσομοίωση έγινε για δυο χαρακτηριστικούς μήνες τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο, επειδή τους μήνες αυτούς έχουμε την ελάχιστη και την μέγιστη κατανάλωση νερού αντίστοιχα, καθώς και την ελάχιστη και μέγιστη προσφερόμενη ηλιακή ενέργεια αντίστοιχα.

Παρατηρούμε από το Γράφημα 3 ότι η συνολική παραγόμενη ενέργεια καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας αφαλάτωσης. Κατά την διάρκεια των ωρών 07:00 έως 09:00 και 17:00 έως 18:00, το έλλειμμα απαιτούμενης ενέργειας είναι 6.35 kWh που καλύπτεται από τους συσσωρευτές. Κατά το χρονικό διάστημα 19:00 έως 06:00 και 10:00 έως 16:00 η παραγόμενη ενέργεια από το υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας (μόνο αιολική κατά την διάρκεια της νύχτας), είναι 48.51 kWh που αποθηκεύεται στους συσσωρευτές.

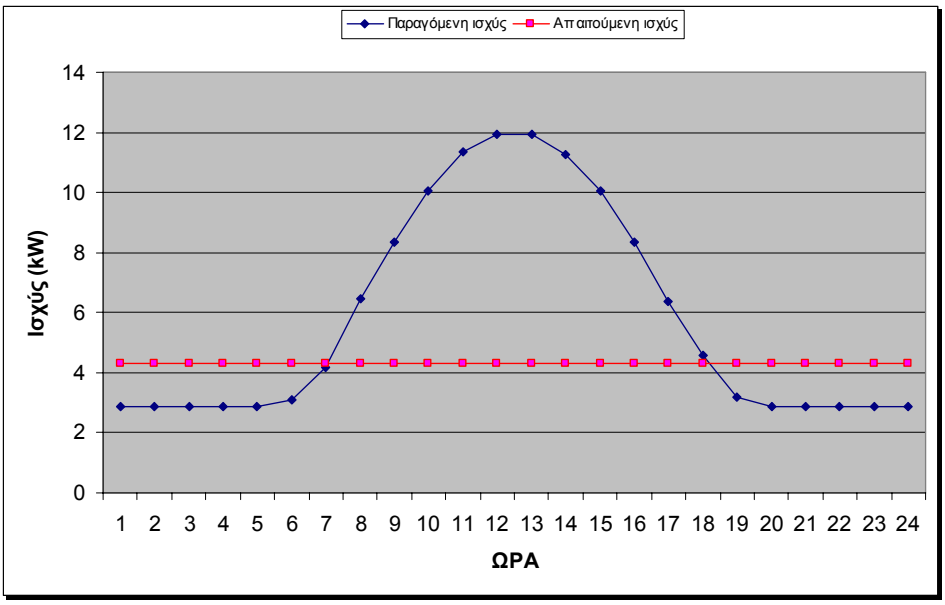


Γράφημα 3. Η παραγόμενη και η απαιτούμενη ενέργεια του συστήματος τον μήνα Ιανουάριο

Η συνολική ποσότητα νερού που παράγει το σύστημα (από 07:00 έως 18:00) είναι 6 m^3 και η συνολική απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι 5.79 m^3,.δηλαδή καλύπτεται το 100% της απαιτούμενης ποσότητας νερού. Κατά την διάρκεια της νύχτας (από 19:00 έως 06:00) όπου οι ανάγκες σε νερό είναι μεγαλύτερες, (1.98 m^3) η κάλυψη της ποσότητας αυτή θα γίνει από την δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Κατά το χρονικό διάστημα 07:00 έως 18:00 αποθηκεύεται στην δεξαμενή ποσότητα νερού ίση με 8.19 m^3.

3.2 Προσομοίωση του συστήματος του μήνα Αύγουστο

Από το Γράφημα 4, φαίνεται ότι η συνολική παραγόμενη ενέργεια (140 kWh) είναι αρκετή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συστήματος (104 kWh). Κατά την διάρκεια των ωρών 19:00 έως 07:00 η διαφορά στην ενέργεια είναι 17 kWh που καλύπτεται από τις συσσωρευτές, κατά την διάρκεια των ωρών 08:00 έως 18:00, η διαφορά στην ενέργεια που ανέρχεται σε 53.1 kWh αποθηκεύεται στις συσσωρευτές.



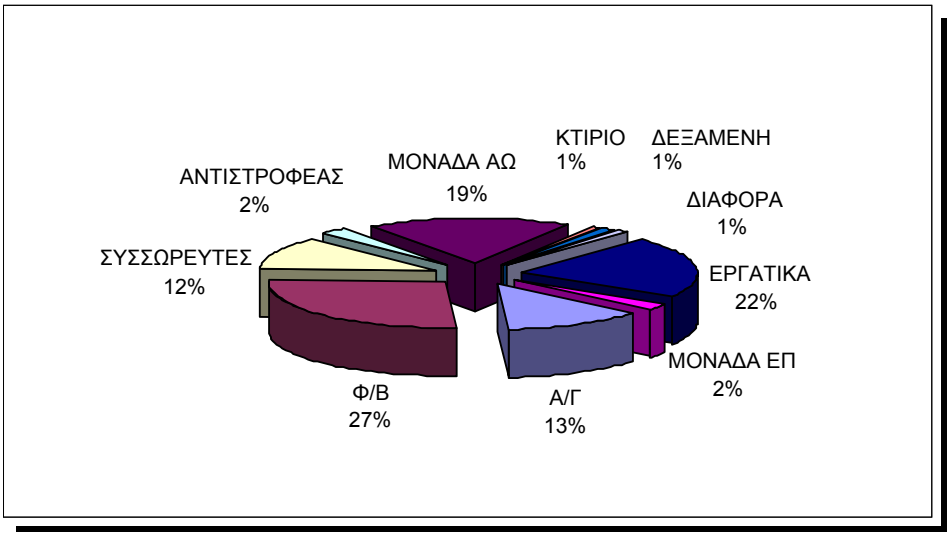
Γράφημα 4. Η ενέργεια του συστήματος του μήνα Αυγούστου

Το σύστημα αφαλάτωσης παράγει (12 m^3) νερού που καλύπτει επίσης την μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού (11.58 m^3). Σύμφωνα με την κατανομή της κατανάλωσης νερού, η περίσσεια παραγόμενης ποσότητας νερού που ανέρχεται σε 3.74 m^3/ημέρα, αποθηκεύεται στην δεξαμενή, αντίστοιχα το έλλειμμα στο παραγόμενο νερό στις ώρες μέγιστης κατανάλωσης, πού ανέρχεται σε 2.06 m3/ημέρα, καλύπτεται από την δεξαμενή.

4. Συμπεράσματα

Η ανάκτηση της υδραυλικής ενέργειας της άλμης είχε προκάλεσε μείωση της απαιτούμενης ισχύος της αντλίας υψηλής πίεσης κατά 48% και μείωση της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 48%. Προβλέπεται μείωση στην απόδοση του εναλλάκτη πίεσης λόγου της μικρής παροχής άλμης (1.67 m^3/hr), η μικρότερη απαιτούμενη παροχή για τον εναλλάκτη πιέσεως (PX 15) είναι (2.3 m^3/hr), και κατά συνέπεια μείωση στην ανάκτηση ενέργειας από την άλμη.

Από την οικονομική ανάλυση του συστήματος παρατηρούμε ότι η σύγκριση του ετήσιου κόστος του υβριδικού συστήματος, που ανέρχεται σε **16093.39 €/year,** σε σχέση με το αντίστοιχο καθαρά φωτοβολταϊκό σύστημα (**20515.18 €/year**), είναι θετική. Το κόστος παραγωγής του νερού είναι **5.2 €/m^3** και η κατανομή του ετήσιου κόστους του συστήματος φαίνεται στο Γράφημα 5, όπου παρατηρούμε ότι τα Φ/Β συμμετέχουν με το μεγαλύτερο ποσοστό. Σημειώνεται ότι σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό είναι συμφέρουσα η χρήση μεγαλύτερου ποσοστού αιολικής ισχύος στο υβριδικό σύστημα με στόχο την περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής του νερού.



Γράφημα 5. Τα διάφορα κόστη του συστήματος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tzen E., Perrakis K. and Baltas P. (1998) *Desing of a stand-alone PV-desalination system for rural areas*. Desalination 119, 327-334.
2. Καγκαράκη Κ. (1992) *Φωτοβολταϊκή τεχνολογία,* εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
3. Μηναδάκης Γ. (2001) *Τεχνολογία μέτρησης και εκτίμησης του αιολικού δυναμικού, σημειώσεις για το σεμινάριο Κατάρτισης αιολικής ενέργειας,* Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Ηράκλειο.
4. Essam Sh. Mohamed. *Σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκ,* Μεταπτυχιακή εργασία, Γ.Π.Α. Αθήνα 2002.
5. Ξανθόπουλος Θ. & Παπαδάκης Ι. (1977) *Ύδρευση Πόλεων*, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΛΑΘΟΥΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Ιωάννης Γράβαλος
Ηρ. Πολυτεχνείου 198 Τ.Κ.41221-Λάρισα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κατασκευαστές γεωργικών ελκυστήρων καταβάλλουν μεγάλες προσπάθειες για να υλοποιήσουν καλωδιωμένες εφαρμογές (όπως η αυτόματη σύμπλεξη της εμπρόσθιας κίνησης κ.λπ.). Τα ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου των εφαρμογών αυτών, πρέπει να διακρίνονται για τη μεγάλη ακρίβεια και την υψηλή αξιοπιστία τους. Για να μελετήσουμε την αξιοπιστία ενός τέτοιου συστήματος, να αναγνωρίσουμε και να καταλάβουμε τις πιθανές βλάβες του, χρησιμοποιούμε τεχνικές όπως η εισαγωγή λάθους. Στην εργασία αυτή προτείνεται ένα σύστημα εισαγωγής λάθους για τον ρυθμιστή στροφών του κινητήρα. Δίνεται έμφαση σε τεχνικές SWIFI, οι οποίες μεταβάλλουν την κατάσταση του ενσωματωμένου λογισμικού, σαν να είχε πραγματικά προσβληθεί από κάποιο λάθος.

Λέξεις κλειδιά: Γεωργικός ελκυστήρας, ρυθμιστής στροφών κινητήρα, τεχνικές εισαγωγής λάθους, αξιοπιστία.

A FAULT INJECTION SYSTEM FOR THE CONTROLLER SOFTWARE OF AGRICULTURAL TRACTOR GOVERNORS

Ioannis Gravalos
198, Iroon Polytechniou str. – 41221 Larissa

ABSTRACT

Manufacturers of agricultural tractors make great efforts to implement “by wire” applications (e.g. automatic engagement of the front wheel drive etc.). The embedded control systems involved in such applications, must be characterized by high accuracy and reliability. In order to study the reliability of such control systems and to recognize and understand their possible failure modes, we can use various fault injection techniques. In this present work, we present a fault injection system for an engine speed controller. The system is based on a SWIFI technique, which changes the state of the embedded software, as it would have happened by a real fault.

Key words: Agricultural tractor, engine speed controller, fault injection techniques, reliability.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στους γεωργικούς ελκυστήρες έχουμε εκτεταμένη εφαρμογή ενσωματωμένων συστημάτων (ολοκληρωμένα τμήματα μεγαλυτέρων συστημάτων), τα οποία ελέγχουν κρίσιμες λειτουργίες όπως για παράδειγμα τον αριθμό στροφών του κινητήρα.

Το ενσωματωμένο λογισμικό τους, πρέπει να διακρίνεται για τη μεγάλη ακρίβεια και την υψηλή αξιοπιστία. Η μη έγκαιρη ανακάλυψη λαθών είναι δυνατόν να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες.

Η εισαγωγή λάθους (fault injection) είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά για να επιβεβαιωθεί εάν ένα σύστημα λογισμικού παρουσιάζει ανοχή σε λάθη [1].

Η αρχή βασίζεται στην εισαγωγή ενός τεχνητού λάθους στο ενσωματωμένο λογισμικό και στη συνέχεια παρατηρείται η συμπεριφορά του. Η παρουσία λάθους δεν είναι αρκετή για να προσβάλλει την αξιοπιστία ενός συστήματος. Το λάθος (fault) θα πρέπει να ενεργοποιηθεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος αυτού [2].

Οι κυριότερες τεχνικές εισαγωγής λάθους που χρησιμοποιούνται είναι:

-Η εισαγωγή λάθους στο υλικό του συστήματος προορισμού (hardware fault injection). Είναι μία δημοφιλής προσέγγιση, επειδή ανταποκρίνεται περισσότερο προς ένα πραγματικό μοντέλο λάθους. Ομως για την υλοποίησή της απαιτείται ειδικός εξοπλισμός που αυξάνει σημαντικά το κόστος.

-Η εισαγωγή λάθους που υλοποιείται σε ένα μοντέλο εξομοίωσης του συστήματος προορισμού (fault injection by simulation). Προτείνεται για διερεύνηση της αξιοπιστίας μικρότερων συστημάτων.

-Οι τεχνικές SWIFI (software implemented fault injection). Μεταβάλλουν την κατάσταση υλικού/λογισμικού του συστήματος προορισμού χρησιμοποιώντας ειδικά προγράμματα, με αποτέλεσμα να συμπεριφέρεται σαν να συνέβη ένα πραγματικό λάθος υλικού.

Τα εργαλεία SWIFI είναι σχετικά χαμηλότερου κόστους, συγκριτικά με άλλα εργαλεία υλικού (hardware tools) και για το λόγο αυτό έτυχαν ευρείας αποδοχής. Κυριότερες τεχνικές είναι:

- FIAT: (Fault Injection-based Automated Testing environment), [3].
- FTAPE: (Fault Tolerance and Performance Evaluator), [4].
- FERRARI: (Fault and Error Automatic Real-Time Injection), [5].
- DOCTOR: (IntegrateD sOftware fault injeCTiOn enviRonment), [6].
- Xception, [7].

Στην εργασία αυτή, προτείνεται ένα σύστημα εισαγωγής λάθους για θέσεις της μνήμης και επιλεγμένους καταχωρητές στο ενσωματωμένο λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή στροφών του κινητήρα. Το σύστημα αυτό, αποτελεί μία γενικότερη εφαρμογή εισαγωγής λάθους για τα συστήματα ελέγχου των αυτοκινούμενων γεωργικών μηχανημάτων. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι: το χαμηλό κόστος, η ευκαμψία (υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους λαθών) και η

γρήγορη προσπέλαση (μπορεί εύκολα να μετακινείται σε διευθύνσεις διαφορετικών συστημάτων προορισμού).

2. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Στον γεωργικό ελκυστήρα, το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου των στροφών του κινητήρα εκτός του ρυθμιστή περιλαμβάνει έναν μαγνητικό λήπτη, ένα ποτενσιόμετρο που παρακολουθεί τη διαδρομή του ποδομοχλού τροφοδοσίας, ένα ψηφιακό χειριστήριο και έναν βηματικό κινητήρα (ο ρυθμιστής στροφών και το λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή αποτελούν δύο διαφορετικά συστήματα). Αναλυτική περιγραφή του συστήματος ελέγχου των στροφών του κινητήρα, γίνεται στις εργασίες [8], [9].

Ο ακριβής και σταθερός αριθμός στροφών του κινητήρα είναι αναγκαίος καθώς ο γεωργικός ελκυστήρας εργάζεται σε συνθήκες που χαρακτηρίζονται από μεγάλες διακυμάνσεις φορτίου. Στόχος του ρυθμιστή δύο όρων (PI) είναι η συνεχής ταύτιση των πραγματικών στροφών του κινητήρα με τις επιθυμητές στροφές, ανεξάρτητα από οποιεσδήποτε διαταραχές.

Η διαφορά ανάμεσα στις επιθυμητές y_{sp} και τις πραγματικές στροφές y είναι γνωστή ως σήμα σφάλματος e και δίνεται από τη σχέση :

$$e(t) = y_{sp}(t)-y(t) \qquad (1)$$

Ο ολοκληρωτικός όρος w του ρυθμιστή (PI) χρησιμοποιείται για την εξάλειψη του μόνιμου σφάλματος e (πολλαπλασιάζοντάς το με το ολοκληρωτικό κέρδος k_i) σύμφωνα με τη σχέση:

$$w(t) = w(t-1) +T\, k_i\, e(t) \qquad (2)$$

όπου T είναι ο χρόνος δειγματοληψίας.

Επιπροσθέτως, ο αναλογικός όρος ενισχύει το σήμα σφάλματος e με το αναλογικό κέρδος k και η επιθυμητή γωνία ρύθμισης u είναι το άθροισμα αναλογικού και ολοκληρωτικού όρου, σύμφωνα με τη σχέση :

$$u(t) = ke(t) + w(t) \qquad (3)$$

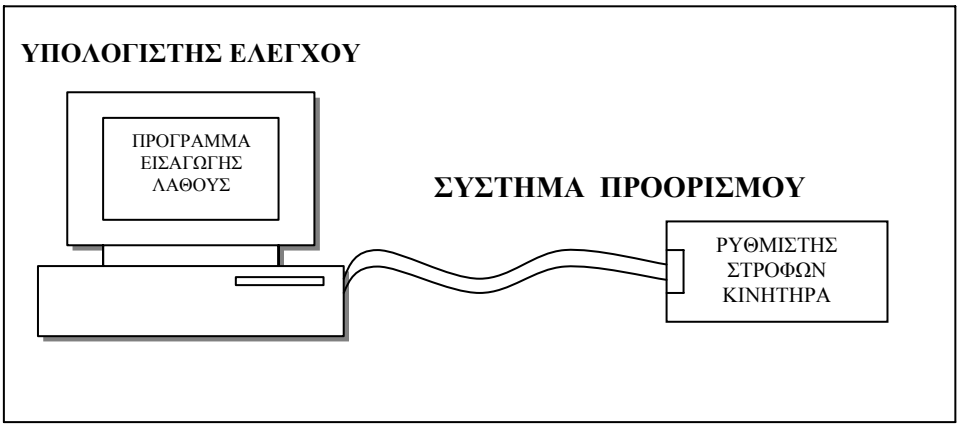
Επειδή το σήμα u(t) μπορεί να λάβει τιμές εκτός του διαστήματος ρύθμισης 0.0 °-70.0 °, μία συνάρτηση εξόδου διασφαλίζει ώστε το σήμα u' να κυμαίνεται πάντα εντός αυτού.

3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΛΑΘΟΥΣ

Οπως παρατηρούμε στο σχήμα 1, η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήσαμε, περιλαμβάνει ένα εργαλείο εισαγωγής λάθους εγκατεστημένο στον υπολογιστή και το λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή του κινητήρα στη θέση του συστήματος προορισμού.

Για την εκτέλεση των πειραμάτων, επιλέχθηκε η τελευταία έκδοση ενός εμπορικού εργαλείου εισαγωγής λάθους, που προσαρμόζεται εύκολα σε διαφορετικά συστήματα προορισμού και διαφορετικές τεχνικές. Είναι γραμμένο σε γλώσσα Java και χρησιμοποιεί μια βάση SQL για την αποθήκευση των δεδομένων.

Η χρήση του συστήματος είναι απλή και επιβεβαιώνεται από τη διαδικασία της εγκατάστασης και της ρύθμισης. Βασικά περιλαμβάνει τρεις φάσεις : τη φάση προετοιμασίας, τη φάση εισαγωγής και τη φάση ανάλυσης.



Σχήμα 1: Πειραματική διάταξη συστήματος εισαγωγής λάθους.

3.1 Φάση προετοιμασίας

Στη φάση της προετοιμασίας εμφανίζονται στη γραφική διασύνδεση του χρήστη (graphical user interface-GUI), οι παράμετροι του συστήματος προορισμού. Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει από το αρχείο λαθών, που εμφανίζεται σε ένα παράθυρο, τις θέσεις και τον τύπο λάθους. Τα δεδομένα αυτά αποθηκεύονται σε μία βάση που αποκαλείται Campaign Data. Προβλέπεται η τροποποίηση ενός λάθους όταν : (α) το λάθος αποδεδειγμένα δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά του συστήματος προορισμού και (β) ένα λάθος είναι ισοδύναμο ενός άλλου.

3.2 Φάση εισαγωγής

Πρόκειται για τη σημαντικότερη φάση της όλης διαδικασίας εισαγωγής λάθους.

Αρχικά ο αλγόριθμος (fault injection algorithm) διαβάζει το περιεχόμενο της βάσης δεδομένων (Campaign Data). Στη συνέχεια προκαλεί την εκτέλεση του προγράμματος αρχικοποίησης (initialization) στο σύστημα προορισμού, με στόχο να διασφαλιστεί ένα περιβάλλον χωρίς λάθη. Η εκτέλεση χωρίς λάθη (reference execution) του λογισμικού, υποφορτώνεται στη βάση δεδομένων (Logged System State). Κατόπιν, ο αλγόριθμος αναζητά τα ανοικτά σημεία του υποφορτομένου κώδικα, στον οποίο πρόκειται να εισάγει το περιεχόμενο της

βάσης Campaign Data. Μετά την εισαγωγή λάθους, η εκτέλεση του λογισμικού στο σύστημα προορισμού αρχίζει από το σημείο που είχε σταματήσει και συνεχίζεται μέχρι έως ότου ολοκληρωθεί. Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στη βάση Logged System State. Πριν την έναρξη του επόμενου κύκλου εισαγωγής, έχουμε επανεκκίνηση του συστήματος προορισμού.

Κατά τη διάρκεια της εισαγωγής λάθους, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί στην οθόνη του υπολογιστή την εξέλιξη του πειράματος. Πληροφορείται τον αριθμό λαθών που έχουν εισαχθεί και μπορεί να διακόψει, επανεκκινήσει ή να τελειώσει τη διαδικασία.

3.3 Φάση ανάλυσης

Κατά τη φάση αυτή, αναλύονται τα δεδομένα που αποθηκεύτηκαν στη βάση Logged System State, με σκοπό να επιτευχθεί η ταξινόμηση των βλαβών σε κατηγορίες και να διαμορφωθούν διάφορα κριτήρια αξιοπιστίας για το σύστημα προορισμού που μελετάται.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Για τη πειραματική επαλήθευση της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος εισαγωγής λάθους, επιλέχθηκε για σύστημα προορισμού ο ρυθμιστής στροφών του κινητήρα του γεωργικού ελκυστήρα Lamborghini Formula 135 VDT. Ο ρυθμιστής στροφών τύπου REG 2MFA, κατασκευάστηκε από την S.M.E. s.r.l. Arzignano (VI) Italy. Ο συγκεκριμένος ρυθμιστής έχει ενσωματωμένο τον μικροεπεξεργαστή TN 80C198-16 της Intel. Πρόκειται για έναν μικροεπεξεργαστή τεχνολογίας CMOS των 16 bit στα 16 MHz.

Για να εγκατασταθεί το λογισμικό του συστήματος εισαγωγής λάθους, επιλέχθηκε υπολογιστής (host computer) ένα PC με επεξεργαστή Pentium 4/1,9 GHz και λειτουργικό MS Win. 2000.

Οι βλάβες που επηρεάζουν την έξοδο του ρυθμιστή διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- μόνιμες (permanent): η έξοδος του ρυθμιστή λαμβάνει τη μέγιστη τιμή (70.0 °) ή την ελάχιστη (0.0 °) από τη στιγμή εμφάνισης της βλάβης έως την ολοκλήρωση του χρόνου παρατήρησης.
- Ημιμόνιμες (semipermanent): η έξοδος του ρυθμιστή διαφοροποιείται έντονα κατά τη διάρκεια περισσοτέρων από μίας εκτελέσεων και επανέρχεται στην κατάσταση χωρίς λάθος έγκαιρα και εντός του χρόνου παρατήρησης.
- παροδικές (transient): η έξοδος του ρυθμιστή διαφοροποιείται έντονα κατά τη διάρκεια μίας εκτέλεσης και αμέσως επανέρχεται στην κατάσταση χωρίς λάθος. Οι βλάβες αυτές έχουν ελάχιστη επίδραση στην ελεγχόμενη διαδικασία.

Η εισαγωγή λαθών στην CPU αφορά τους καταχωρητές γενικής χρήσης, τον μετρητή προγράμματος και τον δείκτη σωρού. Τα λάθη στους ανωτέρω καταχωρητές έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες διάδοσης. Η εισαγωγή λαθών στη μνήμη έγινε απευθείας σε επιλεγμένες θέσεις, τροποποιώντας το περιεχόμενό

τους. Τα λάθη που χρησιμοποιήθηκαν για τους καταχωρητές και τη μνήμη ήταν απλά bit-flips.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των πειραμάτων εισαγωγής 2.437 λαθών.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα των πειραμάτων εισαγωγής λάθους.

Τμήματα της CPU	**Μνήμη** (2005)		**Καταχωρητές** (432)	
Κατηγορίες βλαβών	**%**	**Λάθη**	**%**	**Λάθη**
Μόνιμες	0.05	1	0.46	2
Ημιμόνιμες	0.10	2	0.46	2
Παροδικές	25.59	513	4.40	19
Χωρίς λάθος	74.26	1489	94.68	409
Σύνολο	100	2005	100	432

Οι δύο στήλες του πίνακα δίνουν τα αποτελέσματα χωριστά για λάθη που εισήχθησαν στα δεδομένα της μνήμης και στους καταχωρητές της CPU. Παρουσιάζεται το ποσοστό για κάθε κατηγορία βλάβης καθώς και ο αριθμός των λαθών.

Από τα αποτελέσματα γίνεται φανερό ότι μόνο το 0,28% του συνόλου των λαθών εισαγωγής είχαν σοβαρή επίδραση στο σημείο εξόδου του ρυθμιστή. Αντιθέτως, το 99,72% των λαθών είχε ελάχιστη έως καμία επίδραση στη λειτουργία του. Επίσης προκύπτει ότι σοβαρές βλάβες προκλήθηκαν περισσότερο από την εισαγωγή bit-flips στους καταχωρητές της CPU.

Ενας τρόπος για να αποφύγουμε τα αποτελέσματα των bit-flips είναι η χρήση εκτελούμενων βεβαιώσεων (executable assertions) στο λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή στροφών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η εισαγωγή bit-flips στους καταχωρητές της CPU κατά την εκτέλεση του λογισμικού ελέγχου του ρυθμιστή, μπορεί να προκαλέσει μόνιμες βλάβες.
2. Σοβαρή επίδραση στην έξοδο του ρυθμιστή είχε μόνο το 0,28% του συνόλου των λαθών που εισήχθησαν.
3. Αντιθέτως, το 99,72% των εισαχθέντων λαθών είχε ελάχιστη έως καμία επίδραση στη λειτουργία του ρυθμιστή.
4. Το προτεινόμενο σύστημα εισαγωγής λάθους δεν απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό, υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους λαθών και είναι σχετικά χαμηλού κόστους.
5. Η τεχνική εισαγωγής λάθους στο λογισμικό ελέγχου παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης της αξιοπιστίας σε πολλές εφαρμογές των μικροελεγκτών (όπως αυτές των αυτοκινούμενων γεωργικών μηχανημάτων).

6 . ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Lai, M.Y., Wang, S.Y., 1995. *Software fault tolerance*. John Wiley & Sons Ltd.
2. Arlat, J., Aguera, M., Amat, L., Crouzet, Y., Fabre, J. C., Laprie, J. C., Martins, E., Powell, D., 1990. Fault injection for dependability validation: A methodology and some applications. *IEEE Trans. On Software Eng.,* 16, (2), 166-182.
3. Segall, Z., Vrsalovic,D., Siewiorek, D., Yaskin, D., Kownacki, J., Barton, J., Rance Y.D., Robin, A., Lin, T., 1998. FIAT: Fault injection based automated testing environment. *Proc. 18th Int. Symp. on FT Computing (FTCS-18)* 102-107.
4. Tsai, T.K., Lyer, R.K, 1993. An approach to benchmarking of fault-tolerant commercial system. *Proc. 26th Ann. Int. symp. FT Computing. IEEE CS Press,* Los Alamitos, calif., 314-323.
5. Kanawati, G.A., Kanawati, N.A., Abraham, J.A., 1992. FERRARI: A tool for the validation of system dependability properties. *Proc. 22nd Ann. Int. Symp. FT Computing. IEEE CS Press*, Los Alamitos, Calif., 336-344.
6. Han, S., Shin, K.G., Rosenberg, H.A.,1995. Doctor: integrated software fault injection environment for distributed real-time systems. *Proc. 2nd Ann. IEEE Int. Comp. Perf. and Dep. Symp.,* Los Alamitos, Calif., 204-213.
7. Carreira, J., Madeira, H., Silva, J., 1998. Xception: A technique for the experimental evaluation of dependability in modern computers. *IEEE Trans. On Software Eng.,* 24, 125-136.
8. Smith, L.A., 1989. Precise control of tractor engine speed. *Transactions of the ASAE,* 32, (2), 385-389.
9. Gravalos, I., 1990. *Navrh mericich a ridicich systemu v zemedelstvi.* Pisemna prace k odborne Kandidatske Zkousce. VSZ v Praze 3-27.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

M. Predescu[1], A. Craciunescu[2], Λ. Καλλιβρούσης[3], Γ. Παπαδάκης[3 #]
[1]ICPE-NESL (Institute for Electrical Engineering), Bucharest
[2]Technical University of Bucharest, Dept. of Electrical Engineering
[3]Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, [#]e-mail: gpap@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα φωτοβολταϊκό αντλητικό σύστημα νέου τύπου σχεδιάστηκε και δοκιμάστηκε πειραματικά. Το σύστημα περιλαμβάνει μια μονοβάθμια φυγόκεντρη αντλία που κινείται από ένα καινοτόμο μονοφασικό κινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος (400 W, 50 Hz). Η απαιτούμενη τάση ac παρέχεται στον κινητήρα από ένα νέο αναστροφέα dc-ac, (24 V dc – 220 V ac, 50 Hz). Ο αναστροφέας σχεδιάστηκε ώστε να τροφοδοτεί απ' ευθείας τον κινητήρα και να αποφευχθεί η χρήση συσσωρευτών. Το νέα χαρακτηριστικά του κινητήρα αναφέρονται στην εκκίνησή του με χαμηλά ρεύματα δηλ. σε χαμηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας. Το σύστημα δοκιμάστηκε με μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος αιχμής 680 W. Τα πειραματικά αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά.
Λέξεις κλειδιά: φωτοβολταϊκά, άντληση νερού, υψηλή απόδοση

DESIGN AND TESTING OF A PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEM EQUIPPED WITH A LOW STARTING CURRENT INDUCTION MOTOR AND A DEDICATED DC-AC INVERTER

M. Predescu[1], A. Craciunescu[2], L. Kallivroussis[3], G. Papadakis[3,*]
[1]ICPE-NESL, Bucharest
[2]Technical University of Bucharest, Dept. of Electrical Engineering
[3]Agricultural University of Athens, *e-mail: gpap@aua.gr

ABSTRACT

A photovoltaic water pumping system of new type was designed and tested experimentally. The system comprises of a centrifugal pump powered by an innovative single phase induction motor (400 W nominal power, 50 Hz). The required ac voltage for the motor is directly provided by a new type dc-ac inverter, (24 V dc - 220 V ac, 50 Hz) without using any batteries. The motor has innovative characteristics which allow it to start easily at low currents, i.e. at low solar radiation levels. The system was tested with a photovoltaic array of peak power of 680 Wp. The results were very satisfactory.
Keywords: photovoltaics, water pumping, high efficiency

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε πολλές απομακρυσμένες περιοχές στον κόσμο υπάρχει ανάγκη για άντληση νερού, ιδιαίτερα σε περιοχές μακριά από το ηλεκτρικό δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά αντλητικά συστήματα προσφέρουν μια καλή λύση στο πρόβλημα αυτό καθώς εκμεταλλεύονται μια πηγή ενέργειας ελεύθερη κόστους ενώ το κόστος αγοράς τους μειώνεται συνεχώς. Δύο βασικοί τύποι τέτοιων συστημάτων υπάρχουν σήμερα στο εμπόριο. Ο πρώτος τύπος χρησιμοποιεί κινητήρα συνεχούς ρεύματος που τροφοδοτείται απ' ευθείας από τα φωτοβολταϊκά μέσω ενδεχομένως ενδιάμεσης συσκευής οδήγησης των φωτοβολταϊκών στο σημείο αιχμής. Ο δεύτερος τύπος χρησιμοποιεί ασύγχρονους κινητήρες ac που τροφοδοτούνται από αναστροφέα dc-ac μέσω συσσωρευτών. Και οι δύο τύποι συστημάτων έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

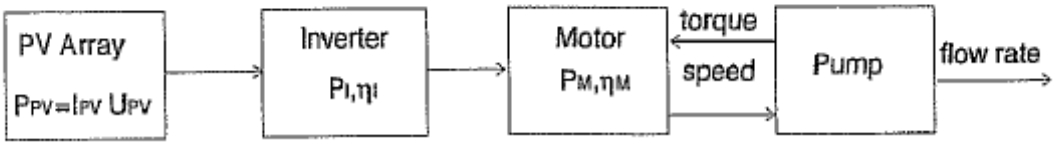
Οι κινητήρες dc χρειάζονται υψηλό ρεύμα εκκίνησης ώστε για να ξεκινά η άντληση σε χαμηλές τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας να επιβάλλεται η χρήση ενδιάμεσης συσκευής οδήγησης των φωτοβολταϊκών στο σημείο αιχμής και ακόμα καλύτερα, ειδική συσκευής εκκίνησης κινητήρων dc. Όμως οι συσκευές αυτές αυξάνουν το κόστος άντλησης. Επίσης οι κινητήρες dc έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και δεν μπορούν να τοποθετηθούν μακριά από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Τα συστήματα που βασίζονται στο εναλλασσόμενο ρεύμα και έχουν αναστροφείς dc-ac και συσσωρευτές είναι συστήματα υψηλού κόστους και προορίζονται για άντληση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού ανά ημέρα σε σχέση με τα προηγούμενα.

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να αναπτυχθεί ένα νέο φωτοβολταϊκό αντλητικό σύστημα με ένα νέο κινητήρα ac που δεν απαιτεί υψηλό ρεύμα εκκίνησης και να τροφοδοτείται από ένα νέο ειδικό αναστροφέα dc-ac που να τροφοδοτεί τον κινητήρα ac χωρίς συσσωρευτές. Ο τύπος του κινητήρα υπόκειται σε Ρουμάνικη ευρεσιτεχνία, ενώ ο αναστροφέας dc-ac σχεδιάστηκε είδικά για τον νέο κινητήρα. Ο σχεδιασμός του αντλητικού συστήματος έγινε για ισχύ αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην περιοχή μεταξύ 500 και 700 Wp. Τα αποτελέσματα των δοκιμών ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία

Το σύστημα αποτελείται από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία, ένα αναστροφέα, ένα κινητήρα και μια μονοβάθμια φυγόκεντρη αντλία. Ο κινητήρας και η αντλία σχηματίζουν μια εμβαπτιζόμενη συμπαγή κυλινδρική συσκευή διαμέτρου 10 cm και ύψους κυλίνδρου 40 cm που μπορεί να τοποθετηθεί σε απόσταση από τον αναστροφέα ο οποίος πρέπει να είναι τοποθετημένος κοντά στην συστοιχία των φωτοβολταϊκών για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ισχύος. Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικ. 1. Σχηματικό διάγραμμα του φωτοβολταϊκού αντλητικού συστήματος

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος φαίνονται συνοπτικά παρακάτω:

- Φωτοβολταϊκή συστοιχία 680 Wp
- Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο 30°
- Φορτίο (κινητήρας – αντλία) 350 W
- Dc-ac αναστροφέας 500 VA στα 50 Hz
- Τάση εισόδου στον αναστροφέα 24 V dc

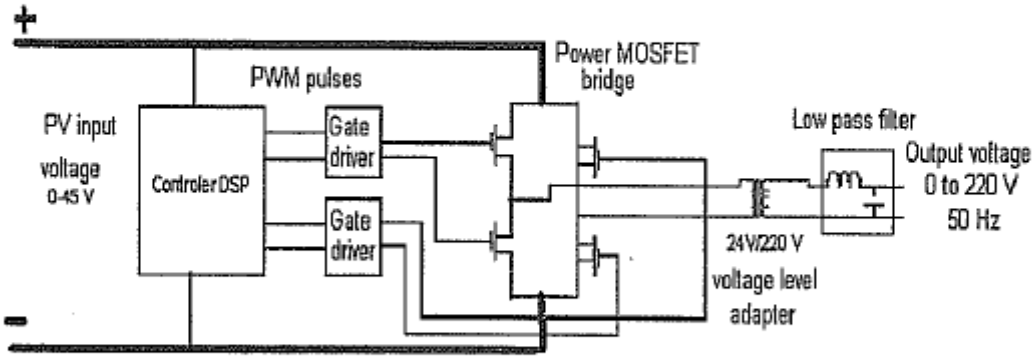
Η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από 14 πανέλα HOXAN H-4810, 48.6 Wp το κάθε ένα. Δύο πανέλα συνδέονται σε σειρά για να σχηματίσουν ονομαστική τάση 24 V dc σε επτά σειρές για να δώσουν ισχύ αιχμής 680 Wp, ρεύμα στο σημείο αιχμής 21 A και τάση στο σημείο αιχμής 31.4 V dc. Τα χαρακτηριστικά των πανέλων φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πανέλων

Παράμετρος	*Μονάδες*	*Τιμή*
Διαστάσεις κυψελών	mm	100 x 100
Ισχύς αιχμής	W	48.6
Τάση ανοικτού κυκλώματος	V	21.3
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	A	3.3
Τάση σημείου αιχμής	V	16.2
Ρεύμα σημείου αιχμής	A	3.0

2.2. Ο αναστροφέας

Η αρχιτεκτονική του αναστροφέα βασίζεται σε ένα ψηφιακό ελεγκτή DSP (Εικ. 2) που προσφέρει πολλές δυνατότητες για PWM παραγωγή για να συντεθεί ημιτονοειδής κυματομορφή. Εκτός από το DSP υπάρχει μια γέφυρα MOFSET, δύο οδηγοί παλμών ενώ στην έξοδο υπάρχει ένας οδηγός τάσης, ένας ματασχηματιστής και ένα φίλτρο. Ο αναστροφέας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο ICPE-NESL, Bucharest.



Εικ. 2. Σχηματικό διάγραμμα του αναστροφέα

Η τάση εισόδου στον αναστροφέα μπορεί να είναι μέχρι 45 V dc ενώ η έξοδος είναι πλήρης κυματομορφή 220 V ac. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον αναστροφέα δίνονται στην [1].

2.3. Ο κινητήρας

Ο κινητήρας είναι μονοφασικός και συνδυάζει ένα ασύγχρονο κινητήρα και ένα κινητήρα αντίδρασης χωρίς ψύκτρες. Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο "Politehnica", Bucharest. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται παρακάτω:

- Ονομαστική ισχύς (μέγιστη) 400 W
- Ονομαστική ταχύτητα περιστροφής 1500 rpm
- Ονομαστική τάση 220 V, 50 Hz

Ο κινητήρας είναι υβριδικού τύπου και συνδυάζει χαρακτηριστικά ασύγχρονου κινητήρα και κινητήρα αντίδρασης. Το κύκλωμα του στάτη χωρίζεται σε δύο στρώσεις όπου είναι τοποθετημένα ορθογωνικά τυλίγματα ενώ το κύκλωμα του δρομέα έχει βραχυκυκλωμένα τυλίγματα. Ο κινητήρας έχει το καινοτόμο χαρακτηριστικό να μην απαιτεί υψηλό ρεύμα εκκίνησης. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον κινητήρα δίνονται στην [1].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Το πρωτότυπο φωτοβολταϊκό αντλητικό σύστημα εγκαταστάθηκε και δοκιμάστηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι αισθητήρες και ένα αυτόματο ψηφιακό σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν:

- Ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας
- Θερμοκρασία φωτοβολταϊκών πανέλων
- Ρεύμα και τάση στην είσοδο στον αναστροφέα dc-ac
- Άεργη ισχύς στον κινητήρα
- Ac τάση και ac ρεύμα στον κινητήρα
- Μανομετρικό ύψος στην αντλία
- Παροχή νερού στην αντλία

Τα δεδομένα συλλεγόντουσαν κάθε 10 s και οι μέσες τιμές τους καταγράφονταν κάθε 1 min. Στη συνέχεια τα δεδομένα επεξεργάστηκαν για να ευρεθεί η συμπεριφορά του συστήματος σε διάφορα επίπεδα έντασης ηλιακής ακτινοβολίας όσο αφορά στην ολική αντλούμενη ημερήσια ποσότητα νερού και ολική αποδοτικότητα.

Η μέγιστη ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας P_a [W] σε μια ένταση ηλιακής ακτινοβολίας H_1 [W/m^2] και θερμοκρασία κυψελών T_1 [°C], μπορεί να προσεγγιστεί από την παρακάτω Εξ. (1):

$$P_a = N\, P_{mo}\, [1 - \beta\, (T_1 - T_0)]\, H_1/H_o \qquad (1)$$

Όπου:

P_{mo} είναι η μέση μέγιστη ισχύς ενός πανέλου σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας αναφοράς, H_o, [1000 W/m^2] και θερμοκρασία αναφοράς κυψέλης T_0, [25 °C]

β είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας του πανέλου, [0.35 %/ °C]

N ο ολικός αριθμός πανέλων της συστοιχίας.

Η φαινόμενη ισχύς S_T στον κινητήρα υπολογίστηκε από την Εξ. (2):

$$S_T = V_T I_T \tag{2}$$

Όπου, V_T είναι η τάση ac και I_T είναι το ρεύμα ac, και τα δύο αυτά μεγέθη μετρούμενα στην είσοδο του κινητήρα.

Η φαινόμενη ισχύς δίδεται από την Εξ. (3):

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \tag{3}$$

Όπου, P_T είναι η ενεργός ισχύς και Q_T είναι η άεργη ισχύς.

Η Εξ. (3) χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί η ενεργός ισχύς στον κινητήρα. Ο συντελεστής ισχύος p_f δίνεται από την Εξ. (4):

$$p_f = \frac{P_T}{S_T} \tag{4}$$

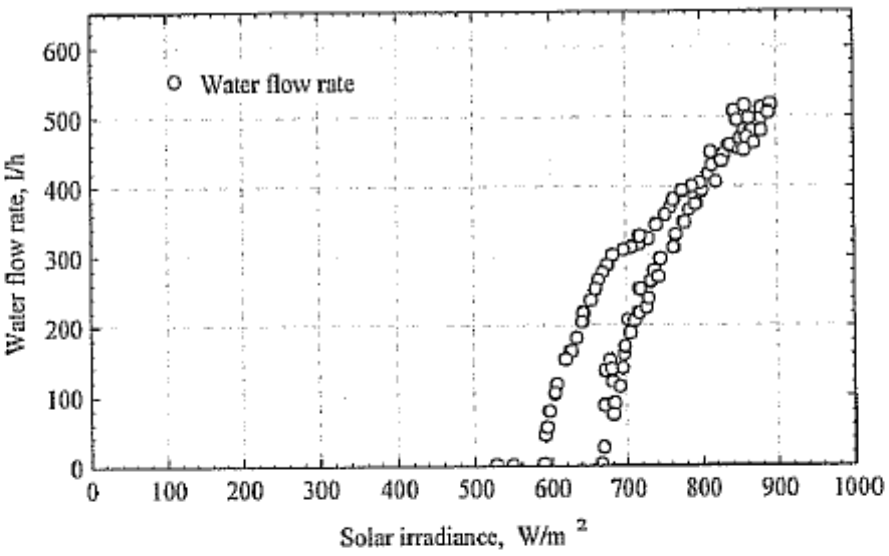
Ο Πίνακας 2 και οι Εικόνες 3 έως 7 δείχνουν τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Πίνακας 2. Συνοπτικά αποτελέσματα για μια καλοκαιρινή ημέρα (16 Ιουνίου)

Φυσικό Μέγεθος	*Μονάδες*	*Τιμή*
Ηλιακή ενέργεια	Wh/d m^2	7058
Ενέργεια από φωτοβολταϊκή συστοιχία	Wh/d	2609
Ενέργεια προς κινητήρα-αντλία	Wh/d	1942
Όγκος αντλούμενου νερού	*l*/d	2376
Ενέργεια από συστοιχία ανά kWp	kWh/d.kWp	3.9
Μέση απόδοση φωτοβολταϊκής συστοιχίας	%	6.6
Μέση απόδοση αναστροφέα	%	74
Μέσος συντελεστής ισχύος	%	68
Απόδοση κινητήρα-αντλίας	%	32
Συνολική απόδοση συστήματος	%	1.6

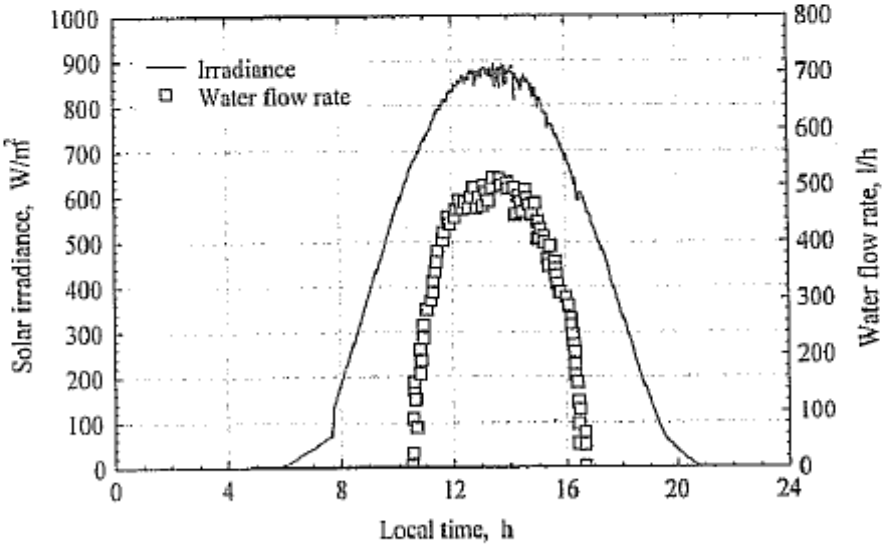
Η σχετικά χαμηλή μέση αποδοτικότητα εξηγείται από το γεγονός ότι η λειτουργία της αντλίας παρουσίαζε υψηλές τριβές το οποίο γεγονός είχε επίσης ως αποτέλεσμα να μην εκκινεί σε χαμηλές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας.

Η Εικ. 3 δείχνει τη σχέση μεταξύ έντασης ηλιακής ακτινοβολίας και παροχής της αντλίας. Στην Εικ. 3, φαίνεται καθαρά ότι η άντληση ξεκινάει όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας υπερβεί την τιμή των 650 W/m^2 και σταματάει όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας πέσει κάτω από την τιμή των 580 W/m^2. Η παροχή νερού αυξάνεται προοδευτικά από 25 *l*/h μέχρι 510 *l*/h ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.



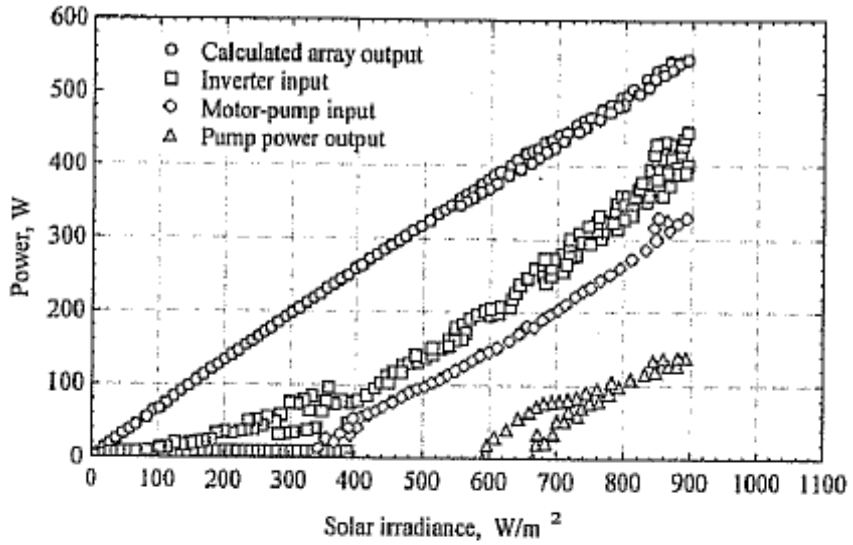
Εικόνα 3. Παροχή νερού ως συνάρτηση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας

Η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της αντλούμενης ποσότητας νερού στη διάρκεια της ημέρας φαίνεται στην Εικ. 4, όπου φαίνεται καθαρά ότι η αντλούμενη ποσότητα του νερού ακολουθεί την μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας.



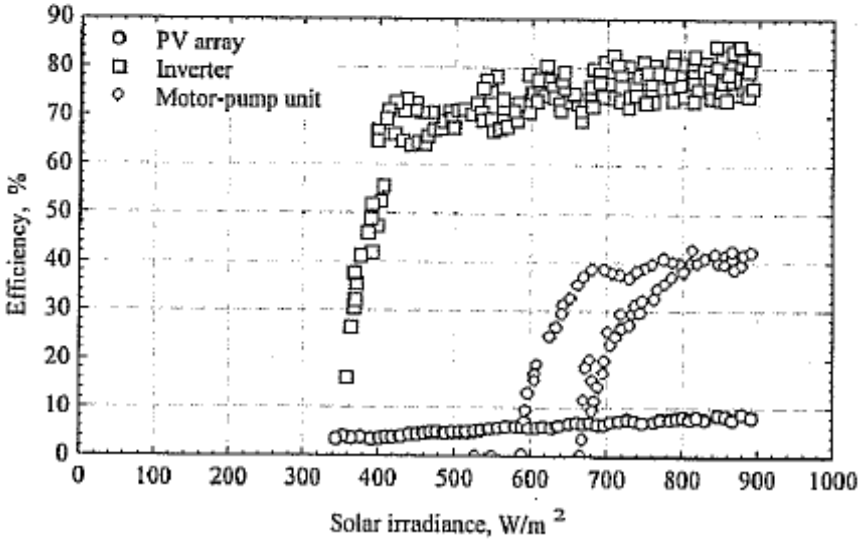
Εικ. 4. Μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της αντλούμενης ποσότητας νερού στη διάρκεια της ημέρας

Η μέγιστη υπολογισμένη ισχύς της συστοιχίας (Εξ. 1), η ισχύς (dc) που εισέρχεται στον αναστροφέα, η ενεργός ισχύς στον κινητήρα και η αποδιδόμενη ισχύς από την αντλία φαίνονται στην Εικ. 5.

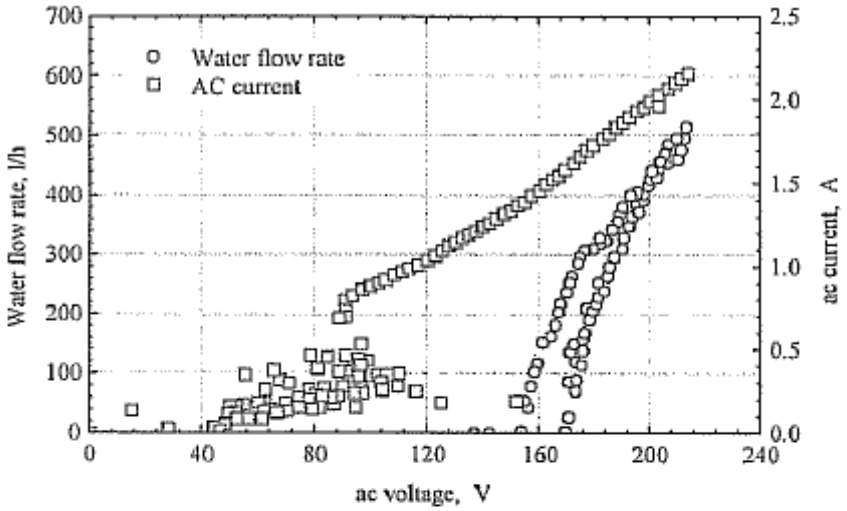


Εικ. 5. Υπολογισμένη μέγιστη ισχύς συστοιχίας, ισχύς στον αναστροφέα, ενεργός ισχύς στον κινητήρα και αποδιδόμενη ισχύς αντλίας ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

Φαίνεται καθαρά στην Εικ. 5 ότι όσο αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία τόσο αυξάνεται η εισερχόμενη ισχύς στον αναστροφέα όσο και στον κινητήρα. Επίσης φαίνεται στην Εικ. 5 ότι η αντλία ξεκινά να αντλεί νερό όταν η ενεργός ισχύς ξεπεράσει περίπου την τιμή των 180 W. Η υπολογισμένη απόδοση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας (Εξ. 1), φαίνεται στην Εικ. 6.



Εικ. 6. Αποδόσεις φωτοβολταϊκής συστοιχίας, αναστροφέα και κινητήρα-αντλίας



Εικ. 7. Παροχή νερού και ρεύματος ac ως συνάρτηση της τάσης ac

Τέλος στην Εικ. 7, φαίνεται η μεταβολή της παροχής και του ρεύματος ac του κινητήρα ως συνάρτηση της τάσης ac. Στην Εικ. 7 φαίνεται καθαρά ότι ο κινητήρας εκκινεί ομαλά χωρίς να απαιτεί υψηλό ρεύμα εκκίνησης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δοκιμές απέδειξαν ότι ο τύπος του φωτοβολταϊκού αντλητικού συστήματος που αναπτύχθηκε μπορεί να αποτελέσει μια καλή εναλλακτική λύση στα συστήματα που υπάρχουν σήμερα στο εμπόριο. Όμως το σύστημα χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση ώστε να αυξηθεί η συνολική του απόδοση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Project ICOP-DEMO-2154-96 Final Report: Development of a water pumping system for remote areas.

ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙ: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΗΛ. ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Α. Μαρκινός[1], Θ. Γέμτος[1],
Λ. Τούλιος[2], Δ. Πατέρας[2], Γ. Ζέρβα[2] και Μ. Παπαοικονόμου[3]
[1]: Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Παν. Θεσσαλίας, e-mail: gemtos@agr.uth.gr,
[2]: ΕΘΙΑΓΕ / ΙΧΤΕΛ, Θεοφράστου 1, Λάρισα, e-mail: nagref@lar.forthnet.gr,
[3]: Παπαοικονόμου Αγροχημικά ΑΒΕΕ, e-mail: m.papaeconomou@pap-agro.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη των χαρτών παραγωγής βαμβακιού επί δύο χρόνια στην Ελλάδα έδειξε μεγάλη μεταβλητότητα της παραγωγής μέσα στο ίδιο χωράφι. Ακόμη και σε αγροτεμάχια μικρής έκτασης, ζώνες διαφορετικής παραγωγής είναι εμφανείς. Οι συστηματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή αφορούν τη δομή και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, που καθορίζουν άμεσα την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε κάθε σημείο του χωραφιού. Στην παρούσα εργασία συσχετίζονται οι χάρτες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της παραγωγής με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων που θα βοηθήσουν στη λεπτομερέστερη διαχείριση των χωραφιών.

Λέξεις κλειδιά: Γεωργία Ακριβείας, βαμβάκι, αγωγιμότητα, παραγωγή, χαρτογράφηση

PRECISION FARMING IN COTTON: CORRELATING YIELD AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY MAPS

A. Markinos[1], T. Gemtos[1],
L. Toulios[2], D. Pateras[2], G. Zerva[2] and M. Papaeconomou[3]
[1]: Agricultural Machinery Laboratory, Univ. of Thessaly, e-mail: gemtos@agr.uth.gr,
[2]: NAGREF / ISM, Theofrastou 1, Larissa 41335, e-mail: nagref@lar.forthnet.gr,
[3]: Papaeconomou Agrochemicals SA, e-mail: m.papaeconomou@pap-agro.gr

ABSTRACT

A two years study on cotton yield maps in Greece showed serious infield variability. Even in small area fields there were distinctive zones of equal yield. Yield affected straightforward by systematic factors relative to the soil structure, physical and chemical properties, which specifying the electrical conductivity value at every field point. The present study correlates the yield with electrical conductivity maps and trying to find out ways to guide a more precise management of cotton fields.

Keywords: Precision Agriculture, cotton, mapping, electrical conductivity, yield, GIS

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόοδος που συντελείται τα τελευταία χρόνια στους κλάδους της ηλεκτρονικής και των υπολογιστών, δεν θα μπορούσε να μην επηρεάσει παραδοσιακούς τομείς της οικονομίας όπως αυτόν της γεωργίας. Μια νέα τάση που φαίνεται να κερδίζει συνεχώς έδαφος είναι η Γεωργία Ακριβείας. Πρόκειται για μια ιδέα που στην πραγματικότητα δεν είναι καινούργια. Από παλιά, η μεταβλητότητα των παραμέτρων του εδάφους και της καλλιέργειας είχε ωθήσει πολλούς γεωργούς να ακολουθούν διαφορετικές καλλιεργητικές φροντίδες σε χωριστές περιοχές του κάθε χωραφιού με σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση. Βέβαια, αυτό γινόταν σχετικά εύκολα λόγω του μικρού μεγέθους των εκμεταλλεύσεων και της μορφής των εργασιών που ήταν ως επί το πλείστον χειρονακτικές. Με την μεγέθυνση των εκμεταλλεύσεων και την εντατική εκμηχάνιση είναι πλέον πολύ δυσκολότερη η διαχείριση της μεταβλητότητας των παραμέτρων μέσα στο ίδιο χωράφι χωρίς τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών [1].

Η γεωργία ακριβείας προτάσσει ένα νέο τρόπο διαχείρισης των αγροκτημάτων εκμεταλλευόμενη την πρόοδο στους τομείς των αισθητήρων, των συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού θέσης και διαχείρισης πληροφοριών, τις τηλεπικοινωνίες και των φορητών υπολογιστικών συστημάτων, ώστε να αποτυπώσει όσο το δυνατόν καλύτερα τη μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους και της καλλιέργειας τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Απώτερος στόχος της γεωργίας ακριβείας είναι να προσαρμόσει όλες τις καλλιεργητικές φροντίδες και αποφάσεις στην κλίμακα αυτής της μεταβλητότητας. [2, 3].

Σήμερα, η τεχνολογία έχει φτάσει σε ικανοποιητικό σημείο ώστε να μας προσφέρει τη δυνατότητα μέτρησης ενός μεγάλου πλήθους παραμέτρων. Η έρευνα αυτή τη στιγμή έχει εστιαστεί περισσότερο στο συνδυασμό όλων αυτών των παραμέτρων χωρικά και χρονικά και πως όλα αυτά θα καταλήξουν σε εφαρμόσιμες αποφάσεις, και θα αποφέρουν κέρδος στον παραγωγό πέρα από την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων [4, 5].

Όσο μεγαλύτερη είναι η μεταβλητότητα της παραγωγής σ' ένα χωράφι, τόσο πιο επιτυχής κρίνεται μια διαχείριση με βάση τους κανόνες της γεωργίας ακριβείας. Αντίθετα, σ' ένα τελείως ομοιόμορφο χωράφι από πλευράς παραγωγής και εδαφολογικών παραμέτρων μια τέτοια διαχείριση κρίνεται αναποτελεσματική. Επομένως, βασικό κριτήριο για την εφαρμογή αυτής της ακριβέστερης διαχείρισης είναι η μεταβλητότητα της παραγωγής και ο τρόπος που αυτή κατανέμεται στην έκταση του κάθε χωραφιού σε μια ακολουθία ετών.

Από μετρήσεις που έγιναν σε καλλιέργεια βαμβακιού στη χώρα μας και σε αγροτεμάχια της Κεντρικής Ελλάδας, προέκυψε ότι σε πολλά αγροτεμάχια υπάρχουν διαφορές στην παραγωγή που μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ζώνες διαφορετικής παραγωγής [6]. Οι διαφορές αυτές οφείλονται είτε σε τυχαίους, είτε σε συστηματικούς παράγοντες. Οι τυχαίοι αφορούν τα μετεωρολογικά δεδομένα, τις διάφορες ασθένειες και εχθρούς που για κάθε χρονιά διαφέρουν. Οι συστηματικοί παράγοντες αφορούν ιδιότητες κυρίως του εδάφους όπως οι

φυσικές και χημικές ιδιότητες και η μηχανική του σύσταση.

Τα αποτελέσματα ερευνών σε αναπτυγμένες χώρες έδειξαν ότι μεταβλητότητα του εδάφους εμφανίζεται σε όλες τις κλίμακες από μια ολόκληρη περιοχή ακόμη και σε απόσταση μερικών εκατοστών μέσα στο ίδιο χωράφι. Οι Bouma και Finke [7] διαίρεσαν τη μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους σε κάποιες βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι η στατική μεταβλητότητα χαρακτηριστικών όπως είναι η δομή του εδάφους και η οργανική ουσία. Η δεύτερη αφορά τη δυναμική μεταβλητότητα χαρακτηριστικών όπως η υγρασία και θερμοκρασία. Η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών αυτών έχει άμεση σχέση με τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στο χωράφι, αλλά η μεταβλητότητα των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών θεωρείται σημαντική για τους ερευνητές διότι πιθανόν να αποτελούν την κύρια αιτία της μεταβλητότητας της παραγωγής.

Συνεπώς, η αποτύπωση (χαρτογράφηση) των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του κάθε χωραφιού σ' όλη του την έκταση αποτελεί μια βασική δραστηριότητα της γεωργίας ακριβείας. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, χρησιμοποιείται η τεχνική της δειγματοληψίας σε ισαπέχοντα σημεία πλέγματος (grid sampling). Συνήθως γίνεται προσπάθεια το πλέγμα αυτό να είναι όσο το δυνατόν πυκνότερο [7], ώστε να προκύψουν αξιόπιστοι χάρτες. Κάτι τέτοιο όμως απαιτεί αρκετή εργασία και επιβαρύνει την όλη διαδικασία χρονικά και κυρίως οικονομικά. Δημιουργείται έτσι η ανάγκη να αποτυπώνεται η μεταβλητότητα του εδάφους πριν τη λήψη και ανάλυση δειγμάτων, ώστε στη συνέχεια να παίρνονται και να αναλύονται δείγματα από συγκεκριμένα σημεία που θα αντιπροσωπεύουν μια ευρύτερη ζώνη διαχείρισης [8]. Ζώνη διαχείρισης είναι η περιοχή στην οποία εκφράζεται ένας σχετικά ομογενής συνδυασμός περιοριστικών παραγόντων ως προς την παραγωγή, ενώ παράλληλα απαιτεί έναν σταθερό ρυθμό εφαρμογής κάποιου αγροεφοδίου. Η επιλογή των σημείων με τον τρόπο αυτό αναφέρεται ως κατευθυνόμενη δειγματοληψία (directed sampling).

Σήμερα, μια από τις απλούστερες και οικονομικότερες μετρήσεις παραμέτρων του εδάφους που χρησιμοποιείται στη γεωργία ακριβείας είναι αυτή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_a). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ενοποιεί ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή μιας καλλιέργειας. Στους παράγοντες αυτούς περιλαμβάνεται η περιεκτικότητα σε νερό, η δομή του εδάφους [9], η οργανική ουσία [10], το βάθος σκληρού ορίζοντα, CEC [11], αλατότητα καθώς και τα ανταλλάξιμα ασβέστιο και μαγνήσιο [12]. Η μεταβλητότητα όλων αυτών των παραγόντων στην έκταση του χωραφιού είναι πιθανόν να προκαλεί την αντίστοιχη μεταβλητότητα της παραγωγής. Επομένως η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σ' ένα χωράφι πιθανόν να σχετίζεται με τη χαρτογράφηση της μεταβλητότητας του εδάφους και μπορεί να γίνει εύκολα με την προσαρμογή μιας συσκευής μέτρησης αγωγιμότητας πάνω σε παρελκυόμενο όχημα και την προσαρμογή ενός δέκτη εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS).

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει κάποια αποτελέσματα από την εφαρμογή χαρτογράφησης της παραγωγής βαμβακιού και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε

αγροτεμάχια της Κεντρικής Ελλάδας και επιχειρεί να προσεγγίσει μια πιο λεπτομερή διαχείριση των χωραφιών μέσα από τη συσχέτιση των αντίστοιχων χαρτών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η χαρτογράφηση της παραγωγής στο βαμβάκι έγινε επί δύο συναπτά έτη, τη συλλεκτική περίοδο του 2001 και του 2002 με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού που εγκαταστάθηκε σε βαμβακοσυλλεκτική μηχανή παραγωγού στην περιοχή της Καρδίτσας. Το όλο σύστημα προέρχεται από την εταιρία Farmscan® και αποτελείται από δύο ζεύγη υπέρυθρων αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής που προσαρμόζονται στους δύο αγωγούς (μπουριά) μεταφοράς του βαμβακιού από τις μονάδες συλλογής στο καλάθι, την κεντρική μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης (Canlink), κάποιους βοηθητικούς αισθητήρες ελέγχου και την κεραία του GPS [6].

Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής στηρίζεται στη δημιουργία μιας υπέρυθρης δέσμης φωτός μεταξύ πομπού και δέκτη του κάθε ζεύγους, η οποία διακόπτεται με το πέρασμα του βαμβακιού [13]. Από την «προβολή» του βαμβακιού που διακόπτει τη δέσμη το σύστημα υπολογίζει τον όγκο του βαμβακιού που συλλέγεται. Υπάρχει κάποιος παράγοντας μετατροπής (calibration factor) που η τιμή του εξαρτάται από τη συλλεγόμενη ποικιλία και τις συνθήκες συλλογής (υγρασία). Σε κάθε χωράφι πρέπει να γίνεται βαθμονόμηση με την ακριβή ζύγιση ενός συλλεγόμενου καλαθιού και την εισαγωγή της σωστής τιμής στο σύστημα.

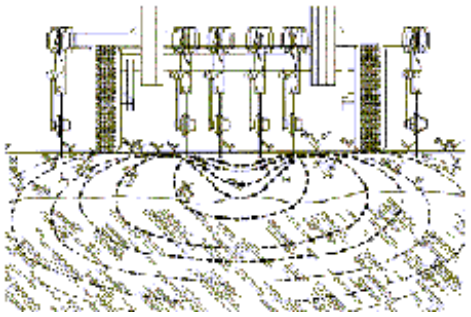
Τα δεδομένα της παραγωγής αποθηκεύονται σε μια κάρτα SRAM που βρίσκεται σε κατάλληλη σχισμή στην κεντρική μονάδα. Μετά το πέρας της συλλογής η κάρτα τοποθετείται σε μια θύρα PCMCIA φορητού υπολογιστή για τη μεταφορά των δεδομένων σε λογισμικό GIS για την περαιτέρω επεξεργασία, ώστε να προκύψει τελικά ο χάρτης παραγωγής για το κάθε χωράφι.

Στα χωράφια που χαρτογραφήθηκε η παραγωγή έγινε την άνοιξη του 2002 και πριν τη σπορά, η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ιδιότητα ενός υλικού να μεταφέρει ηλεκτρικά φορτία. Είναι μια εγγενής ιδιότητα του υλικού και η χρησιμότητά της στηρίζεται στο γεγονός ότι αμμώδη εδάφη (sandy) έχουν μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα ιλυώδη (silty) μέτρια, ενώ τα αργιλώδη (clay) μεγάλη.

Οι δύο κυριότερες μέθοδοι για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους είναι με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή (EMI) ή με απευθείας επαφή. Οι μέθοδοι της επαφής χρησιμοποιούν τουλάχιστον τέσσερα ηλεκτρόδια που βρίσκονται σε φυσική επαφή με το έδαφος δημιουργώντας διαφορά δυναμικού ανάμεσά τους και μέσω του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου μετράται η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Σχήμα 1). Με την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή δεν υπάρχει επαφή, αλλά άντ' αυτού ένα πηνίο εκπομπής επαγάγει ένα πεδίο στο έδαφος κι ένα δεύτερο πηνίο λήψης μετρά την αντίδραση (Geonics) [14]. Οι δύο μέθοδοι δίνουν όμοια αποτελέσματα [14]. Η μέτρηση με επαφή πλεονεκτεί

επειδή δεν απαιτεί βαθμονόμηση, ενώ μειονεκτεί στην εφαρμογή αφού προκαλεί ανατάραξη του εδάφους.

Στην παρούσα εργασία για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε παρελκυόμενο όχημα από την εταιρία Veris® που στηρίζεται στη μέθοδο της φυσικής επαφής και φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Συσκευή μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με φυσική επαφή από τη Veris®

Κατά την κίνηση του οχήματος στο χωράφι ένα ζεύγος ηλεκτροδίων δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο στο έδαφος, ενώ το άλλο ζεύγος ηλεκτροδίων μετρά την αντίσταση του ρεύματος και κατά συνέπεια την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το κάθε ηλεκτρόδιο έχει τη μορφή αιχμηρού κυλιόμενου δίσκου ώστε να μπορεί να βυθίζεται στο έδαφος μερικά εκατοστά ενώ ταυτόχρονα να περιστρέφεται. Τα ηλεκτρόδια δημιουργούν πεδίο που φτάνει σε βάθος μέχρι 90 εκατοστά στο έδαφος. Το όλο σύστημα συμπληρώνεται με μια κεντρική μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης που γαιοδένει την κάθε μέτρηση με χρήση GPS. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καταγραφή μιας ζώνης πλάτους μέχρι 20 μέτρα με ταχύτητα που μπορεί να φτάσει τα 12 χλμ/Ώρα αντιστοιχώντας έτσι από 4 μέχρι 10 μετρήσεις στο στρέμμα. Στην παρούσα εργασία η καταγραφή έγινε σε ζώνη πλάτους 4 μέτρων και με ταχύτητα περίπου 5 χλμ/Ώρα, ενώ χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 3100 που μετρά ταυτόχρονα την ηλεκτρική αγωγιμότητα από 0-30 εκατοστά και από 0-90 εκατοστά.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και οι συσχετίσεις μεταξύ των χαρτών έγιναν με GIS λογισμικό και πιο συγκεκριμένα με το SST® Toolbox που αποτελεί ένα από τα πακέτα που εξειδικεύονται για χρήση στη γεωργία ακριβείας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή έχει κινήσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Στην Αμερική έρευνες έδειξαν ότι υπάρχει σοβαρή συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή κυρίως στα σιτηρά [15]. Τα δεδομένα της παραγωγής και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

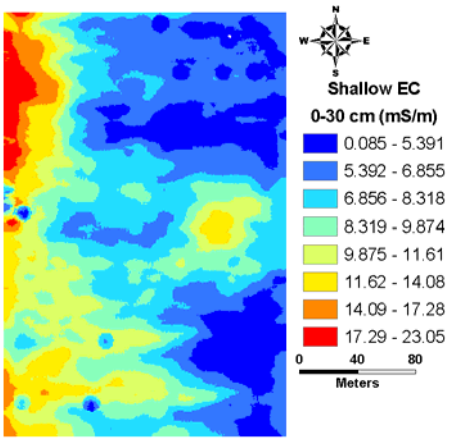
κατά τη φάση της επεξεργασίας υπέστησαν κατάλληλο μετασχηματισμό, ώστε να μορφοποιηθούν και αποτυπωθούν χωρικά δίνοντας τις αντίστοιχες ζώνες (median, kriging). Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης για ένα αγροτεμάχιο 43 στρεμμάτων φαίνονται στα σχήματα 2, 3 για την ηλεκτρική αγωγιμότητα, στο σχήμα 4 για την παραγωγή το 2001 και στο σχήμα 5 για το 2002. Σε μια πρώτη προσέγγιση παρατηρείται ότι υπάρχει σοβαρή χωρική παραλλακτικότητα (variability) των τιμών τόσο της παραγωγής όσο και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Παράλληλα και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ζώνες στις οποίες οι αντίστοιχες τιμές είναι σταθερές, γεγονός που δείχνει ότι μια λεπτομερέστερη και διαφορετική διαχείριση σε κάθε ζώνη μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αποτελεί συνάρτηση ενός συνόλου παραμέτρων του εδάφους που επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή, επομένως μια χαρτογράφηση της παραλλακτικότητάς της μπορεί να οδηγήσει στην ομαδοποίηση και χαρτογράφηση των ζωνών του χωραφιού με τα ίδια χαρακτηριστικά. Παράλληλα ωθεί στην υιοθέτηση νέας μεθοδολογίας στη λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους με σκοπό την ανάλυση, καθώς φαίνεται ότι ένα δείγμα από κάθε ζώνη αντιπροσωπεύει όλη την έκτασή της (κατευθυνόμενη δειγματοληψία).

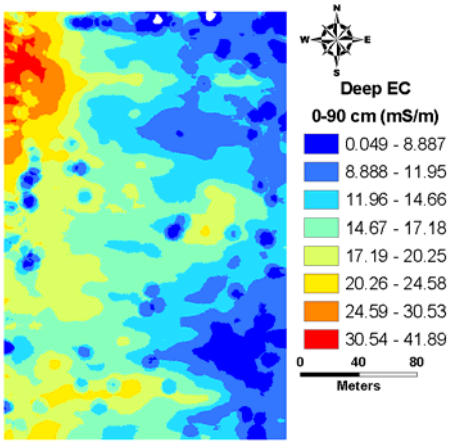
Εδώ, αν συγκριθούν οπτικά οι χάρτες φαίνεται σε μια πρώτη προσέγγιση ότι υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση της επιφανειακής ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή του 2001. Το λογισμικό εδώ έδωσε ένα συντελεστή προσδιορισμού R^2 ίσο με 0,38. Ο αντίστοιχος συντελεστής για το έτος 2002 ήταν 0,14. Η σύγκριση των χαρτών παραγωγής των δύο ετών μεταξύ τους δίνει έναν συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 0,45 ενώ η σύγκριση μεταξύ των δύο χαρτών αγωγιμότητας μεταξύ τους δίνει συντελεστή ίσο με 0,89.

Η διαφορά στη συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής των δύο ετών φαίνεται ότι οφείλεται στις εντελώς διαφορετικές καιρικές συνθήκες των δύο ετών που αποτελούν τον τυχαίο περιοριστικό παράγοντα σε πολλά σημεία του χωραφιού. Πιο συγκεκριμένα το 2001 χαρακτηρίσθηκε σαν μια από τις πολύ ξηρές (ανομβρία) χρονιές ενώ αντίθετα το 2002 σαν μια από τις πιο υγρές (έντονες βροχοπτώσεις), γεγονός που ειδικά στην παραγωγή βαμβακιού είχε μεγάλη επίδραση.

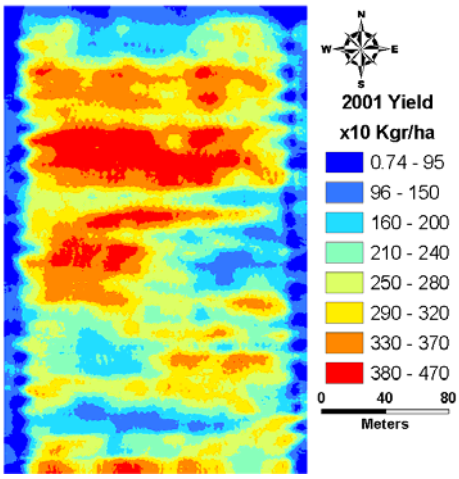
Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και η συσχέτισή της με τους χάρτες παραγωγής θα μπορούσε με λεπτομερέστερη έρευνα και σε διαδοχικά έτη να εξηγήσει την επιρροή των συστηματικών παραγόντων του εδάφους στη διαμόρφωση της τελικής παραγωγής. Παράλληλα φαίνεται ότι μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή των ζωνών διαχείρισης ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.



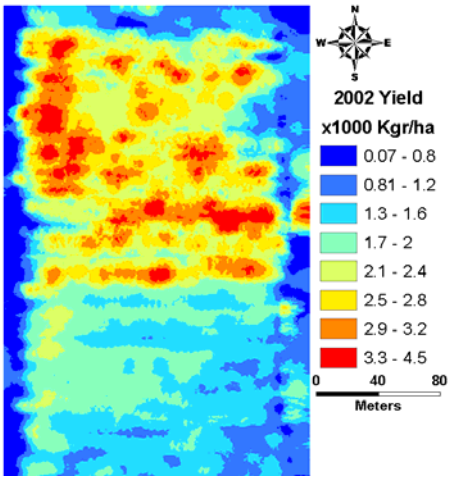
Σχήμα 2. Ο χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας 0-90εκ. για το χωράφι των 43στρ. (30/04/02)



Σχήμα 3. Ο χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας 0-30εκ. για το χωράφι των 43στρ. (30/04/02)



Σχήμα 4. Ο χάρτης παραγωγής βαμβακιού έτους 2001 (43στρ) (13/10/01)



Σχήμα 5. Ο χάρτης παραγωγής βαμβακιού έτους 2002 (43στρ) (25/10/02)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Stafford, J.V., 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76: 267-275.
2. Papaeconomou, M., 2002. Implementation of a complete Precision Farming Decision-Making System in Greek Farms. *Proceedings of the 1st HAICTA Conference*, Athens, 6-7 June 2002: 56-62.
3. Whelan, B.M., McBratney, A.B., Boydell, B.C., 1997. The Impact of Precision Agriculture. *Proceedings of the ABARE Outlook Conference, 'The Future of Cropping in NW NSW'*, Moree, UK, July 1997: 5.
4. Gemtos, T., Fountas, S., Blackmore, B.S., Greipentrog, H.W., 2002. Precision farming experience in Europe and the Greek potential. *Proceedings of the 1st HAICTA Conference*, Athens, 6-7 June 2002: 45-55.
5. Zhang, N., Wang, M., Wang, N., 2002. Precision agriculture – a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. 36: 113-132.
6. Markinos, A.T., Gemtos, T.A., Toulios, L., Pateras, D., Zerva, G., 2002. Yield Mapping of Cotton crop in Greece. *Proceedings of the 1st HAICTA Conference*, Athens, 6-7 June 2002: 56-62.
7. Bouma, J., Finke, P.A., 1993. In : Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.F. (Eds.), Origin and Nature of Soil Resource Variability. *Soil Specific Crop Management. ASA, CSSA, SSSA*, Madison, WI, pp. 3-14.
8. Lund, E.D., Christy, C.D., 1998. Using Electrical Conductivity To Provide Answers For Precision Farming. *Proceedings of the 1st International Conference Geospatial Information in Agriculture and Forestry*, Orlando Florida, 1998.
9. Williams, B., Hoey, D., 1987. The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay content of soils. Australian Journal Soil Research, 25: 21-27.
10. Janes, D.B., Novak, J.M., Moorman, T.B., Cambardella, C.A., 1994. Estimating Herbicide Partition Coefficients from Electromagnetic Induction Measurements. Journal of Environmental Quality, 24: 36-41.
11. McBride, R.A., Gordon, A.M., Shrive, S.C., 1990. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. Soil Science Society of America Journal, 54: 290-293.
12. Lund, E.D., Christy, C.D., Drummond, P.E., 1999. Practical applications of soil electrical conductivity mapping. *Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture*, July, 1999.
13. Wallace, T.P., 1999. Small plot evaluation of an electro-optical cotton yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture, 23: 1-8.
14. Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Drummond, S.T., 1998. Soil conductivity sensing on claypan soils: comparison of electromagnetic induction and direct methods. *Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture*: 979-990. (13)
15. Lund, E.D., Christy, C.D., Drummond, P.E., 2000. Using Yield and Soil Electrical Conductivity (EC) Maps to Derive Crop Production Performance Information. *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture*, 2000.

ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ: ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΝΟΤΙΑ ΕΥΡΩΠΗ

Θ.Α. Γέμτος*, Σπ. Φουντάς**, Α. Μαρκινός*, S. Blackmore**

*Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία, 38446 Μαγνησία e-mail: gemtos@agr.uth.gr
**Βασιλικό Κτηνιατρικό και Γεωργικό Πανεπιστήμιο, Κοπενχάγη, Δανία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια παρουσίαση των συστημάτων γεωργίας ακριβείας και των δυνατοτήτων εφαρμογής τους στις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα και γενικότερα στις χώρες του Ευρωπαϊκού Νότου. Παρουσιάζονται πρώτα αποτελέσματα εφαρμογών χαρτογράφησης παραγωγής σε καλλιέργεια βαμβακιού στη χώρα μας που παρουσιάζουν σημαντική παραλλακτικότητα παραγωγής που μπορεί να δημιουργήσει ζώνες διαχείρισης ακόμα και σε αγροτεμάχια 4 εκταρίων. Παρουσιάζονται πιθανά οφέλη για την γεωργία από την εφαρμογή συστημάτων γεωργίας ακριβείας.

Λέξεις κλειδιά: Γεωργία ακριβείας,, Χαρτογράφηση Παραγωγής Εφαρμογές στην Ελλάδα, Αποδοτικότητα

PRECISION FARMING: APPLICATION POTENTIAL IN GREECE AND IN SOUTHERN EUROPE

T.A. Gemtos*, Sp. Fountas**, A. Markinos*, S. Blackmore**

*Laboratory of Farm Mechanization, University of Thessaly, Greece, e-mail: gemtos@agr.uth.gr
** Royal Veterinary and Agricultural University of Denmark, Copenhagen, Denmark

ABSTRACT

In the present work an attempt was made to present the systems of precision agriculture and their potential to be applied in Greece and in the countries of Southern Europe. The first data of the application of yield mapping in cotton crop in Greece are presented, which show a large variability in yield giving distinct zones for variable rate applications even in fields of 4 ha. Finally possible benefits to the farm management from the applications of precision agriculture are presented.

Key words: Precision Farming, Yield Mapping, Applications in Greece, Profitability

1. Εισαγωγή

Με τον όρο γεωργία ακριβείας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής διαφοροποίησης των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την ορθολογική χρήση των εισροών [1]. Είναι επομένως ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων το οποίο χρησιμοποιώντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά εφαρμοσμένα στη γεωργία, βοηθά το γεωργό στη λήψη αποφάσεων για τη καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος [2]. Ο όρος καλύτερη διαχείριση μπορεί να σημαίνει βελτίωση της οικονομικής απόδοσης του αγροκτήματος είτε με αύξηση της παραγωγής είτε με μείωση των εισροών είτε με βελτίωση των τυχόν αρνητικών επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους, είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών για κάθε τμήμα του αγρού.

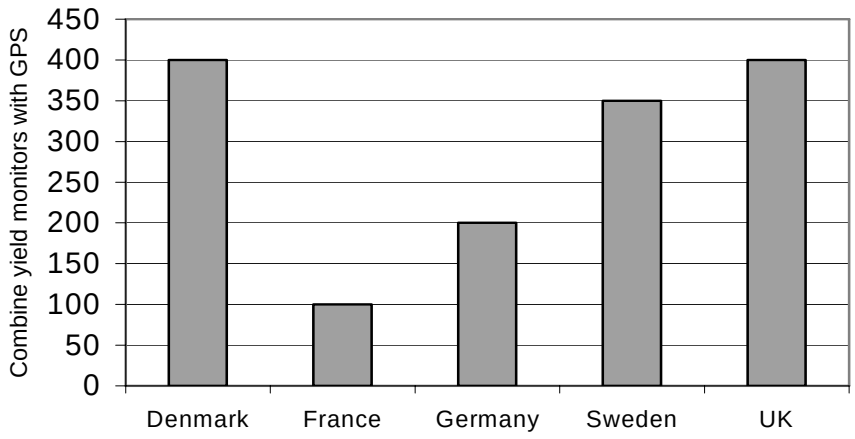
Υπό αυτή την έννοια τα συστήματα γεωργίας ακριβείας αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 80 και στη δεκαετία του 1990 [3]. Σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη των συστημάτων γεωργίας ακριβείας δόθηκε από την εφαρμογή για πρώτη φορά των αισθητήρων χαρτογράφησης της παραγωγής που εφαρμόστηκαν από την εταιρεία Massey Ferguson σε θεριζοαλωνιστικές. Τα συστήματα αυτά βελτιώθηκαν στη διάρκεια της δεκαετίας του 90. Σε αυτό συνέβαλε ουσιαστικά η βελτίωση των συστημάτων καθορισμού της θέσης πάνω στην επιφάνεια της γης μέσω σημάτων από δορυφόρους (GPS). Τα συστήματα αυτά εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και δεν ήταν διαθέσιμα για ελεύθερη χρήση μέχρι σχεδόν τις αρχές της δεκαετίας του 1990 [3]. Τα GPS βελτιώθηκαν με άλματα τα τελευταία χρόνια και έχουν καταφέρει να βελτιώσουν την ακρίβεια των στοιχείων σε λίγα μέτρα ενώ συστήματα με βοηθητικούς επίγειους σταθμούς μπορεί να φτάσουν σε ακρίβεια ενός εκατοστού. Σε συνδυασμό με την βελτίωση των ηλεκτρονικών που είναι δυνατόν πλέον να χρησιμοποιηθούν στο αντίξοο περιβάλλον της γεωργίας και μπορούν να δώσουν σημαντικά βελτιωμένα αποτελέσματα.

Ο συνδυασμός μέτρησης της παραγωγής των σιτηρών, της υγρασίας του σπόρου και της θέσης της μηχανής έδωσε τη βάση για δημιουργία χαρτών παραγωγής. Για λίγα χρόνια η έρευνα επικεντρώθηκε στα σιτηρά. Αργότερα άρχισαν να παράγονται αισθητήρες για μια σειρά από άλλες καλλιέργειες όπως βιομηχανική τομάτα [4], ζαχαρότευτλα [5], πατάτα [6], βαμβάκι [7,8,9] κλπ. Τα τελευταία έτη έχουν εμφανιστεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών[10]. Πολλές εφαρμογές, κυρίως σε σιτηρά, έχουν εμπορική εφαρμογή από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 ενώ οι περισσότερες άλλες εφαρμογές άρχισαν στο τέλος της δεκαετίας του 1990 και στις αρχές του 2000.Οι περισσότερες εφαρμογές ξεκίνησαν στις ΗΠΑ και Βρετανία και ακολούθησαν σε άλλες χώρες.

Στη χώρα μας και γενικότερα στον Ευρωπαϊκό Νότο υπάρχει μια καθυστέρηση εφαρμογής των συστημάτων αυτών, ενώ στις ΗΠΑ ο αριθμός κυμαίνεται γύρω στους 28.000 (Σχήμα 1). Αυτό αποδίδεται στις επικρατούσες συνθήκες στην Ελλάδα αλλά και γενικότερα στον Ευρωπαϊκό Νότο που χαρακτηρίζονται:

1. Από μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις
2. Από γεωργούς με χαμηλό μορφωτικό επίπεδο
3. Από γεωργούς προσκολλημένους σε παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής
4. Από γεωργούς προσκολλημένους σε επιδοτήσεις των προϊόντων
5. Για τις καλλιέργειες του Ευρωπαϊκού Νότου κυρίως για τα φρούτα και λαχανικά δεν υπάρχει αναπτυγμένη τεχνολογία εφαρμογής των μεθόδων γεωργίας ακριβείας

Ερωτήματα που τίθεται είναι ποιες οι προοπτικές εφαρμογής των νέων τεχνικών διαχείρισης στην Ελλάδα και στον Ευρωπαϊκό Νότο, ποιες ωφέλειες μπορούν να προκύψουν από ενδεχόμενη εφαρμογή και με ποιο πιθανό κόστος. Στα ερωτήματα αυτά προσπαθεί να απαντήσει η παρούσα εργασία.



Σχήμα 1. Πωλήσεις συστημάτων χαρτογράφησης παραγωγής με βάση στοιχείων εταιρειών παραγωγής τους.

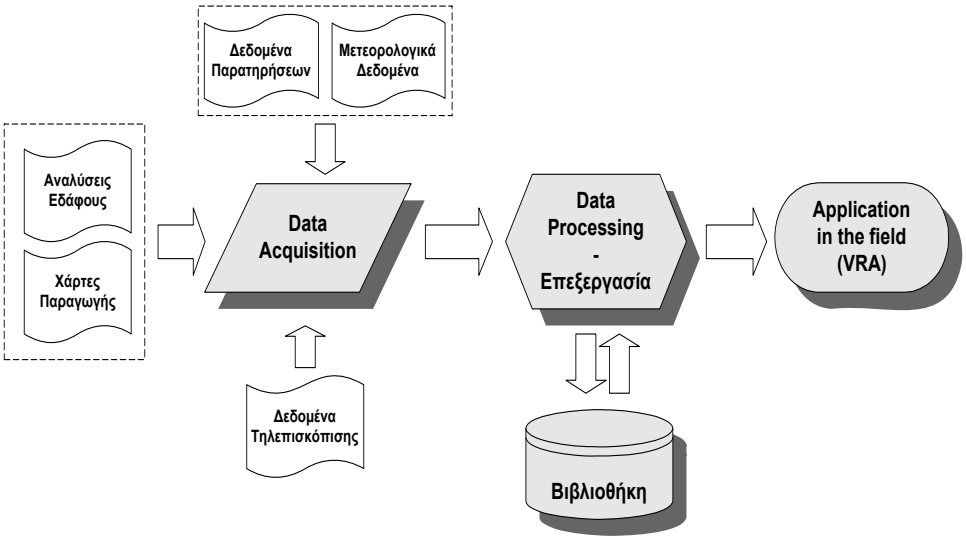
2. Η Γεωργία Ακριβείας σήμερα

Η εφαρμογή ενός γενικού συστήματος γεωργίας ακρίβειας μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις [11]:

1. Συλλογή δεδομένων (Data Acquisition),
2. Επεξεργασία (Data Processing),
3. Εφαρμογή αποτελεσμάτων (Application).

Μια γραφική αναπαράσταση του συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 2 [11].

Η λήψη στοιχείων παραγωγής δεν επιτρέπει την άμεση δημιουργία χαρτών παραγωγής με πρακτική χρησιμότητα. Διότι τα σημειακά στοιχεία παραγωγής



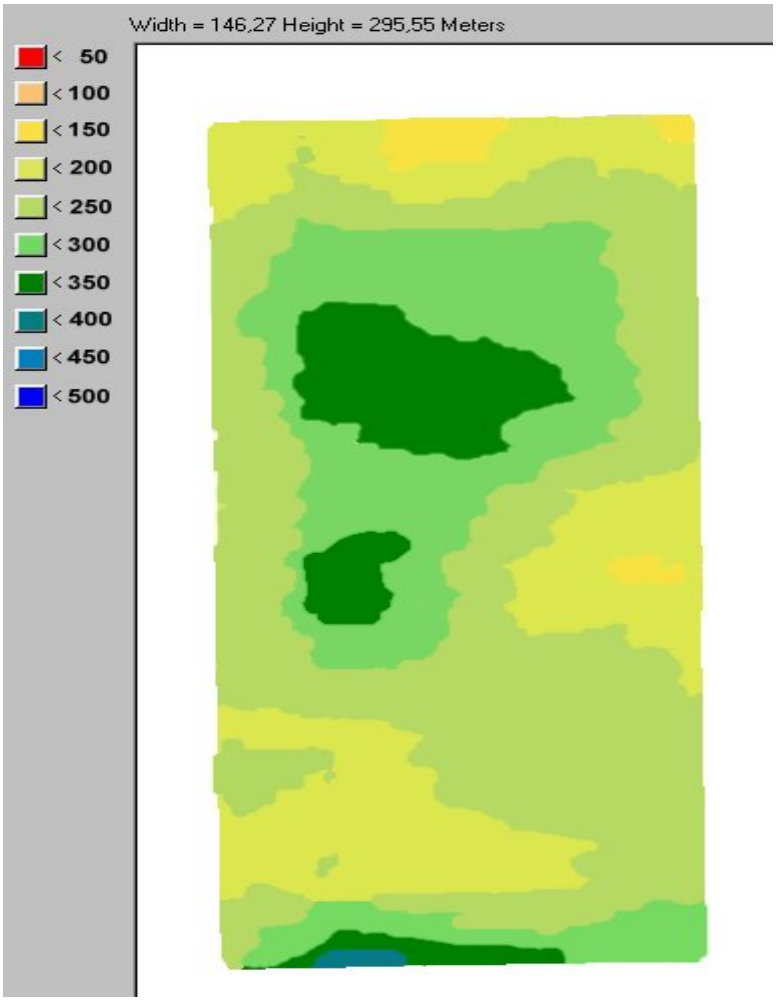
Σχήμα 2. Γενικό σύστημα γεωργίας ακρίβειας

π.χ. κάθε 5 μέτρα δεν δίνουν αξιοποιήσιμα στοιχεία. Για αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές για δημιουργία χαρτών με ζώνες παραγωγής που δίνουν στοιχεία πρακτικά αξιοποιήσιμα. Τέτοιες τεχνικές όπως είναι η χρήση μέσων όρων ή η κανονικοποίηση των στοιχείων ώστε να εμφανίζονται ως ποσοστά μιας παραγωγής, βοηθούν στην δημιουργία χαρτών με πρακτικά αξιοποιήσιμα στοιχεία. [12]. Οι χάρτες παραγωγής πρέπει να αναλυθούν για να δώσουν αξιοποιήσιμα στοιχεία για τη διαχείριση αγροκτημάτων. Τα στοιχεία της βιβλιογραφίας είναι σχετικά περιορισμένα και έχουν δημοσιοποιηθεί τα τελευταία έτη. Οι Taylor και άλλοι [12] μελέτησαν χάρτες παραγωγής καλαμποκιού για σειρά ετών στις ΗΠΑ. Διαπίστωσαν ότι στα στοιχεία κάθε έτους παρεμβάλλεται ένας << θόρυβος>> που οφείλενται στις ειδικές συνθήκες του κάθε έτους. Επομένως είναι απαραίτητη η ανάλυση της ακολουθίας των χαρτών παραγωγής ώστε να αποκαλυφθούν οι πραγματικές και όχι οι συγκυριακές τάσεις παραγωγής του χωραφιού και να κατανεμηθούν στο χώρο. Είναι προφανές ότι χρειάζεται μια ακολουθία χαρτών παραγωγής για να παραχθούν αξιόπιστα στοιχεία. Με βάση περιγραφές από χρήστες στη Βρετανία, 4 χρόνια συνεχών χαρτογραφήσεων παραγωγής είναι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για να παρθούν αποφάσεις. Οι μεταβολές αυτές της παραγωγής μπορεί να παρακολουθούνται και από τις καλλιέργειες της αμειψισποράς επιτρέποντας την εξαγωγή συναφών στοιχείων [13, 14].

Παρ' όλα τα προβλήματα που παρουσιάζει η ανάλυση των στοιχείων, οι χάρτες παραγωγής παραμένουν η αρχή και το τέλος ενός συστήματος γεωργίας, ακριβείας. Διότι με βάση τους χάρτες παραγωγής θα σχεδιαστεί η λήψη στοιχείων του χωραφιού (αναλύσεις εδάφους, παρακολούθηση φυτών, ανάγλυφο κλπ) και όποιο σύστημα μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων ενώ στο τέλος θα αποτελέσει το κύριο κριτήριο επιτυχίας των επεμβάσεων.

3.Εφαρμογές στην Ελλάδα

Στη χώρα μας η εφαρμογή συστημάτων γεωργίας ακριβείας άρχισε μάλλον καθυστερημένα. Πρώτη γνωστή εφαρμογή χαρτογράφησης παραγωγής έγινε το



Σχήμα 3. Χάρτης παραγωγής βαμβακιού με χαρακτηριστικές ζώνες διαφορετικής παραγωγής (11)

φθινόπωρο του 2001 σε καλλιέργεια βαμβακιού. Τα πρώτα αποτελέσματα από τρεις αγρούς δείχνουν σημαντική παραλλακτικότητα της παραγωγής στο χωράφι που με κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων δίνει χαρακτηριστικές ζώνες παραγωγής [11] και Σχήμα 3. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι εφ' όσον τα αποτελέσματα αυτά επαληθευθούν με εκτενέστερες μετρήσεις τα επόμενα έτη

τότε η παραλλακτικότητα αυτή της παραγωγής αποτελεί στερεή βάση οικονομικά αποδοτικής εφαρμογής μεθόδων μεταβλητής εφαρμογής εισροών.
Ένα σημαντικό ερώτημα το οποίο τίθεται είναι η οικονομικότητα των συστημάτων γεωργίας ακριβείας. Δηλαδή η διερεύνηση της δυνατότητας απόσβεσης του κόστους των αισθητήρων, της τεχνολογίας που χρειάζεται για την παραγωγή των χαρτών καθώς και των τεχνικών δεξιοτήτων που πρέπει να αποκτήσει ο χειριστής ή ο διαχειριστής του συστήματος προκειμένου να παράγει χάρτες παραγωγής και εν συνεχεία να τους αναλύσει για την εφαρμογή στις πραγματικές συνθήκες. Σε εργασία των Godwin και άλλων [15] παρουσιάστηκαν αποτελέσματα από την χρήση συστημάτων γεωργίας ακριβείας στην Βρετανία σε σιτηρά σε συνδυασμό με συστήματα μεταβλητής εφαρμογής αζώτου. Σε ένα φυλλάδιο για τους αγρότες που παρήχθη δίδεται ένα διάγραμμα ροής της σκέψης που πρέπει να ακολουθήσουν οι αγρότες προκειμένου να αποφασιστεί η υιοθέτηση ή όχι ενός τέτοιου συστήματος. Το βασικό στοιχείο που παίζει ρόλο είναι η μεταβλητότητα των συνθηκών του χωραφιού. Σε αγρούς με μεγάλη μεταβλητότητα η δυνατότητα μεταβλητής εφαρμογής αζώτου δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την απόσβεση του εξοπλισμού και των δεξιοτήτων. Αντίθετα σε ομοιόμορφους αγρούς όπου η μεταβλητότητα της παραγωγής είναι μικρή φαίνεται ότι η απόσβεση είναι δύσκολη. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι αισθητήρες όταν παρήχθησαν και διετέθησαν στην αγορά είχαν υψηλό κόστος το οποίο θα μειώνεται σύμφωνα με τη συνολική τάση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που το κόστος τους συνεχώς μειώνεται καθώς διευρύνεται η χρήση τους και αποσβένεται το κόστος της αρχικής έρευνας για την ανάπτυξη τους. Ανάλογα στοιχεία παρουσιάζει ο Heerman [16] για ένα πρόγραμμα στις ΗΠΑ με μεταβλητή εφαρμογή του νερού.

4. Μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες

Είναι προφανές ότι μέχρι σήμερα οι καλλιεργητικές φροντίδες ενός χωραφιού στηρίζονταν σε μέσους όρους ή στους μέσους στόχους παραγωγής. Με την δημιουργία χαρτών παραγωγής μπορούν να αναπτυχθούν χάρτες με στόχους παραγωγής για κάθε τμήμα του χωραφιού και εκεί να βασιστεί ένα σύστημα μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων (Variable Rate Application) [12].
Μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες έχουν προταθεί να εφαρμοστούν αρκετά παλιά. Ο Stanford [3] αναφέρει ότι το πρώτο σύστημα μεταβλητής λίπανσης με σύστημα μίξης των λιπασμάτων και εφαρμογής στο χωράφι αναπτύχθηκε από την Soil Tec όπως αναφέρεται από τον Fairchild. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιούσε στοιχεία από εικόνες που λαμβάνονταν από τον αέρα για το καθορισμό των ζωνών λίπανσης. Το σύστημα είχε μικρή επιτυχία καθώς το GPS δεν ήταν τότε σε γενική χρήση. Οι κύριες εφαρμογές άρχισαν στην δεκαετία του 1990 καθώς η χρήση GPS ελευθερώθηκε και έγινε ακριβέστερη. Πολλές εφαρμογές άρχισαν για μεταβλητή λίπανση, για μεταβλητή χρήση ζιζανιοκτόνων [17] κλπ. Σημαντική προσπάθεια έγινε για εφαρμογές νερού και κατεργασίας του εδάφους. Οι Camp και Sadler [18] πρότειναν ένα σύστημα για χρήση βαθιάς αναμόχλευσης του εδάφους, μεταβλητής άρδευσης και εφαρμογής

των αζωτούχων λιπασμάτων σε καλλιέργειας καλαμποκιού και σόγιας. Τα τελευταία έτη έχουν δημοσιοποιηθεί πολλές εργασίες για μετατροπή διαφόρων γεωργικών μηχανημάτων ώστε να επιτυγχάνουν μεταβλητές καλλιεργητικές φροντίδες. Εργασίες αναφέρονται σε μηχανήματα διανομής κοπριάς (στερεάς και υγρής) σε σπαρτικές που μπορούν να μεταβάλλουν της ποσότητα του σπόρου ή το βάθος σποράς κλπ.

5. Δυνατότητες της Γεωργίας ακριβείας

Η δυνατότητα χαρτογράφησης της παραγωγής δίνει πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα στη διαχείριση των αγροκτημάτων. Πρώτο στοιχείο η δυνατότητα συνδυασμού ποιοτικών στοιχείων της παραγωγής με στοιχεία γονιμότητας του εδάφους και καλλιεργητικών φροντίδων καθώς μπορούν να δημιουργηθούν χάρτες ποιότητας παράλληλα με τους χάρτες παραγωγής. Αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον για καλλιέργειες του νότου όπως φρούτα και λαχανικά, οινοποιήσιμα σταφύλια κλπ. Μπορεί δε να συνδυαστεί με συστήματα ολοκληρωμένης παραγωγής και να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις τόσο της παραγωγής όσο και της εμπορίας. Είναι γνωστό ότι τα συστήματα ολοκληρωμένης παραγωγής αποσκοπούν στη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων μπορεί να πετύχει μείωση των εισροών. Η χαρτογράφηση της παραγωγής μπορεί να αποτελέσει το σημείο έναρξης παρακολούθησης της παραγωγής εδώδιμων προϊόντων. Η παρακολούθηση των προϊόντων φαίνεται να είναι ένα αίτημα των καταναλωτών μετά τα τελευταία σκάνδαλα της διατροφικής αλυσίδας στην Ευρώπη. Τέλος η χαρτογράφηση σε συνδυασμό με συστήματα τηλεπισκόπισης μπορεί να συμβάλλει σε έγκαιρους ελέγχους και διορθώσεις παραγόντων της παραγωγής.

5. Συμπεράσματα

- Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική μεταβλητότητα στην παραγωγή βαμβακιού για τις περιοχές που έγιναν δειγματοληψίες ακόμα και σε αγρούς μικρού μεγέθους που είναι μια πρώτη θετική ένδειξη για εφαρμογή γεωργίας ακριβείας.
- Απαιτείται διεύρυνση των δειγματοληψιών για επέκταση της βάσης δεδομένων ώστε να υπάρξουν ασφαλέστερα αποτελέσματα.
- Η επέκταση των εφαρμογών σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών μπορεί να δώσει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή ενώ μπορεί να είναι το σημείο εκκίνησης ενός συστήματος παρακολούθησης της διακίνησης των προϊόντων (traceability)

Βιβλιογραφία

[1] Gemtos T.A., S. Fountas,, B.S. Blackmore, H.W. Greipentrog (2002) Precision farming experience in Europe and the Greek potential Εργασία που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Εφαρμογών Πληροφορικής στη Γεωργία, Αθήνα Ιουνίου 2002 σελ.

[2] Sigrimis N. (2000) The 21st century expectations in IT. What ae the limits. The XIV Memorial CIGR World Confeence, Tsukuba, Japan
[3] Stafford J.V.. (2000) Implementing Precision Agriculture in the 21st Century J. Agr. Engng Res.(76) 267-275
[4] Pelletier G, Shrini K Upadyaya (1999) Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture (23) 103-107
[5] Hofman A.R., S. Penigrahi, B. Gregor, J. Walker (1995) In field monitoring sugar beets ASAE paper 95-2114, ASAE, St Joseph, Michigan
[6] Campbell R.H., S.L. Rawlings, S. Han (1994) Monitoring methods for potato yield mapping. ASAE paper 94-1584, ASAE, St Joseph, Michigan
[7] Wilkerson J.B., J.S. Kirby, W.E. hart, A.R. Woma (1994) Real time cotton frlow sensor. ASAE paper 94-1054, ASAE, St Joseph, Michigan
[8] Wilkerson J.B., F.H. Moody, W.E. Hart, P.A. Funk (2001) Desing and Evaluation of a Cotton Flow Rate Sensor. Trans of ASAE Vol 44(6) 1415-1420
[9] Tomasson J.A., D.A. Penington, H.C. Pringle, E.P. Colombus, S.J. Tomson, R.K. Byler (1999) Cotton mass flow measurements: Experements with two optical devices. Appl. Enging in Agric. 15(1)11-17
[10] Rains G.C., D.L. Thomas, C.D. Perry (2002) Pecan mechanical harvesting parameters for yield mapping Transaction of ASAE Vol 45(2) 281-285
[11] Markinos A., T.A. Gemtos, L. Toulios, D. Pateraw, G. Zerva (2002) Yield mapping of cotton crop in Greece. Εργασία που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Εφαρμογών Πληροφορικής στη Γεωργία, Αθήνα Ιουνίου 2002 σελ.
[12] Taylor R.K., Kluitenberg G.J., M.D. Schrock, N. Zang, J.P. Schmidt, J.L. Havlin (2001) Using yield monitor data to detrmine spatial crop production potential Transaction of the ASAE Vol 44(6) 1409-1414
[13] Jaynes DB, Colvin TS (1997) Spatiotemporal variability of corn and soybean yield Agronomy Journal 89 (1): 30-37
[14] Jaggard K.W., J. Stafford, R.M. Lark, S. Fisher (2000) Are there opportunities for profitable use of Precision Farming in Sugar Beet Crops? Proceedings of the 63 IRB Congress February, p317 –324
[15] Godwin R.J. (2002) Προφορική παρουσίαση στο συνέδριο των ASAE και CIGR στο Σικάγο 27/7-1/8/2002 και προφορική επικοινωνία
[16] Heermann D.F. (2002) The promise of Precision Agriculture. Resource, July p6-8
[17] Miller P.C.H., J. V. Stafford (1993) Spatially selective application of herbicide to cereal crops. Computers and Electronics in Agriculture 9(3) 217-229
[18] Camp C.R., E.J. Sadler (2002) Irrigation, Deep Tillage and Nitrogen Management for a corn-soybean rotation. Trans of ASAE vol 45(3) 601-608

ΤΡΑΠΕΖΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Θ. Α. Γιαλαμάς , Ζ. Ι. Κουτσοφίτης , Α. Θ.Φιλίντας
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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δομή της τράπεζας δοκιμών για την μέτρηση των αντιδράσεων (φορτίων), θα έχει την δυνατότητα αυξομείωσης των διαστάσεών της ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Σε αυτή θα τοποθετηθούν τέσσερις υδροστατικοί κύλινδροι υψηλής πίεσης με δυνατότητα μεταβολής της οριζοντιότητάς της ως προς τέσσερα επίπεδα. Σε κάθε κύλινδρο θα τοποθετηθεί ηλεκτρονική ζυγιστική μονάδα η οποία θα καταγράφει την μεταβολή των φορτίων. Με την επεξεργασία των στοιχείων θα καθορίζονται οι επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης, για την ασφαλή κίνηση των Γεωργικών Μηχανημάτων και την πρόληψη των ατυχημάτων από συνήθεις θανατηφόρες ανατροπές.

Λέξεις κλειδιά: Καθορισμός ευστάθειας, επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης, πρόληψη ατυχημάτων.

TESTING – BENCH FOR STABILITY DETERMINATION OF AGRICULTURAL MACHINERY

Th. A. Gialamas, Z. I. Koutsofitis, Ag. Th.Filintas
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.

ABSTRACT

Adjustable testing - bench structure for forces measurements will have the ability of dimensions fluctuation towards the horizontal level. Four hydrostatic cylinders we'll be installed, with the ability of level alteration in four levellys. Electronic weight unit will be installed in every cylinder which will register the charge variation. After data processing, allowed grade angles will be determined for agricultural machinery safe movement and for forestalling accidents which usually leads to deadly overthrows.

Keywords: Stability determination, allowed grade angles, forestalling accidents.

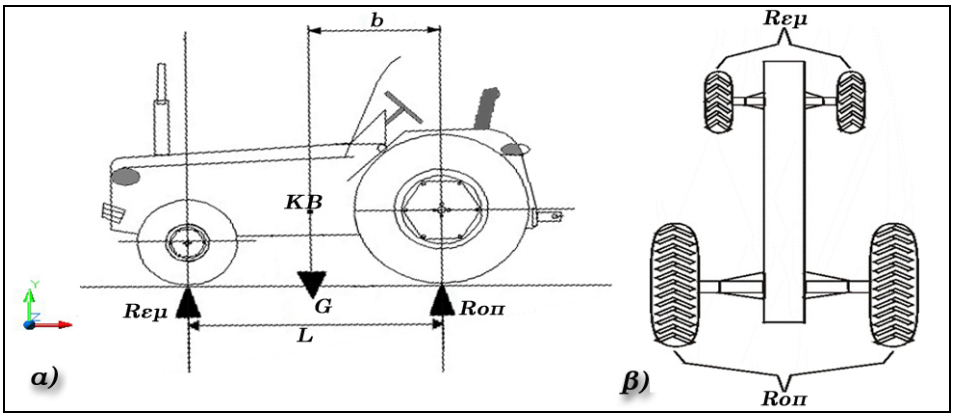
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Η μείωση μέχρι και η εξάλειψη των ατυχημάτων που προέρχονται από ανατροπές των Γεωργικών Ελκυστήρων και των Αυτοκινουμένων Γεωργικών Μηχανημάτων κατά την διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας τους , τα οποία κινούνται εκτός δρόμου σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη, ή σε αγροτικούς δρόμους και αλλάζουν κατεύθυνση πορείας, αποτελεί τον πρωταρχικό σκοπό της παρούσας εργασίας. Η γνώση των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης θα καθορίσει την ασφαλή κίνηση των Γεωργικών Ελκυστήρων (Γ.Ε.) και των Αυτοκινουμένων Γεωργικών Μηχανημάτων (Α.Γ.Μ.) κατά την ανοδική και κατά την καθοδική κίνησή τους αλλά και κατά την εγκαρσία κίνησή τους σε κεκλιμένο επίπεδο, (έδαφος), δεξιά και αριστερά.

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 Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ., όταν εργάζονται σε επικλινή εδάφη [2, 4, 5, 7]. Άλλοι παράγοντες , οι οποίοι οδηγούν σε ατυχήματα είναι το είδος του εδάφους στο οποίο εργάζεται ο Γ.Ε., ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται και τα μεταφερόμενα φορτία [3]. Η απώλεια της σταθερότητας προκύπτει, όταν η επιτάχυνση του Γ.Ε. που οφείλεται στην κλίση ή στην αλλαγή πορείας, (στροφή), η οποία προκαλεί τον μηδενισμό των αντιδράσεων, (φορτίων), των τροχών [7, 8]. Οι απώλειες ελέγχου μπορεί να οφείλονται σε ανεπαρκή πρόσφυση μεταξύ του ελαστικού, των τροχών και του εδάφους [7]. Οι Crolla και Spenser [1] εφήρμοσαν ένα μαθηματικό μοντέλο για πρόβλεψη της τροχιάς του Γ.Ε. και συνέκριναν τα αποτελέσματα του μοντέλου με τα αποτελέσματα πειραμάτων με ένα Γ.Ε. ελεγχόμενο από απόσταση. Οι παραπάνω διαπίστωσαν ότι υπάρχει λογική συμφωνία μεταξύ των μετρηθέντων και των προβλεφθέντων αποτελεσμάτων. Οι ίδιοι ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για εξέταση της συμπεριφοράς διαξονικών Γ.Ε. κατά τη διάρκεια ατυχημάτων σε πλαγιές [9]. Οι Kim και άλλοι [6], εξήτασαν την πλευρική σταθερότητα του Γ.Ε. Προσομοιώνοντας την κίνηση σε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή (Η/Υ) κατέληξαν σε κατασκευή πεδίων ασφαλείας και μη, για χειρισμό του Γ.Ε. σε σχέση με το ανάγλυφο του εδάφους και των λειτουργικών συνθηκών για ένα δεδομένο Γ.Ε. [6]. Φαίνεται λοιπόν ότι ο προσανατολισμός των ερευνών οδηγεί στην προσπάθεια για ασφαλή και ευσταθή κίνηση των Γ.Ε. και Α.Γ.Μ.. Με την ολοκλήρωση της κατασκευής της τράπεζας δοκιμών και μετρήσεων στο Εργαστήριο μηχανικής οχημάτων ανωμάλων εδαφών, θα δοθεί η δυνατότητα για έλεγχο και καθορισμό μέσω Η/Υ σε κάθε , Γ.Ε. και Α.Γ.Μ. ή συνδυασμό παρελκομένου Γεωργικού Μηχανήματος αναρτωμένου στο σύστημα αναρτήσεως του Γ.Ε., των μεγίστων επιτρεπομένων γωνιών κλίσης για την ευσταθή και ασφαλή κίνησή τους.

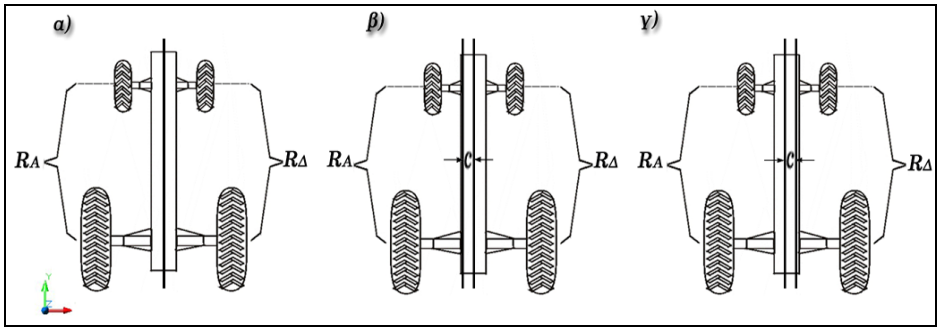
Ο υπολογισμός των μεγίστων επιτρεπομένων γωνιών κίνησης εξαρτάται από την κατανομή του βάρους του μηχανήματος στους 4 τροχούς, δηλαδή στους δύο άξονες: τον εμπρόσθιο και τον οπίσθιο. Με την γνώση της κατανομής του βάρους στους 4 τροχούς, δηλαδή στους δύο άξονες, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί η θέση του κέντρου βάρους του οχήματος. Η ακριβής θέση του Κέντρου Βάρους , (Κ.Β.),υπολογίζεται με την βοήθεια των τριών επιπέδων τα οποία δημιουργούνται στον χώρο (3 διαστάσεις), εμφανιζόμενα στον Γ.Ε., αλλά και σε κάθε Α.Γ.Μ.. Τα 3 επίπεδα που εμφανίζονται είναι:

α) Το εγκάρσιο επίπεδο **Β**. Καθορίζεται με βάση την απόσταση **b** του κέντρου βάρους από το κατακόρυφο επίπεδο που περιλαμβάνει τον άξονα των οπισθίων τροχών, (σχήμα 1.α, β), όπου: **Rεμ** η αντίδραση, λόγω του βάρους στον εμπρόσθιο άξονα, και **Rοπ** η αντίδραση, λόγω του βάρους στον οπίσθιο άξονα.



Σχήμα 1.α , β. Καθορισμός του εγκαρσίου επιπέδου του Γεωργικού Ελκυστήρα.

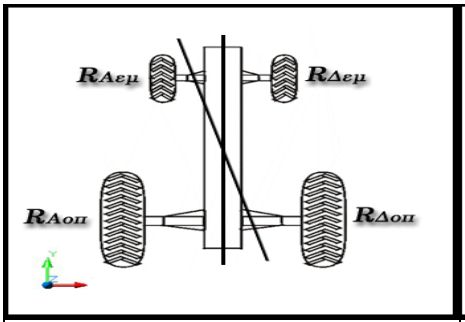
β) Το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας **C.** Καθορίζεται με βάση την κατανομή του βάρους στην δεξιά πλευρά $\mathbf{R_Δ}$ και στην αριστερή πλευρά του οχήματος $\mathbf{R_A}$. Εάν η κατανομή βάρους είναι ίση, (σχήμα 2.α), στην αριστερή και στην δεξιά πλευρά του οχήματος, τότε δεν υπάρχει απόκλιση από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας **C** του Γ.Ε., δηλαδή απόκλιση $\mathbf{c = 0}$, επειδή $\mathbf{R_Δ = R_A}$.



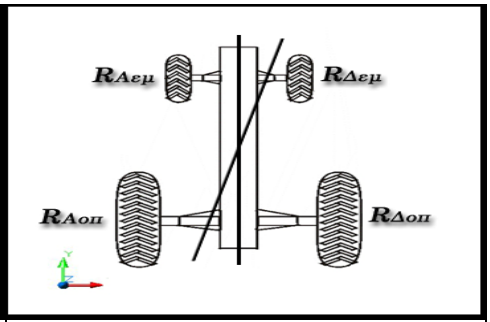
Σχήμα 2.α,β,γ. Καθορισμός του διαμήκους επιπέδου C του Γεωργικού Ελκυστήρα.

Τότε ταυτίζεται το διάμηκες επίπεδο το οποίο δημιουργείται, με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του οχήματος. Εάν η κατανομή του βάρους είναι μεγαλύτερη στην δεξιά πλευρά σε σχέση με την αριστερή πλευρά, τότε εμφανίζεται απόκλιση από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας **C** του Γ.Ε., δηλαδή $\mathbf{c \neq 0}$, επειδή $\mathbf{R_{\Delta} > R_{A}}$ προς την δεξιά πλευρά, (σχήμα 2.γ). Δηλαδή το διάμηκες επίπεδο το οποίο δημιουργείται με βάση την κατανομή βάρους βρίσκεται προς την δεξιά πλευρά του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας του οχήματος. Εάν η κατανομή του βάρους είναι μεγαλύτερη στην αριστερή πλευρά σε σχέση με την δεξιά πλευρά, (σχήμα 2.β), τότε εμφανίζεται απόκλιση **c** προς την αριστερή πλευρά. Δηλαδή $\mathbf{c \neq 0}$, επειδή $\mathbf{R_{A} > R_{\Delta}}$**.** Το διάμηκες επίπεδο το οποίο δημιουργείται με βάση την κατανομή βάρους βρίσκεται προς την αριστερή πλευρά του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας του οχήματος .

Υπάρχει πιθανότητα τα δύο προαναφερθέντα επίπεδα να τέμνονται, (σχήμα 3 και 4). Αυτό μπορεί να συμβεί, όταν το βάρος του δεξιού εμπροσθίου τροχού $\mathbf{R_{\Delta\varepsilon\mu}}$ είναι μεγαλύτερο από το βάρους του αριστερού εμπροσθίου τροχού $\mathbf{R_{A\varepsilon\mu}}$ και όταν το βάρος του αριστερού οπισθίου τροχού $\mathbf{R_{A\sigma\pi}}$ είναι μεγαλύτερο από το βάρος του δεξιού οπισθίου τροχού $\mathbf{R_{\Delta\sigma\pi}}$. Δηλαδή, $\mathbf{R_{\Delta\varepsilon\mu} > R_{A\varepsilon\mu}}$ και $\mathbf{R_{A\sigma\pi} > R_{\Delta\sigma\pi}}$, (σχήμα 4), και αντιστρόφως, (σχήμα 3).



Σχήμα 3.Το εγκάρσιο και το διάμηκες επίπεδο τέμνονται και τότε $\mathbf{R_{\Delta\varepsilon\mu} < R_{A\varepsilon\mu}}$ και $\mathbf{R_{A\sigma\pi} < R_{\Delta\sigma\pi.}}$



Σχήμα 4. Το εγκάρσιο και το διάμηκες επίπεδο τέμνονται και τότε $\mathbf{R_{\Delta\varepsilon\mu} > R_{A\varepsilon\mu}}$ και $\mathbf{R_{A\sigma\pi} > R_{\Delta\sigma\pi.}}$

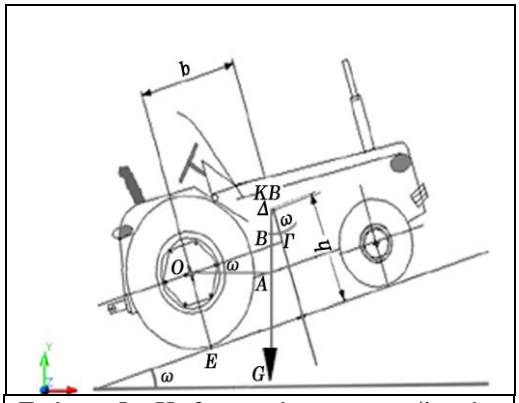
γ) Το οριζόντιο επίπεδο **Η.** Καθορίζεται με βάση την απόσταση **h** από το έδαφος με υπολογιστικό τρόπο μέσω μαθηματικών σχέσεων, αλλά και με γραφικό τρόπο γνωρίζοντας τις διαστάσεις των ελαστικών επισώτρων, τις αντιδράσεις των εμπροσθίων και των οπισθίων τροχών, καθώς και την γωνία κλίσης για ανοδική πορεία.

Για να βρούμε το ύψος του κέντρου βάρους πρέπει να υπολογιστεί η πλευρά ΓΔ του τριγώνου ΒΓΔ, (σχήμα 5). Από το τρίγωνο ΒΓΔ προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\Gamma\Delta = \frac{B\Gamma}{\varepsilon\phi\omega} \qquad (1)$$

$$B\Gamma = O\Gamma - OB \qquad (2)$$

Από το τρίγωνο ΟΑΒ προκύπτει η σχέση:



Σχήμα 5. Καθορισμός του οριζοντίου επιπέδου **H** με βάση την απόσταση **h.**

$$OB = \frac{OA}{\sigma\upsilon\nu\omega} \qquad (3)$$

Από τις σχέσεις 1, 2 και 3, προκύπτει:

$$B\Gamma = O\Gamma - \frac{OA}{\sigma\upsilon\nu\omega} \qquad (4)$$

$$\Gamma\Delta = \frac{O\Gamma - \dfrac{OA}{\sigma\upsilon\nu\omega}}{\varepsilon\phi\omega} \qquad (5)$$

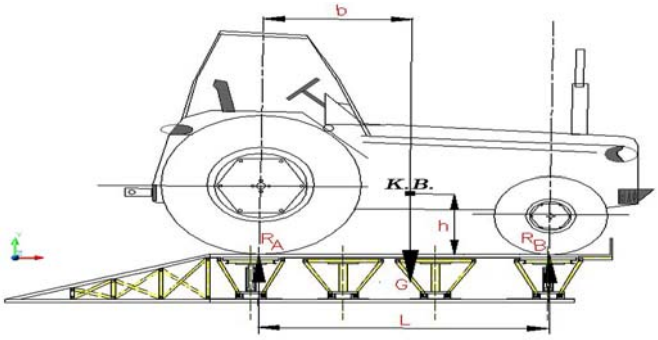
και ύψος (KB), h=OE+ΔΓ (6)

όπου ΟΑ είναι η απόσταση του Κέντρου Βάρους από τον οπίσθιο άξονα του Γ.Ε. στη θέση με κλίση, ΟΓ είναι η απόσταση του Κέντρου Βάρους από τον οπίσθιο άξονα του Γ.Ε. στη οριζόντια θέση, ΟΕ είναι η ακτίνα του οπισθίου τροχού και η γωνία ΑΟΒ = ΒΔΓ = ω.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ.

Ο έλεγχος των μεγίστων επιτρεπομένων γωνιών κίνησης, οι οποίες καθορίζουν την ευστάθεια των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ. που κινούνται εκτός δρόμου δηλαδή σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη ή αλλάζουν κατεύθυνση πορείας σε αγροτικούς δρόμους, θα εφαρμοσθεί με την βοήθεια της ειδικής τράπεζας δοκιμών. Η τράπεζα δοκιμών αποτελείται από ένα πλαίσιο ενισχυμένο με κοιλοδοκούς μεγάλης αντοχής. Στο επάνω μέρος της θα τοποθετηθεί ενισχυμένο χαλυβδοέλασμα για να παραλαμβάνει χωρίς παραμόρφωση το βάρος των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ.

Η ρυθμιζόμενη τράπεζα δοκιμών θα έχει την δυνατότητα μεταβολής των διαστάσεών της σε σχέση με το μήκος και το πλάτος της σε προκαθορισμένο εύρος για να έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί από Γ.Ε. και Α.Γ.Μ. διαφόρων διαστάσεων, (σχήμα 6). Σε καθορισμένες θέσεις του πλαισίου (θέσεις των 4 τροχών) θα τοποθετηθούν 4 υδροστατικοί κύλινδροι μεγάλης αντοχής και ανυψωτικής ικανότητας. Στο επάνω μέρος των υδροστατικών κυλίνδρων, (στο βάκτρο), θα τοποθετηθούν ειδικές βάσεις, για την τοποθέτηση των αυτόματων ηλεκτρονικών ζυγιστικών μονάδων. Στα σημεία αυτά θα αφαιρεθεί το τμήμα του χαλυβδοελάσματος έτσι ώστε οι τροχοί των Γ.Ε. ή των Α.Γ.Μ. να εφάπτονται επάνω στις αυτόματες ηλεκτρονικές ζυγιστικές μονάδες. Για τον υπολογισμό των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης , δηλαδή την ευστάθεια ενός συγκεκριμένου Γ.Ε. ή Α.Γ.Μ. ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία. Καταγράφονται οι γεωμετρικές διαστάσεις, δηλαδή το μήκος και το πλάτος του συγκεκριμένου Γ.Ε. ή Α.Γ.Μ. και ρυθμίζονται καταλλήλως οι διαστάσεις του δαπέδου. Συνδέονται τα ειδικά καλώδια μεταφοράς των δεδομένων στις



Σχήμα 6. Γεωργικός Ελκυστήρας επάνω στη τράπεζα δοκιμών.

θύρες εισόδου των αυτόματων ηλεκτρονικών ζυγιστικών μονάδων, καθώς και στην ειδική αυτόματη καταγραφική μονάδα. Ανέρχεται ο Γ.Ε. ή το Α.Γ.Μ. με την βοήθεια του κεκλιμένου επιπέδου («ράμπας»), στο επάνω μέρος της τράπεζας δοκιμών, (σχήμα 6), ώστε οι τέσσερις τροχοί να φθάσουν ακριβώς στο μέσον των αυτόματων ηλεκτρονικών ζυγιστικών μονάδων. Τίθεται σε λειτουργία η αυτόματη καταγραφική μονάδα και καταγράφεται το αντίστοιχο βάρος το οποίο παραλαμβάνει η κάθε αυτόματη ηλεκτρονική ζυγιστική μονάδα. Με την επεξεργασία των δεδομένων αυτών υπολογίζεται η πρώτη συντεταγμένη της θέσης του κέντρου βάρους του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ., δηλαδή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απόσταση **b**, του εγκαρσίου επιπέδου **B**, από το κατακόρυφο επίπεδο του άξονα των οπισθίων τροχών, (σχήμα 1.α, β). Η αυτόματη καταγραφική συσκευή έχει την δυνατότητα καταγραφής του βάρους το οποίο αντιστοιχεί : α) Στον εμπρόσθιο άξονα, β) Στον οπίσθιο άξονα, γ) Στην δεξιά πλευρά, δ) Στην αριστερή πλευρά, ε) Στον δεξιό εμπρόσθιο τροχό με τον αριστερό οπίσθιο τροχό, δηλαδή σε διαγώνιο θέση, στ) Στον αριστερό εμπρόσθιο τροχό με τον δεξιό οπίσθιο τροχό, δηλαδή σε διαγώνιο θέση.

Η θέση της τράπεζας δοκιμών έχει την δυνατότητα να μεταβληθεί κατά 4 τρόπους : α) Ανύψωση του εμπρόσθιου μέρους του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ.. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η προσομοίωση των γωνιών κλίσης για διαμήκη ανοδική πορεία σε έδαφος με κλίση με την έμπροσθεν. Στην περίπτωση αυτή ελέγχουμε την ανύψωση των δύο εμπροσθίων υδροστατικών κυλίνδρων, ενώ οι δύο οπίσθιοι υδροστατικοί κύλινδροι παραμένουν αμετακίνητοι. Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται στην ειδική καταγραφική μονάδα το βάρος του εμπροσθίου και οπισθίου άξονα, αλλά και του κάθε τροχού χωριστά. Η δημιουργουμένη γωνία κλίσης καθορίζεται με βάση την υψομετρική διαφορά των βάκτρων και της απόστασης μεταξύ των αξόνων του οχήματος. Υπολογίζονται στην συνέχεια οι μέγιστες επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για την ευσταθή κίνηση των Γ.Ε. ή των Α.Γ.Μ.. Σε όλες τις παραπάνω επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης λαμβάνεται πάντοτε υπ' όψη ένας συντελεστής ασφαλείας (15-20%), ο οποίος εξασφαλίζει την μέγιστη δυνατή ευστάθεια.

β) Ανύψωση του οπισθίου μέρος του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ.. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η προσομοίωση των γωνιών κλίσης για διαμήκη καθοδική

πορεία σε ένα έδαφος με κλίση με την έμπροσθεν, ή για διαμήκη ανοδική πορεία σε ένα έδαφος με κλίση με την όπισθεν. Στην περίπτωση αυτή ελέγχεται η ανύψωση των δύο οπισθίων υδροστατικών κυλίνδρων, ενώ οι δύο εμπρόσθιοι υδροστατικοί κύλινδροι παραμένουν αμετακίνητοι. Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται στην ειδική καταγραφική μονάδα το βάρος του εμπροσθίου και οπισθίου άξονα, αλλά και του κάθε τροχού χωριστά. Υπολογίζονται στην συνέχεια οι επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για την ευσταθή και ασφαλή κίνηση.

γ) Ανύψωση της δεξιάς πλευράς του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ.. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η προσομοίωση των γωνιών κλίσης για πορεία σε κεκλιμένο επίπεδο, δηλαδή σε ένα έδαφος με κλίση προς τα αριστερά του επιπέδου έδρασης του Γ.Ε. ή του Α.Γ.Μ.. Στην περίπτωση αυτή ελέγχεται η ανύψωση των δύο υδροστατικών κυλίνδρων οι οποίοι βρίσκονται στην δεξιά πλευρά, ενώ οι δύο υδροστατικοί κύλινδροι οι οποίοι βρίσκονται στην αριστερή πλευρά παραμένουν αμετακίνητοι. Στην περίπτωση αυτή καταγράφεται στην ειδική καταγραφική μονάδα το βάρος της δεξιάς πλευράς που έχει ανυψωθεί , αλλά και το βάρος της αριστερής πλευράς. Υπολογίζονται στην συνέχεια οι επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για την ασφαλή κίνηση. Ελέγχονται οι μετρήσεις οι ληφθείσες όταν ο Γ.Ε. και τα Α.Γ.Μ. ήταν στην οριζοντία θέση και ελέγχεται εάν η κατανομή του βάρους στην δεξιά πλευρά είναι ίση με την κατανομή του βάρους στην αριστερή πλευρά $\mathbf{R_\Delta = R_A}$, η απόκλιση είναι μηδέν, δηλαδή $\mathbf{c = 0}$ και οι επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης για την πλαγία δεξιά κίνηση του Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ. θα είναι οι αυτές με τις επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης και για την πλαγία κίνηση προς τα αριστερά .

δ) Ανύψωση της αριστερής πλευράς του Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ. Αυτή η διαδικασία υπολογισμού των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης πραγματοποιείται, όταν υπάρχει διαφορετική κατανομή του βάρους στην δεξιά πλευρά σε σχέση με την κατανομή βάρους στην αριστερή πλευρά , δηλαδή όταν υπάρχει απόκλιση $\mathbf{c \neq 0}$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Η τράπεζα δοκιμών μαζί με το σύστημα ζύγισης και καταγραφής του βάρους σε κάθε τροχό και άξονα, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θέσης του Κ.Β. των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ και των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης με επιδιωκόμενο σκοπό την ασφαλή κίνησή τους, από το Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάλων Εδαφών του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Η τράπεζα δοκιμών και μετρήσεων που κατασκευάζεται, θα απλουστεύσει την διαδικασία των μετρήσεων και θα αυξήσει τις δυνατότητες του συστήματος ζύγισης για τον υπολογισμό των παρακάτω :

Α΄. Της ευσταθούς πορείας για την κίνηση των Γ.Ε. και των Α.Γ.Μ., 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.

Β΄. Της ευσταθούς πορείας για την κίνηση των Γ.Ε. με φερόμενα Γεωργικά Μηχανήματα, τόσο στο εμπρόσθιο, όσο και στο οπίσθιο σύστημα ανάρτησης.

Γ΄. Του υπολογισμού της μεγίστης επιτρεπομένης ταχύτητας κίνησης και αλλαγής πορείας σε αγροτικούς δρόμους. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται με την χρήση της σχέσης της φυγόκεντρης δύναμης :

$$F\varphi = m.u^2 / R \quad [N] \qquad (7)$$

όπου Fφ είναι η φυγόκεντρη δύναμη, m είναι η μάζα του οχήματος σε [$N.s^2/m$] u είναι η ταχύτητα κίνησης του οχήματος σε [m/s], R είναι η ακτίνα στροφής των Γ.Ε. ή των Α.Γ.Μ. σε μέτρα [m].

Η μάζα του οχήματος προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$m = Gm / g \quad [N.s^2/m] \qquad (8)$$

όπου m είναι η μάζα του οχήματος, Gm = Το βάρος του Α.Γ.Μ. σε [N], g = Η επιτάχυνση της βαρύτητας σε [m/s^2].

Με μετασχηματισμό της εξίσωσης που καθορίζει την φυγόκεντρο δύναμη προκύπτει η ταχύτητα κινήσεως του οχήματος.

Τέλος, η παραπάνω κατασκευή θα είναι η βασική διάταξη, μαζί με τις άλλες υπάρχουσες όπως η Εδαφολεκάνη με το μοντέλο-ομοίωμα του Γ.Ε. που έχει την δυνατότητα της αλλαγής των μέσων πρόωσής του, από ερπυστριοφόρο σε τροχοφόρο και το αντίστροφο, για τον καθορισμό του συντελεστού της 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. Crolla D.A., Spencer H.B., 1984. Tractor handling during control loss on sloping ground. *Vehicles System Dynamics.* 13:1, 1-17.
2. Hunter, AGM., 1981. Tractor safety on slopes. *Agricultural Manpower.* (3), 2-3.
3. Hunter, AGM., 1981. Tractor overturning accidents on slopes. *Technical Report, Scottish Institute of Agricultural Engineering.* (3) 26.
4. Hunter, AGM., 1981. Tractor safety on slopes. *Agricultural Manpower.* 36:4, 95-98.
5. Hunter, AGM., Owen, GM., 1983. Tractor overturning accidents on slopes. *Journal of occupational Accidents.* 5:353. 195-210.
6. 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.
7. Spencer, H.B., 1982. Tractor accidents on slopes-review-progress-solutions. *Agricultural Manpower.* (5) 12–14.
8. 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.
9. 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.

Γεωργία και Περιβάλλον

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Α. Παπαδόπουλος[1], Γ. Παρισσόπουλος[2], Φ. Παπαδόπουλος[1], Α. Καρτέρης[1]

[1]ΕΘΙΑΓΕ/Ινστ. Εδαφολογίας, 570 01 Θέρμη-Θεσ/νίκη
[2]ΕΘΙΑΓΕ/Ινστ. Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών, 135 10 Αγ.Ανάργυροι, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η απομάκρυνση BOD_5 και SS μιας πειραματικής σειράς δεξαμενών σταθεροποίησης ήταν ίδια με αυτή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας της Μ.Β.Κ Θεσ/νίκης. Οι δεξαμενές σταθεροποίησης παρουσιάσαν μεγάλη απόδοση στην απομάκρυνση κολοβακτηροειδών αλλά υστέρηση στην απομάκρυνση του COD σε σύγκριση με τη βιολογική βαθμίδα. Σε περιπτώσεις επέκτασης μιας υπάρχουσας πρωτοβάθμιας μονάδας καθαρισμού, ένα σύστημα δεξαμενών σταθεροποίησης μπορεί αποτελεσματικά να υποκαταστήσει τη βιολογική βαθμίδα μιας συμβατικής βιολογικής μονάδας, με ελάχιστες ανάγκες για συντήρηση και λειτουργικά έξοδα

Λέξεις κλειδιά: δεξαμενές σταθεροποίησης, υγρά αστικά απόβλητα

PERFORMANCE COMPARISON OF STABILIZATION PONDS AND CONVENTIONAL SECONDARY TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER

A. Papadopoulos[1], G. Parissopoulos[2], F. Papadopoulos[1], A. Karteris[1]

[1]NAGREF/Soil Science Inst, 570 01 Thermi-Thessaloniki
[2]NAGREF/Inst Agricultural Machinery &Constructions, 135 10 Ag.Anargiri, Athens

ABSTRACT

The removal of BOD_5 and SS by an experimental stabilization pond line was similar to that of the conventional biological unit of the W.W.T.P of Thessaloniki. It acheived high removal performance of coliforms unlikely to the removal of COD, compared to the biological reactor. In cases of future expansion of an existing primary treatment plant, a stabilization pond system can reliably replace the secondary biological treatment of a conventional unit, requiring minimum maintenance and operational expenses.

Keywords: stabilization ponds, municipal wastewater

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιβαλλοντική πολιτική της τελευταίας δεκαετίας σε θέματα επεξεργασίας αποβλήτων στις προηγμένες χώρες, προωθεί την κατασκευή μικρών αποκεντρωμένων μονάδων βιολογικού καθαρισμού (small decentralized wastewater treatment plants) για λόγους ευελιξίας, απόδοσης κόστους κ.λπ [1].

Η επικρατούσα κατάσταση στην Ελλάδα, στο τέλος του 1997, από δεδομένα που έχουν συλλεχτεί από 147 μικρές Μονάδες Βιολογικού Καθαρισμού (Μ.Β.Κ.) που εξυπηρετούν κάτω από 10,000 κατοίκους [2,3] είναι αρκετά ανησυχητική, με 45 από αυτές (31%) να χαρακτηρίζονται 'προβληματικές', λόγω αστοχίας της κατασκευής ή αποτυχημένης λειτουργίας ή να μην έχουν τεθεί καθόλου σε λειτουργία λόγω τεχνικών προβλημάτων. Οι προβληματικές αυτές μονάδες είναι κυρίως μονάδες μικρής δυναμικότητας. Όσον αφορά τις μονάδες που ήδη λειτουργούν, οι μικρές Συμβατικές Μ.Β.Κ αντιμετωπίζουν συχνά πρόβλημα εύρυθμης λειτουργίας, με αποτέλεσμα τα απόβλητα να μην επεξεργάζονται ικανοποιητικά.

Οι παραπάνω λόγοι έχουν οδηγήσει από καιρό την επιστημονική κοινότητα, που ασχολείται με θέματα επεξεργασίας αποβλήτων, να στραφεί σε μεθόδους που απαιτούν χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας, ιδιαίτερα για κοινότητες μικρού μεγέθους. Ένα τέτοιο σύστημα είναι μία μονάδα δεξαμενών σταθεροποίησης, που αποτελείται από τρεις σε σειρά χωμάτινες δεξαμενές, την επαμφοτερίζουσα και δύο αερόβιες, αντίστοιχα με μία δευτεροβάθμια επεξεργασία σε μια συμβατική Μ.Β.Κ. Τα εισερχόμενα απόβλητα σε ένα σύστημα δεξαμενών σταθεροποίησης (αφού έχει προηγηθεί αναερόβια δεξαμενή σταθεροποίησης ή πρωτοβάθμια καθίζηση) κάτω από την επίδραση του ηλιακού φωτός και πολύπλοκες βιοχημικές συμβιωτικές διεργασίες αυτοκαθαρίζονται χωρίς την τεχνητή προσθήκη ενέργειας ή χημικών ουσιών. Ειδικότερα, το φυτοπλαγκτόν που αναπτύσσεται στην επιφάνεια της επαμφοτερίζουσας και των αερόβιων δεξαμενών, κατά τη διάρκεια της ημέρας, παράγει οξυγόνο χάρη στο οποίο αναπνέουν τα βακτήρια προκειμένου να βιοαποικοδομήσουν την οργανική ουσία. Οι επαμφοτερίζουσες δεξαμενές μειώνουν κυρίως την οργανική ουσία των αποβλήτων, ενώ οι αερόβιες δεξαμενές επεκτείνουν το χρόνο παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα, ώστε να απομακρυνθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί με τη δράση της υπεριώδης ηλιακής ακτινοβολίας.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα της λειτουργίας μιας σειράς δεξαμενών σταθεροποίησης η οποία τροφοδοτείται με πρωτοβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και της δευτεροβάθμιας βιολογικής βαθμίδας (Σύστημα ενεργού ιλύος) της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού (Μ.Β.Κ.) Θεσ/νίκης σχετικά με την απόδοσή τους στη μείωση των BOD_5, COD, SS από Ιανουάριο 1999 έως Αύγουστο 2000 και Ολικών και Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδιων από Ιανουάριο 1999 έως Φεβρουάριο 2000.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματική Εγκατάσταση

Η πειραματική διάταξη δεξαμενών σταθεροποίησης βρίσκεται στις ερευνητικές εγκαταστάσεις του ΕΘΙΑΓΕ στην περιοχή του Γαλλικού ποταμού Θεσσαλονίκης όπου κατασκευάστηκαν και λειτουργούν, στα πλαίσια του Προγράμματος ΕΠΕΤ ΙΙ από το 1996, φυσικά συστήματα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων.

Αποτελείται από μία επαμφοτερίζουσα δεξαμενή η οποία έχει ως κύριο στόχο την απομάκρυνση της οργανικής ουσίας και δύο αερόβιες δεξαμενές σταθεροποίησης σε σειρά, οι οποίες έχουν ως κύρια αποστολή τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών και δευτερευόντως τη μείωση της οργανικής ουσίας (Φωτ 1.).

Φωτ 1. Άποψη πειραματικών δεξαμενών σταθεροποίησης

Η πρώτη λίμνη έχει βάθος λειτουργίας 1.75 m και οι υπόλοιπες αερόβιες έχουν βάθος λειτουργίας 1.25 m. Οι διαστάσεις των δεξαμενών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Τα πρανή των αναχωμάτων των δεξαμενών έχουν κλίση 1:2 και η στέψη τους βρίσκεται 0.5 m πάνω από τη μέγιστη στάθμη του νερού.

Οι δεξαμενές αυτές επεξεργάζονται 50m^3/day αποβλήτων που έχουν υποστεί πρωτοβάθμια επεξεργασία από την Μ.Β.Κ Θεσ/νίκης με μέσο BOD_5=155gr/m^3 και δέχονται ρυπαντικό φορτίο λ=7.4gr/m^2.day. Ο χρόνος παραμονής είναι 63 ημέρες (27 ημέρες η επαμφοτερίζουσα, 18 +18 ημέρες οι αερόβιες δεξαμενές). Η κατασκευή των δεξαμενών σταθεροποίησης χαρακτηρίζεται από απλότητα στη σχεδίαση ενώ η εισροή-εκροή γίνεται με φυσική ροή μεταξύ των δεξαμενών σταθεροποίησης.

Η δεύτερη πειραματική διάταξη με την οποία συγκρίνονται τα φυσικά συστήματα, είναι μία από τις δεξαμενές ενεργού ιλύος της Μ.Β.Κ. Θεσ/νίκης. Η δεξαμενή αερισμού έχει ωφέλιμο όγκο 5000 m^3 και είναι εφοδιασμένη με τρείς επιφανειακούς αεριστές. Η ενεργή λάσπη επανακυκλοφορεί από τη

δευτεροβάθμια καθίζηση στη δεξαμενή αερισμού με τη βοήθεια δύο κοχλιωτών αντλιών. Η ίδια ποιότητα αποβλήτων, εισήλθε προς επεξεργασία στις δεξαμενές σταθεροποίησης και το δευτεροβάθμιο βιολογικό.

Πίνακας 1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών σταθεροποίησης

Βάθος λειτουργίας (m)	**Εμβαδόν (m^2)**		**Όγκος λειτουργίας (m^3)**
	Υγρή επιφάνεια	**Μέση στάθμη**	
1.75	58 x 18 =1044	54.5 x 14.5=790	1380
1.25	56 x 16=896	53.5 x 13.5=722	900

2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις

Οι εργαστηριακές αναλύσεις έλαβαν δύο φορές την εβδομάδα για την περίοδο 1999-2000, BOD_5, COD, SS και Ολικά και Κοπρανώδη Κολοβακτηροειδή από δείγματα εισόδου και εξόδου της σειράς δεξαμενών σταθεροποίησης και της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας της Μ.Β.Κ.Θεσ/νίκης. Επίσης πάρθηκαν δείγματα στις εξόδους ενδοιάμεσα των δεξαμενών σταθεροποίησης, για αναλύσεις Ολικών και Κοπρανώδη Κολοβακτηροειδών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

BOD_5

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τιμών BOD_5 για την πειραματική περίοδο, φαίνονται στον Πίνακα 2 και Σχήμα 1. Η μέση τιμή BOD_5 της εκροής του συστήματος των δεξαμενών σταθεροποίησης ήταν $35mgO_2/lt$ σε σύγκριση με την εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας της Μ.Β.Κ. Θεσ/νίκης που ήταν $36mgO_2/lt$, όταν η μέση τιμή του BOD_5 εισροής στις δύο δεξαμενές, ήταν $155mgO_2/lt$. Η μονάδα δεξαμενών σταθεροποίησης και συμβατικού βιολογικού αντιδραστήρα, παρουσίασαν μείωση του BOD_5 της τάξης του 77%.

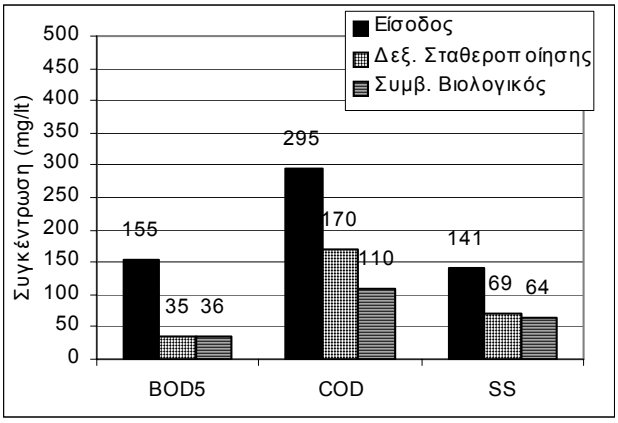
Πίνακας 2. Μέσες τιμές εξόδου BOD_5, COD, SS και μείωση αυτών στο σύστημα δεξαμενών σταθεροποίησης και δευτεροβάθμιας συμβατικής επεξεργασίας της Μ.Β.Κ. Θεσ/νίκης (1999-2000)

Παράμετρος (mg/lt)	**Εισροή**	**Εκροή**		**Μείωση (%)**	
		Δεξαμενές Σταθεροπ.	**2βάθμια Συμβατ.**	**Δεξαμενές Σταθεροπ.**	**2βάθμια Συμβατ.**
BOD (mgO_2/lt)	155 (74-450)	35 (10-87)	36 (11-92)	77	77
COD (mgO_2/lt)	295 (111-800)	170 (70-370)	110 (22-321)	42	63
SS (mg/lt)	141 (65-797)	69 (33-135)	64 (18-198)	51	55

Τα δύο συστήματα επεξεργασίας παρουσιάζουν την ίδια απόδοση στη μείωση του βιοχημικά απαιτούμενο οργανικού φορτίου, με τη διαφορά ότι το σύστημα δεξαμενών σταθεροποίησης δεν κατανάλωσε καθόλου ηλεκτρική ενέργεια για αερισμό και ανάδευση, όπως απαιτεί ο συμβατικός βιολογικός καθαρισμός. Η ενίσχυση του συμβατικού συστήματος με μηχανική ενέργεια έχει ως αποτέλεσμα οι βιοχημκές διεργασίες να έχουν γρηγορότερο ρυθμό, άρα απαιτείται μικρός χρόνος παραμονής και αντίστοιχα μικρός χώρος εγκατάστασης, ενώ αντίθετα το σύστημα δεξαμενών σταθεροποίησης απαιτεί πολύ μεγάλο χρόνο παραμονής με μεγάλες απαιτήσεις σε έκταση.

COD

Όσον αφορά το COD, η μέση τιμή των εισερχόμενων αποβλήτων κατά την πειραματική περίοδο ήταν 295mgO_2/lt. Η μονάδα δεξαμενών σταθεροποίησης κατάφερε μείωση του COD της τάξης του 42%, με μέση τιμή COD εκροής 170 mgO_2/lt, ενώ η δευτεροβάθμια επεξεργασία της M.B.K. Θεσ/νίκης μείωσε κατά 63% το COD με μέση τιμή εκροής τα 110mgO_2/lt (Πίνακας 1, Σχήμα 1).Η απομάκρυνση χημικά αποικοδομήσιμης



Σχήμα 1. Ιστόγραμμα μέσων τιμών εισόδου, εξόδου BOD_5, COD, SS στην σύστημα δεξαμενών σταθεροποίησης και συμβατικής επεξεργασίας

οργανικής ύλης από τα δύο συστήματα παρουσιάζουν μια διαφορά του 21%, όπου παρατηρείται υπεροχή του συμβατικού βιολογικού αντιδραστήρα στην απομάκρυνση COD. Η διαφορά απόδοσης της μονάδας φυσικών συστημάτων στην απομάκρυνση COD από BOD_5 μειώθηκε κατά 35%. Η καλύτερη απόδοση των δεξαμενών σταθεροποίησης στο να απομακρύνουν BOD_5 απ' ότι COD, έχει παρατηρηθεί και σε άλλα συστήματα δεξαμενών σταθεροποίησης [4,5]. Εντούτοις η απόδοση παραμένει ικανοποιητική, δεδομένου ότι η χημική επεξεργασία προέρχεται με φυσικό τρόπο χωρίς καμία ενεργειακή και χημική προσθήκη στο σύστημα.

SS

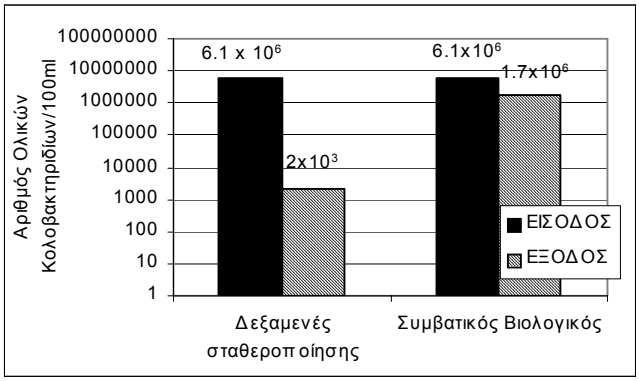
Μία από τις αρχές λειτουργίας ενός συστήματος βιολογικού καθαρισμού, είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών πριν τη διάθεση των εκροών είτε σε επιφανειακά νερά είτε για επαναχρησιμοποίηση. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 και στο Σχήμα 1, η μείωση των SS στο φυσικό σύστημα και στη συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία, είναι της τάξης του 51% και 55%, από 141mg/lt SS της εισροής, σε 69mg/lt και 61mg/lt SS της εκροής των δύο συστημάτων αντίστοιχα. Στις δεξαμενές σταθεροποίησης το μεγαλύτερο ποσοστό της συγκέντρωσης των SS, προφανώς προέρχεται από τα άλγη που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του νερού. Η απομάκρυνση SS είναι της ίδιας τάξης στα δύο συστήματα, ενισχύοντας πάλι το γεγονός ότι παρά την απουσία προσθήκης χημικών μέσων συσσωμάτωσης στην πειραματική διάταξη δεξαμενών σταθεροποίησης, η διεργασία της καθίζησης και απομάκρυνσης αιωρούμενων είναι ικανοποιητικότατη.

Ολικά/Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια

Ο γεωμετρικός μέσος όρος Ολικών και Κοπρανώδη Κολοβακτηροειδών των εισρεόμενων αποβλήτων από 6.1 x 10^6/100ml και 3.2 x 10^6/100ml μειώθηκε στο σύστημα δεξαμενών σταθεροποίησης σε 2 x 10^3/100ml και 9.9 x 10^2/100ml, ενώ στο δευτεροβάθμιο βιολογικό σε 1.7 x $10^6$100ml και 1.1 x 10^6/100ml αντίστοιχα (Σχήμα 2).

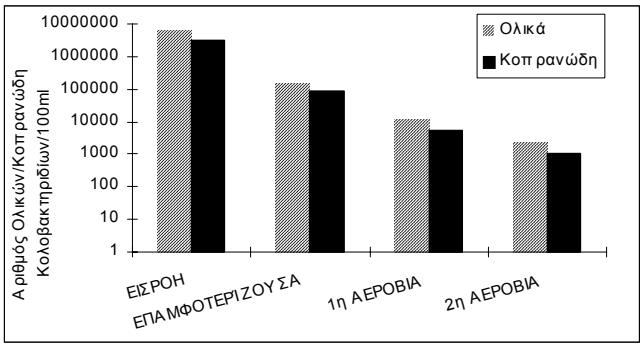
Είναι φανερό ότι η απολυμαντική δράση των δεξαμενών σταθεροποίησης επιτυγχάνει απομάκρυνση κατά 99.97% στον αριθμό των κολοβακτηροειδών. Αντίθετα το μικροβιακό φορτίο στη συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία δεν απομακρύνεται ικανοποιητικά (απομάκρυνση Ολικών και Κοπρανώδη κατά 72% και 64%, αντίστοιχα).

Οπως φαίνεται στο Σχήμα 3, κάθε επιμέρους δεξαμενή σταθεροποίησης μειώνει κατά 1 λογαριθμική μονάδα τον αριθμό των ολικών και κοπρανώδη κολοβακτηροειδών, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης κολοβακτηροειδών στην επαμφοτερίζουσα, την 1η αερόβια και την 2η αερόβια



Σχήμα 2. Αριθμός Ολικών Κολοβακτηροειδών/100ml στην είσοδο και έξοδο του σύστηματος δεξαμενών σταθεροποίησης και συμβατικής επεξεργασίας

δεξαμενή, είναι 97%, 94% και 82% για τα ολικά και 97%, 92% και 81% για τα κοπρανώδη αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι η επαμφοτερίζουσα έχει μια ελαφρά υπεροχή στη διεργασία απολύμανσης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες αερόβιες δεξαμενές. Η συνολική απόδοση της μονάδας φυσικών συστημάτων είναι πολύ ικανοποιητική, λαμβάνοντας υπόψη την απουσία προσθήκης απολυμαντικού χημικού μέσου.



Σχήμα 3. Αριθμός Ολικών Κολοβακτηροειδών/100ml στις διαδοχικές δεξαμενές σταθεροποίησης

Οι εκροές συνήθως των δεξαμενών σταθεροποίησης οδηγούνται σε ταμιευτήρα για άρδευση κατά το καλοκαίρι, άρα τα απόβλητα υφίστανται περαιτέρω μικροβιακή απομάκρυνση. Αυτό οφείλεται στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην απολύμανση στα συστήματα δεξαμενών σταθεροποιήσης [6] σε συνδυασμό με την αύξηση του χρόνου παραμονής των αποβλήτων στον ταμιευτήρα. Στην περίπτωση που οι εκροές κατά το χειμώνα, ίσως να μην πληρούν τα αντίστοιχα μικροβιακά όρια απευθείας διάθεσης σε υδάτινο αποδέκτη, προτείνεται περιοδική χλωρίωση κατά τη συγκεκριμένη περίοδο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η απομάκρυνση BOD_5 και SS από τη σειρά δεξαμενών σταθεροποίησης, ήταν ικανοποιητικότατη σε σχέση με τη συμβατική βιολογική επεξεργασία. Οι δεξαμενές σταθεροποίησης παρουσιάζουν μεγάλη απόδοση στην απομάκρυνση κολοβακτηροειδών κατά μία λογαριθμική μονάδα σε κάθε δεξαμενή, ενώ αντίθετα παρουσιάζουν υστέρηση στην απομάκρυνση του COD σε σύγκριση με τη συμβατική μονάδα.

Συμπερασματικά, η σειρά δεξαμενών σταθεροποίησης αποτέλεσε ένα αξιόπιστο φθηνό σύστημα μείωσης του οργανικού ρυπαντικού φορτίου με ελάχιστες ανάγκες σε ενέργεια και συντήρηση, τα οποία περιορίστηκαν κυρίως σε κάποια περιοδική παρακολούθηση για τυχόν ξεβουλώματα των σωλήνων μεταξύ των δεξαμενών, απομάκρυνση κλαδιών, χόρτων, σακούλων από την

επιφάνεια αυτών κ.λπ. Σε περιπτώσεις επέκτασης μιας υπάρχουσας πρωτοβάθμιας μονάδας καθαρισμού σε χωριά και οικισμούς, ένα σύστημα δεξαμενών σταθεροποίησης μπορεί αποτελεσματικά να υποκαταστήσει τη βιολογική βαθμίδα μιας συμβατικής Μ.Β.Κ, λόγω της καλής ποιότητας εκροής και των χαμηλών λειτουργικών εξόδων που απαιτεί, με την προυπόθεση ότι υπάρχει επαρκής χώρος εγκατάστασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Crites, R., and Tchobanoglous, G., 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*.Mc-Graw Hill.
2. Αγγελάκης, Α., Τσαγκαράκης, Κ., Δεσποτάκης, Β., και Παπαδογιαννάκης, Ν., 1999. *Καταγραφή και χαρτογράφηση έργων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων*. Τεχνική έκθεση. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε/Ινστ Ηρακλείου. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.
3. Tsagarakis, K., Mara, D., Horan, N., and Angelakis, A., 2000. Small municipal wastewater treatment plants in Greece. *Wat Sc.Techn* 41 (1) 41-48.
4. Papadopoulos, A. Parisopoulos, G. Papadopoulos, F. Karteris, A. 2001. Variations of COD/BOD_5 ratio at different units of a wastewater stabilization pond pilot treatment facility. *Proc. 7th International conf. on Env Science and Technology. 2001. Syros.* vol C-posters. pp. 369- 376.
5. Parisopoulos, G. Papadopoulos, A. Papadopoulos, F. Karteris, A. 2002. Comparative design and performance analysis of three different in configuration waste stabilization ponds pilot units in a mediterranean-temperate climate. *Proc. IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region. Iraklio.* Book 1. pp. 361- 369.
6. Cutris T and Mara D. 1994. *The effect of sunlight on mechanisms for the die-off of Faecal Coliform bacteria in Waste Stabilization Ponds.* Research Monographs No1, Dept of Civil Eng., University of Leeds, U.K.

ΟΡΙΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ REMOS ΣΤΟ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΝΕΣΤΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.

Α. Ψιλοβίκος[1], Κ. Αλμπανάκης[1], Σ. Μαργώνη[1], Αρ. Ψιλοβίκος[1] και Χ. Μακρυγιώργος[2]

[1]Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, 54124, Θεσ/νίκη

[2]Διεύθυνση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων – ΔΑΥΕ/ΔΕΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εγκατάσταση και λειτουργία ομάδας σταθμών παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων του δικτύου REMOS στο δέλτα του Νέστου, παρέχει χρήσιμα στοιχεία για τη διαχείρισή του. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτουν ότι τόσο ο ποταμός Νέστος, όσο και η λιμνοθάλασσα του Αγιάσματος λειτουργούν ομαλά με φυσικό τρόπο από πλευράς τροφοδοσίας σε νερό καλής ποιότητας καθόλη τη διάρκεια του έτους. Εξασφαλίζεται επίσης και η τροφοδοσία και η ομαλή λειτουργία των υπόγειων υδροφορέων με νερό καλής ποιότητας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο. Η συνεχής παρακολούθηση των μετρήσεων του REMOS συμβάλλει στη βέλτιστη διαχείριση της περιοχής του δέλτα και στην πρόληψη ζημιών λόγω εκτάκτων περιστατικών.

Λέξεις Κλειδιά: Νέστος, Δέλτα, Υδατικοί Πόροι, Περιβάλλον, REMOS.

SOME DATA OF THE OPERATION OF REMOS SYSTEM IN NESTOS DELTA FOR THE QUANTITATIVE AND QUALITATIVE MONITORING OF WATER RESOURCES AFTER THE DAM CONSTRUCTION

A. Psilovikos[1], K. Albanakis[1], S. Margoni[1], Ar. Psilovikos[1] and Ch. Makrygiorgos[2]

[1]Department of Physical & Environmental Geography, School of Geology, AUTH, 54124, Thessaloniki

[2]National Electricity Corporation (DAYE/DEH)

ABSTRACT

A group of stations of the Remote Environmental Monitoring System (REMOS) was installed in the deltaic plain of Nestos River after the construction and operation of the dams of Thesavros and Platanovrysi. The so far obtained data of water level, conductivity/salinity and dissolved oxygen of the water reveal that the natural processes continue at present as in the past. The river channel has continuous flow of good quality water that fed both the underground aquifers and the coastal zone. The lagoon has continued normal exchange of saline water from the sea and fresh water from the

aquifers at the deltaic front area. REMOS contributes to the management and the sustainable development of the entire area.

Key Words: Nestos, Delta, Water Resources, Environment, REMOS

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεγάλες ανάγκες της περιοχής Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης σε ενέργεια, σε συνδυσμό και με τις μεγάλες και πιεστικές ανάγκες σε αρδευτικό νερό για τις καλλιέργειες των εύφορων πεδινών της εκτάσεων, οδήγησαν στο σχεδιασμό και στην κατασκευή των υδροηλεκτρικών έργων του Νεστου, στο χώρο της ενδοορεινής του λεκάνης. Φυσικά τα έργα αυτά είναι κατ' εξοχήν αντιπλημμυρικού χαρακτήρα γιατί δεσμεύουν τις πλημμυρικές παροχές του ποταμού στους ταμιευτήρες των φραγμάτων και διαχειρίζονται το νερό για όλες τις χρήσεις.

Ο αρχικός σχεδιασμός της ΔΕΗ περιελέμβανε των κατασκευή των ταμιευτήρων του Θησαυρού, της Πλατανόβρυσης και του Τεμένους από τα ανάντη προς τα κατάντη. Το 1997-1998 άρχισε η λειτουργία του ΥΗΣ Θησαυρού και το 2000-2001 άρχισε η λειτουργία του ΥΗΣ Πλατανόβρυσης, ενώ το έργο του Τεμένους δεν έχει κατασκευστεί ακόμη.

Κατά την περίοδο της κατασκευής των υδροηλεκτρικών έργων είχαν εκφραστεί φόβοι από ορισμένους επιστήμονες [3] και ορισμένες οικολογικές οργανώσεις της περιοχές (Οικολογική Κίνηση Δράμας) ότι η κατασκευή και η λειτουργία των έργων αυτών θα προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στο υδατικό δυναμικό και στο περιβάλλον του Νέστου.

Μια από τις επιπτώσεις αυτές αναμένονταν να είναι η μηδενική παροχή της κοίτης του Νέστου στη δελταϊκή του πεδιάδα κατά τους θερινούς μήνες, κυρίως όμως κατά τον Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο, γεγονός που θα είχε οδυνηρές συνέπειες στους υπόγειους υδροφορείς, στα οικοσυστήματα και στις αρδεύσεις της περιοχής.

Για το λόγο αυτό τόσο η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων [4], όσο και η εκδοθείσα ΚΥΑ 18492/19-09-1996 προέβλεψαν τη λήψη αυστηρών όρων – ενεργειών και την εκτέλεση έργων με τα οποία θα μειώνονταν ή θα εξαλείφονταν οι επιπτώσεις αυτές. Ένας από τους βασικούς όρους της ΚΥΑ αυτής ήταν η παρακολούθηση της λειτουργίας του φυσικού περιβάλλοντος (Monitoring) μέσω της εγκατάστασης και λειτουργίας μόνιμου συστήματος παρακολούθησης των ποτάμιων και ατμοσφαιρικών διεργασιών. Τον όρο αυτό ανέλαβε να υλοποιήσει η ερευνητική ομάδα «ΠΕΡΣΕΑΣ» του ΑΠΘ για λογαριασμό της ΔΑΥΕ/ΔΕΗ με σειρά ερευνητικών προγραμμάτων, τα οποία οδήγησαν στην εγκατάσταση και λειτουργία ενός πλήρους αυτοματοποιημένου τηλεμετρικού συστήματος γνωστού με το όνομα REMOS (Remote Environmental Monitoring System) οργανωμένου σε δίκτυο με τρεις ομάδες σταθμών [6,7].

2. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ REMOS ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΝΕΣΤΟΥ

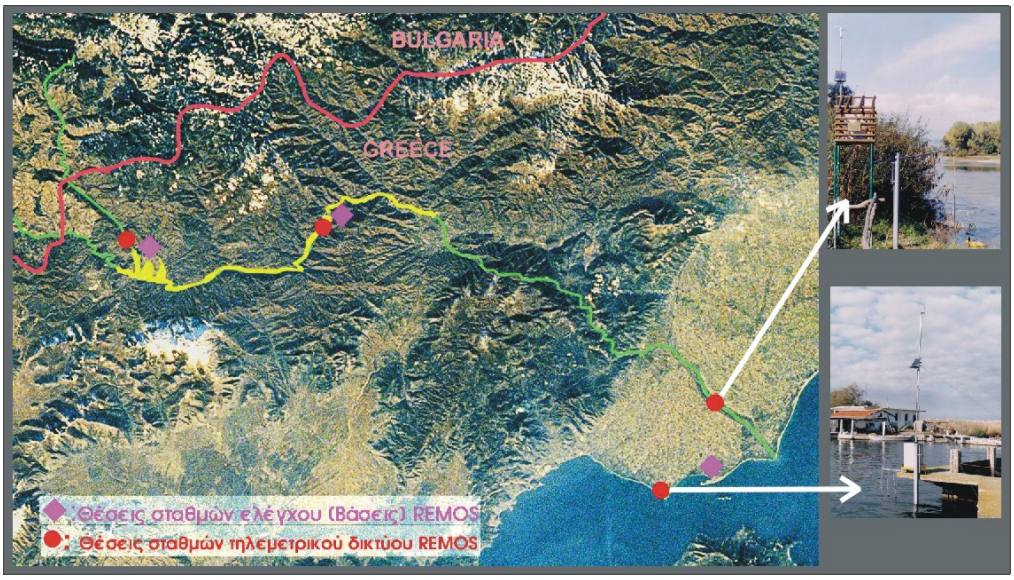
Πρόκειται για το δίκτυο της **Κατώτερης Ομάδας** σταθμών που έχει εγκατασταθεί στο χώρο της δελταϊκής πεδιάδας του Νέστου και περιλαμβάνει (Σχήμα 1):

- Το **Σταθμό Βάσης**, εγκατεστημένο στο κτίριο του Συνεταιρισμού Ιχθυοτρόφων Καβάλας στην Κεραμωτή. Στο σταθμό αυτό συγκεντρώνονται όλα τα στοιχεία των μετρήσεων και μέσω τηλεφωνικής γραμμής και modem είναι προσβάσιμα από τους χρήστες.
- Τον **Πρώτο Περιφερειακό Σταθμό** (Π.Σ.) εγκατεστημένο στην κοίτη του Νέστου ΝΑ της Χρυσούπολης, στη θέση του κέντρου **«ΝΕΣΤΟΣ»** ο οποίος παρακολουθεί τη στάθμη του νερού, τις θερμοκρασίες του νερού και του αέρα, το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο, την αγωγιμότητα και το οξειδοαναγωγικό δυναμικό (Redox) του νερού σε 24ωρη βάση.
- Το **Δεύτερο Περιφερειακό Σταθμό** (Π.Σ) εγκατεστημένο στη λιμνοθάλασσα (ιχθυοτροφείο) του **Αγιάσματος**, ο οποίος παρακολουθεί τη στάθμη του νερού, τη θερμοκρασία του νερού και του αέρα, το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο, την αλατότητα και το Redox του νερού σε 24ωρη βάση.

Οι λόγοι που οδήγησαν στην εγκατάσταση των δύο Περιφερειακών Σταθμών στο δέλτα του Νέστου ήταν η συνεχής παρακολούθηση:

- Των ποσοτικών και ποιοτικών (βασικών) χαρακτηριστικών του νερού στην κοίτη του Νέστου, προ των εκβολών. Με τον τρόπο αυτό θα διαπιστώνονταν αν ήταν αληθινές οι σχετικές προβλέψεις για την ξήρανση του Νέστου κατά τη θερινή περίοδο [3] και θα προτείνονταν μέτρα για την εξασφάλιση της ελάχιστης παροχής στην κοίτη του ποταμού που προέβλεπε η σχετική ΚΥΑ 18412/19-09-1996.
- Των ποσοτικών και ποιοτικών (βασικών) χαρακτήρων του νερού στη λιμνοθάλασσα (ιχθυοτροφείο) του Αγιάσματος. Με τον τρόπο αυτό θα διαπιστώνονταν αν ήταν αληθινές οι προβλέψεις των οικολογικών οργανώσεων για την αλλοίωση της λειτουργίας των λιμνοθαλασσών και την καταστροφή των ιχθυοπληθυσμών και της παραγωγής.

Το δίκτυο του συστήματος REMOS στο δέλτα του Νέστου λειτουργεί περισσότερο από δύο (2) έτη με 6 μήνες δοκιμαστικής λειτουργίας και 18 μήνες συνεχούς λειτουργίας και καταγραφής παραμέτρων που παρουσιάζονται και σχολιάζονται στη συνέχεια.



Σχήμα 1. Δίκτυο Ομάδων Σταθμών R.E.MO.S. Στις φωτογραφίες διακρίνονται οι Περιφερειακοί Σταθμοί α.) στην κοίτη του Νέστου ΝΑ της Χρυσούπολης (επάνω δεξιά) και β) στην λιμνοθάλασσα Αγιάσματος (κάτω δεξιά).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τα στοιχεία καταγραφής των περιφερειακών σταθμών του **ΝΕΣΤΟΥ** και του **ΑΓΙΑΣΜΑΤΟΣ** παρουσιάζονται εκείνα που κρίνονται απαραίτητα για να δείξουν τον τρόπο λειτουργίας του ποτάμιου συστήματος και των λιμνοθαλασσών και συγκεκριμένα:

- Για το **ΝΕΣΤΟ**, τα στοιχεία της **στάθμης**, της **αγωγιμότητας** και του **διαλυμένου στο νερό οξυγόνου** (Σχήμα 2).
- Για το **ΑΓΙΑΣΜΑ** τα στοιχεία της **στάθμης** της **αλατότητας** και του **διαλυμένου στο νερό οξυγόνου** (Σχήμα 3).

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις:

3.1 Αποτελέσματα Σταθμού «ΝΕΣΤΟΣ»

- Υπάρχει συνεχής ροή νερού στην κοίτη του Νέστου, με διακυμάνσεις οι οποίες δεν υπερβαίνουν τα 0,6 μέτρα. Οι περίοδοι υψηλής στάθμης που παρατηρούνται και έχουν μικρή χρονική διάρκεια οφείλονται στη λειτουργία των ΥΗΣ Θησαυρού και Πλατανόβρυσης προκειμένου να καλύψουν ανάγκες σε περιόδους αιχμής της ζήτησης και να εξομαλύνουν το δίκτυο.
- Οι πλημμυρικές παροχές του Νέστου ανάντη των ταμιευτήρων συγκρατούνται στις φραγματογενείς λίμνες και δε συνεχίζουν τη ροή προς τις εκβολές. Επομένως υπάρχει εξομάλυνση της ροής του Νέστου στην κοίτη κατάντη των ΥΗΣ Θησαυρού και Πλατανόβρυσης.

- Η αγωγιμότητα έχει χαμηλές τιμές και η κύρια διακύμανσή της είναι μεταξύ 200 και 300 μS/cm περίπου. Συνήθως ακολουθεί αντίθετη πορεία από αυτή των διακυμάνσεων της στάθμης (υψηλή στάθμη – χαμηλή αγωγιμότητα), αλλά οι διαφορές των τιμών είναι εξαιρετικά μικρές. Αυτό βέβαια δείχνει την καλή ποιότητα του νερού από πλευράς διαλυμένων σ'αυτό αλάτων, γεγονός που έχει θετική επίδραση στην τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων της δελταϊκής πεδιάδας.
- Το οξυγόνο διατηρεί τιμές ικανοποιητικές (5-10 mg/l) και μεγαλύτερες ακόμη τιμές (μέχρι 14 mg/l) κατά περιόδους με μικρές διακυμάνσεις. Αποτελεί επομένως ένα επιπλέον στοιχείο για την ποιότητα του νερού στο χώρο της δελταϊκής πεδιάδας.

3.2 Αποτελέσματα σταθμού «ΑΓΙΑΣΜΑ»

- Οι διακυμάνσεις της στάθμης της λιμνοθάλασσας δείχνουν την ομαλή λειτουργία των παλιρροϊκών κύκλων, αλλά στο χρονικά συντμημένο διάγραμμα φαίνεται καθαρά μόνο ο κύκλος που οφείλεται στις ατμοσφαιρικές ή και στις αστρονομικές συνθήκες (περίπου εβδομαδιαίος). Οι ημιημερήσιοι κύκλοι εκφράζονται ως μικρές αιχμές συνήθως μέσα στην καμπύλη του διαγράμματος.
- Το ύψος των μεγάλων ατμοσφαιρικών κυρίως κύκλων κυμαίνεται μεταξύ 0,30 και 0,40 μέτρα, ενώ το ύψος των μικρών κύκλων (ημιημερήσιων) κυμαίνεται μεταξύ 0,10 και 0,20 μέτρα.
- Η μεγάλη αιχμή που παρατηρείται στο διάγραμμα από 24/12/2000 μέχρι 23/01/2001 αποτέλεσε ένα εξαιρετικό φαινόμενο για το θαλάσσιο χώρο της Ελλάδας, αφού καταγράφηκε επίσης από τους σταθμούς της Σαντορίνης και της λιμνοθάλασσας του Μεσολογγίου – Αιτωλικού ταυτόχρονα και με την ίδια ένταση και διάρκεια [1].
- Οι τιμές της αλατότητας είναι υψηλές για λιμνοθάλασσα και κυμαίνονται μεταξύ 25 και 30‰, παρουσιάζουν όμως διακυμάνσεις οι οποίες έχουν παρόμοια πορεία με αυτή των παλιρροιών. Δεδομένου ότι ο σταθμός του REMOS βρίσκεται στο εσωτερικό του στομίου της λιμνοθάλασσας, αυτές οι τιμές είναι φυσιολογικές. Προς το εσωτερικό όμως της λιμνοθάλασσας οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 15 και 20‰. Υπάρχουν δύο περιοχές της καμπύλης του διαγράμματος (Σχήμα 2) στις οποίες η αλατότητα έφτασε σε ελάχιστες τιμές 8 με 10‰, η πρώτη στο τέλος Αυγούστου του 2000 και η δεύτερη στα μέσα Ιουνίου του 2001. Μετά από εξέταση και διασταύρωση των στοιχείων προέκυψε ότι η μεγάλη αυτή πτώση της αλατότητας οφείλεται σε πρόσχωση της περιοχής του στομίου της λιμνοθάλασσας. Με τον τρόπο αυτό μειώθηκε ο όγκος του θαλασσινού νερού που εισέρρεε στη λιμνοθάλασσα και αυξήθηκε σημαντικά ο όγκος του γλυκού νερού των υπόγειων υδροφορέων που τροφοδοτούνταν από τη δελταϊκή πεδιάδα στη λιμνοθάλασσα. Έτσι αποδείχθηκε η συμμετοχή της εισροής γλυκού νερού από τους υδροφορείς του δέλτα προς τη λιμνοθάλασσα, η οποία είναι σημαντική για τη λειτουργία της. Επιβεβαιώθηκε επίσης η ομαλή λειτουργία

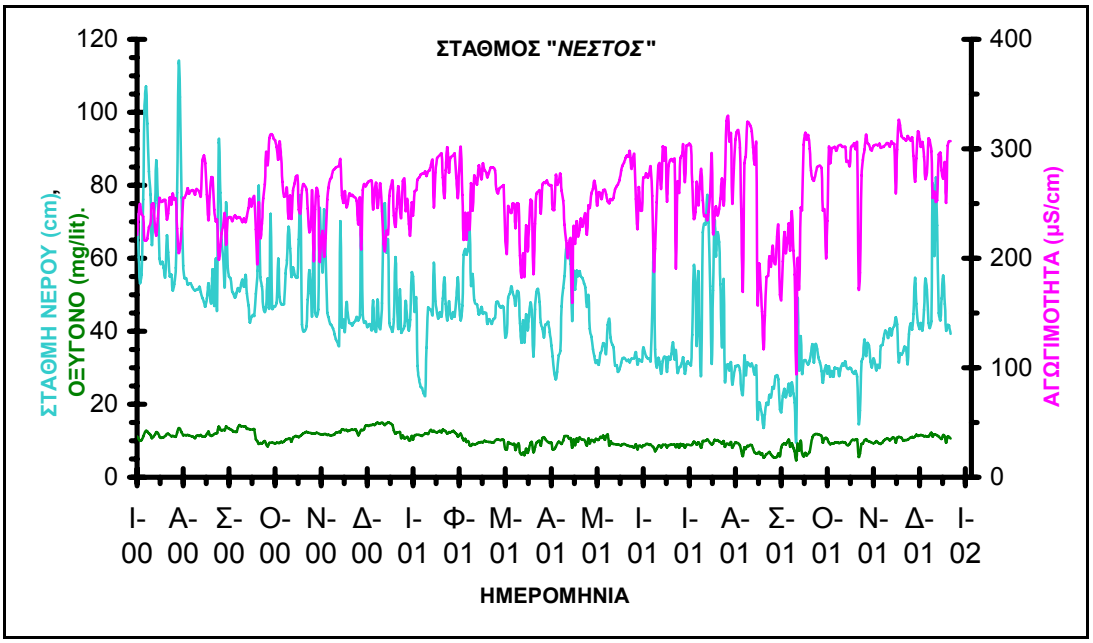
του όλου περιβάλλοντος στο χώρο της δελταϊκής πεδιάδας, η οποία συνεχίζεται σήμερα, μετά τη λειτουργία των έργων της ΔΕΗ στο Νέστο. Η διαπίστωση αυτή μπορεί να λειτουργήσει και αντίστροφα. Δηλαδή, η διαπίστωση ότι το σύστημα REMOS για μεγάλη πτώση της αλατότητας στη λιμνοθάλασσα, αποτελεί προειδοποίηση προς τους ιχθυοτρόφους ότι έχει προσχωθεί το στόμιο της λιμνοθάλασσας και χρειάζεται καθαρισμό [2].

- Η περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο είναι ικανοποιητική με τιμές 5-10 mg/l συνήθως. Όταν προσχώνεται το στόμιο της λιμνοθάλασσας και μειώνεται η κυκλοφορία του νερού, μειώνεται δραματικά και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μέχρι ελαχίστων τιμών 1mg/l. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να γίνεται παρακολούθηση των μετρήσεων του REMOS και μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο (real time) ώστε να ειδοποιούνται οι ιχθυοτρόφοι και να αποφεύγονται οι θάνατοι των ψαριών λόγω ασφυξίας [8].

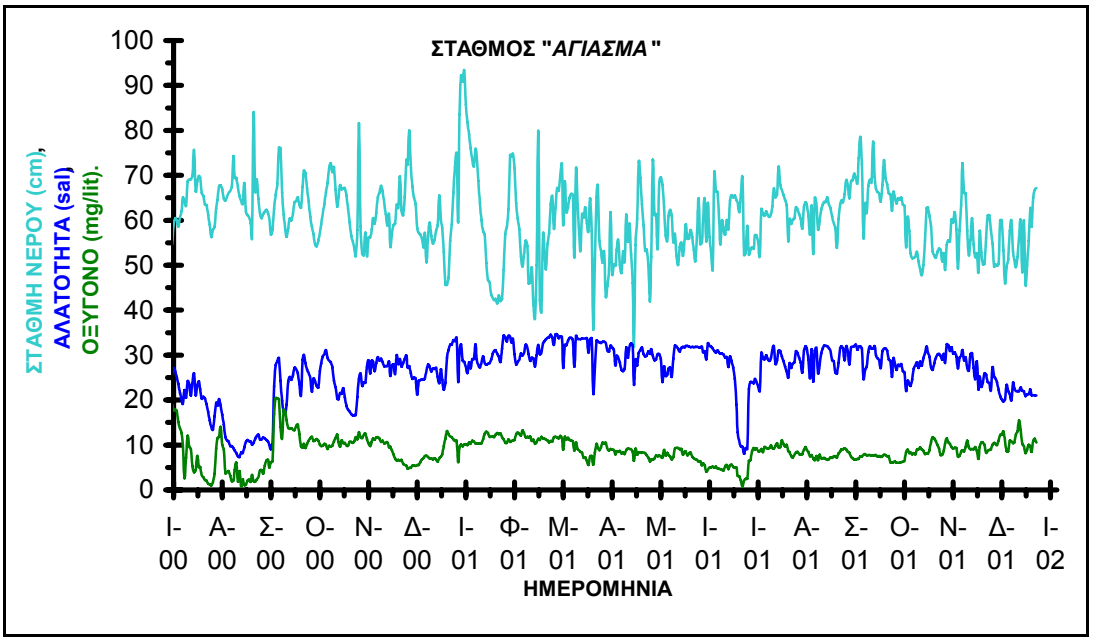
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα στοιχεία καταγραφών του δικτύου REMOS στο δέλτα του Νέστου, τα οποία εξετάστηκαν στην εργασία αυτή προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η ροή νερού στην κοίτη του Νέστου είναι συνεχής καθόλη τη διάρκεια του έτους και έχει εξομαλυνθεί λόγω της λειτουργίας των υδροηλεκτρικών έργων που εξασφαλίζουν και την αντιπλημμυρική προστασία των καλλιεργειών της δελταϊκής πεδιάδας.
- Η ποιότητα του νερού είναι επίσης καλή. Επομένως η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων εξασφαλίζεται συνεχώς με νερό καλής ποιότητας και η τροφοδοσία της θαλάσσιας περιοχής των εκβολών του ποταμού επίσης.
- Οι λιμνοθάλασσες του μετώπου της δελταϊκής πεδιάδας λειτουργούν πλήρως ως φυσικά συστήματα με αλμυρό νερό από τη θάλασσα και σε γλυκό νερό από τους υπόγειους υδροφορείς. Για το λόγο αυτό είναι εξαιρετικά παραγωγικές (καλή ιχθυοπαραγωγή).
- Το δίκτυο του συστήματος REMOS συμβάλλει αποφασιστικά τόσο στην παρακολούθηση του περιβάλλοντος στη δελταϊκή πεδιάδα του Νέστου, όσο και στη λήψη αποφάσεων για τη βέλτιστη διαχείρισή της [5]. Ιδιαίτερη σημασία έχει η λήψη αποφάσεων σε περιπτώσεις που υπάρχουν κίνδυνοι καταστροφών για το περιβάλλον και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.



Σχήμα 2. Στοιχεία καταγραφής του Περιφερειακού Σταθμού του Νέστου.



Σχήμα 3. Στοιχεία καταγραφής του Περιφερειακού Σταθμού της λιμνοθάλασσας Αγιάσματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αλμπανάκης, Κ., Ψιλοβίκος, Αρ., Μαργώνη, Σ. και Υφαντής, Β., 2001. Συμβολή των Συστημάτων REMOS στην παρακολούθηση παλιρροϊκών φαινομένων και στη διαχείριση παράκτιων περιοχών. *Πρακτικά του 10ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Ιχθυολόγων με τίτλο «Διαχείριση και Αειφορική Ανάπτυξη Υδάτινων και Παρυδάτιων Περιοχών»,* Χανιά, σελ. 411-414.
2. Albanakis, K., Psilovikos, Ar., Margoni, S. & Styllas, M., 2001. Some resent observations on the Nestos river sediment outflow and dispersion in the deltaic region. *Interreg Meeting*, Kavala.
3. Διαμαντής, Ι., 1991. Γεωμορφολογικό – Γεωλογικό περιβάλλον και υδρογεωλογικές συνθήκες στο δέλτα και στην ορεινή λεκάνη του ποταμού Νέστου. *Πρακτικά Συνάντησης «Ο Νέστος : το φυσικό περιβάλλον και τα προβλήματά του».* ΓΕΩΤΕΕ, Καβάλα, σελ 78-121.
4. Παρασκευόπουλος και Συνεργάτες, 1994. *Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την ευρύτερη περιοχή της Ελληνικής λεκάνης του ποταμού Νέστου.Φορέας ΔΑΥΕ/ΔΕΗ*, Αθήνα.
5. Psilovikos, A., Laopoulos, Th., Albanakis, K., Kosmatopoulos, K., Psilovikos, Ar. & Margoni, S., 2001. Remote Environmental Monitoring System (R.E.MO.S.) for integrated water and wetland management. *Proceedings of International Conference in Information Technologies, Agrobiotechnologies, Water Management Technologies*. Technological Park, Thessaloniki.
6. Psilovikos Aris, 2001. Management of Nestos river and monitoring of Environmental Processes, *INTERREG II, Εξωτερικά Σύνορα, Μέτρο 6.3. Συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών ιδρυμάτων με θέμα «Κατάρτιση μηχανικών και μεταφορά τεχνογνωσίας σε θέματα προστασίας περιβάλλοντος της λεκάνης απορροής του Νέστου στην Ελλάδα και τη Βουλγαρία»*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη. Τα πρακτικά είναι υπό δημοσίευση.
7. Ψιλοβίκος Αντ. και Συνεργάτες, 1998. Έρευνα παρακολούθησης των διεργασιών του ποτάμιου συστήματος του Νέστου μέσω της εγκατάστασης και λειτουργίας πειραματικού αυτοματοποιημένου τηλεμετρικού δικτύου και έρευνα της δυναμικής ισορροπίας των φερτών υλών. *Ερευνητικό Πρόγραμμα της Επιτροπής Ερευνών του ΑΠΘ, Κωδ. 7830. Φορέας ΔΑΥΕ/ΔΕΗ*, Θεσσαλονίκη.
8. Ψιλοβίκος, Α., Αλμπανάκης, Κ., Κοσματόπουλος, Κ., Σουβατζόγλου, Γ. και Νεοφώτιστος, Π., 2000. Διαχείριση των σταθμών R.E.MO.S. που μετρούν περιβαλλοντικές παραμέτρους στην περιοχή της λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου-Αιτωλικού. *Πρακτικά του 9ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Ιχθυολόγων*, Μεσολλόγγι, σελ. 201-204.

ΑΡΔΕΥΣΗ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη[1], Ι. Τέντας[1], Α. Κολιού[2], Δ. Καλφούντζος[1], Ν. Παπανίκος[1]

[1]Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 38446 e-mail : msak@uth.gr

[2]Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. Κωνσταντά 141, Βόλος 38221

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνήθηκε η δυνατότητα χρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων της πόλεως Βόλου για άρδευση χλοοτάπητα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου ύστερα από τριτοβάθμια επεξεργασία και χλωρίωση. Χρησιμοποιήθηκε η υπόγεια στάγδην άρδευση. Πραγματοποιήθηκαν δύο επεμβάσεις. Η πρώτη επέμβαση αρδευόταν μόνο με νερό του αγροκτήματος και η δεύτερη αρδευόταν περιοδικά με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα από τον Βιολογικό καθαρισμό του Βόλου και νερό του αγροκτήματος. Οι παρατηρήσεις που έγιναν αφορούσαν την ξηρή βιομάζα του χλοοτάπητα, τη μέτρηση χλωροφύλλης και τη μέτρηση της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.

Λέξεις-κλειδιά : Χλοοτάπητας, υγρά απόβλητα, υπόγεια άρδευση, ποιότητα νερού

IRRIGATION OF GRASS WITH RECLAIMED MUNICIPAL WASTEWATER

M. Sakellariou-Makrantonaki[1], I. Tentas[1], A. Koliou[2], D. Kalfountzos[1], N. Papanikos[1]

[1]Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, School of Agricultural Sciences, University of Thessaly, Volos 38446 e-mail : msak@uth.gr

[2]DEYAMV Konstanta 141, Volos 38221

ABSTRACT

The ability of using the municipal wastewater of Volos city for grass irrigation in the University farm was studied, after the tertiary treatment and chlorination. The subsurface drip irrigation method was used. There have been two treatments. The first treatment was irrigated with water from the farm (fresh water) and the second with fresh water and reclaimed municipal wastewater from the biological treatment plant of Volos. The dry matter of the grass, the chlorophyll content and the soil moisture were measured. Significant differences between the two treatments were not observed.

Key-words : Grass, wastewater, subsurface drip irrigation, water quality.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έλλειψη καθαρού νερού τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει την διεθνή κοινότητα στην προσπάθεια εξεύρεσης νέων πηγών νερού. Μια τέτοια πηγή είναι και τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα.

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, όταν αποφεύγεται η διάθεσή τους σε υδάτινους αποδέκτες, μπορούν να αξιοποιηθούν με διάφορους τρόπους, σημαντικότεροι των οποίων είναι η άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων με σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη [1], η χρήση αυτών στη βιομηχανία και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων [7].

Η άρδευση των καλλιεργειών είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, γιατί α) αποφεύγεται η υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών, β) επιτυγχάνεται η φυσική τροφοδοσία του εδάφους και των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ανάγκη προσθήκης χημικών λιπασμάτων [7] και γ) αποτελούν έναν επιπλέον υδατικό πόρο, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα ανεπαρκείς.

Έρευνα και πειράματα άρδευσης με απόβλητα σε γκαζόν έχουν γίνει στην Αυστραλία [6] και την Τυνησία [3]. Στην Ελλάδα διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης των υγρών αποβλήτων της Λάρισας για άρδευση καλαμποκιού και βαμβακιού [5] και των υγρών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης για άρδευση ζαχαροτεύτλων [9], βαμβακιού[10], καλαμποκιού [8], των θερμοκηπιακών καλλιεργειών τομάτας, πιπεριάς, καθώς και του ανθοκομικού είδους ζέρμπερα [7].

Από τις εργασίες αυτές προκύπτει ότι η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έχει δώσει καλύτερα ή ίδια αποτελέσματα στην απόδοση των καλλιεργειών σε σύγκριση με το καθαρό νερό. Επίσης, δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές διαφορές στην ποιότητα της παραγωγής μεταξύ της άρδευσης με καθαρό νερό και με επεξεργασμένα απόβλητα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί η επίδραση της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα της πόλεως του Βόλου, σε καλλιέργεια χλοοτάπητα.

Η Υπόγεια Στάγδην Άρδευση (Υ.Σ.Α.) χαρακτηρίζεται ως μια σύγχρονη μέθοδος άρδευσης. Από σχετικές εργασίες, [12, 13, 14] διαπιστώθηκαν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την επιφανειακή άρδευση.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε πειραματικό αγρό του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Ο πειραματικός αγρός κατελάμβανε έκταση 150 m^2 περίπου. Τοποθετήθηκαν υπόγειοι σταλακτηφόροι σωλήνες σε βάθος 15 cm περίπου, που είχαν ισαποχή 40 cm, μήκος 24 m, ήταν τύπου RAM Φ17 της εταιρείας Netafim με ενσωματωμένους σταλακτήρες. Οι σταλακτήρες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, ισαποχής 30 cm, παροχής 1,6

lt/h σε πίεση λειτουργίας από 0,5 έως 4 Atm. Η έκταση αυτή χωρίστηκε σε δύο τεμάχια, εκτάσεως περίπου 48 m^2 (24×2 m) εκάστου, με διάδρομο μεταξύ τους μήκους 24 m και πλάτους 2 m (48 m^2). Το πρώτο τεμάχιο (ΥΚ), το οποίο χωρίστηκε σε 4 επαναλήψεις, αρδεύονταν μόνο με καθαρό νερό και το δεύτερο τεμάχιο (ΥΛ), το οποίο επίσης χωρίστηκε σε 4 επαναλήψεις, αρδεύονταν περιοδικά με νερό προερχόμενο από το βιολογικό καθαρισμό της πόλεως του Βόλου και με καθαρό νερό, εξαιτίας της ελαφράς αυξημένης αλατότητας [2, 7] που υπήρχε στα επεξεργασμένα απόβλητα αλλά κυρίως της αυξημένης συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου. Γινόταν μια άρδευση με λύμα και ακολουθούσαν 2 αρδεύσεις με νερό της γεώτρησης.

Η κεφαλή του δικτύου άρδευσης αποτελούνταν από τον πίνακα ελέγχου και την δεξαμενή υποδοχής των υγρών αποβλήτων κατασκευασμένη από PE, χωρητικότητας 5 m^3. Ο πίνακας ελέγχου περιείχε την κεντρική βαλβίδα ελέγχου, φίλτρο εμποτισμένο με ριζοαπωθητικό (Treflan), 3 ηλεκτροβάνες για τους σταλακτηφόρους, μανόμετρα και 3 φίλτρα. Η άρδευση πραγματοποιούνταν μέσω ενός προγραμματιστή άρδευσης. Σε κάθε αγωγό μεταφοράς τοποθετήθηκε ένας υδρομετρητής για την καταγραφή του καταναλισκόμενου όγκου νερού. Στο τέλος των αγωγών μεταφοράς είχαν τοποθετηθεί ειδικές βαλβίδες εκτόνωσης για την αποφυγή των εμφράξεων των υπόγειων σταλακτηφόρων σωλήνων.

Μετά την εγκατάσταση του αρδευτικού συστήματος, πραγματοποιήθηκε η σπορά του χλοοτάπητα στις 4-10-2001. Χρησιμοποιήθηκε το είδος *Festuca arundinacea* cv. Fine Lawn I, εξαιτίας της σχετικής ανθεκτικότητάς του στην αλατότητα [15]. Δεν πραγματοποιήθηκε λιπαντική αγωγή σε καμία μεταχείριση.

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς προσδιορίστηκε με τη βοήθεια του εξατμισιμέτρου τύπου Α. Η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε δύο ημέρες, εκτός εάν είχε προηγηθεί βροχή οπότε η άρδευση γινόταν αραιότερα. Οι αρδεύσεις έγιναν την περίοδο Οκτωβρίου-Νοεμβρίου 2001 (καθαρό νερό-εγκατάσταση της καλλιέργειας 55 mm) και Μαΐου-Σεπτεμβρίου 2002. Η δόση άρδευσης υπολογίστηκε από τον τύπο :

$$I_{da} = \frac{I_d}{E_a} \quad (1)$$

όπου I_{da} η πρακτική δόση άρδευσης, I_d η θεωρητική δόση άρδευσης και E_a ο βαθμός εφαρμογής του νερού [11]. Η I_d υπολογίστηκε από τον τύπο :

$$I_d = ASM \times R \times C \quad (2)$$

όπου ASM η διαθέσιμη υγρασία % κ.ο., R το βάθος ριζοστρώματος και C ο συντελεστής εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας. Ο βαθμός εφαρμογής του νερού λήφθηκε ως 0,95.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα καταγράφηκαν σε ωριαία βάση από πλήρως αυτοματοποιημένο μετεωρολογικό σταθμό που υπήρχε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου. Επίσης μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη με το φορητό χλωροφυλλόμετρο SPAD-502 της εταιρείας Minolta.

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους επί % κ.ο. χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος T.D.R. Τοποθετήθηκαν συνολικά 8 αισθητήρες στα

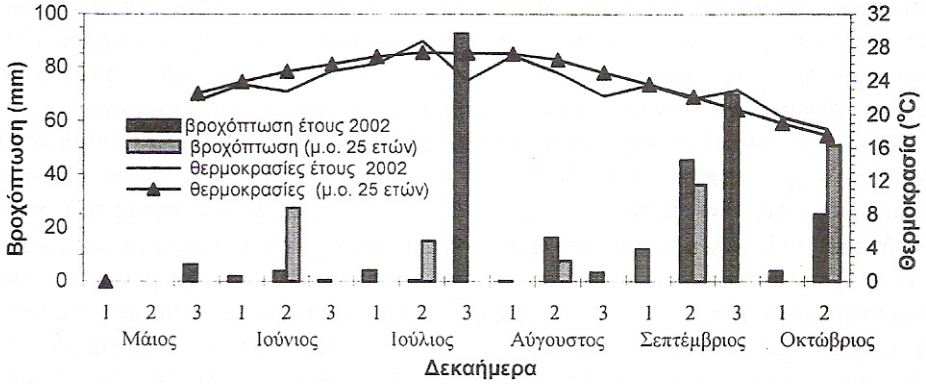
αντίστοιχα τεμάχια. Μετρήθηκαν οι υγρασίες στα βάθη 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75 cm.

Έγιναν μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων αποβλήτων και πάρθηκαν οι μέσοι όροι αυτών.

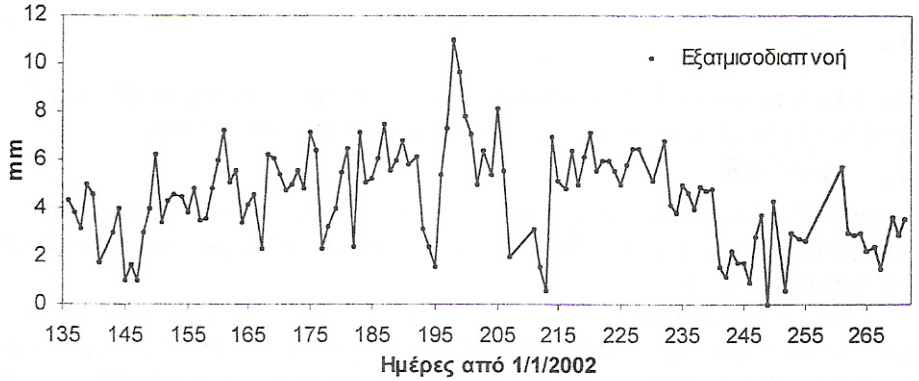
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Κλιματικά δεδομένα

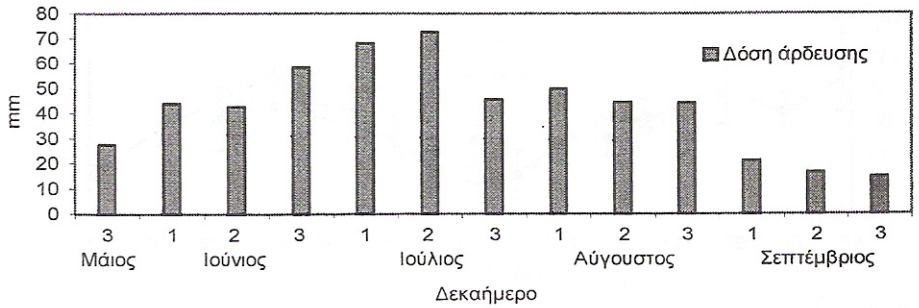
Τα μετεωρολογικά δεδομένα της καλλιεργητικής περιόδου 2002 δείχνουν ότι η περίοδος Μαΐου-Οκτωβρίου 2002 ήταν εξαιρετικά υγρή με διπλάσια περίπου βροχόπτωση (286 mm) σε σχέση με τα προηγούμενα έτη (138 mm, Σχ.1). Επίσης η περίοδος Μαΐου-Οκτωβρίου 2002 χαρακτηρίστηκε από ηπιότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις μέσες θερμοκρασίες των αντίστοιχων μηνών των τελευταίων 25 ετών. Έτσι το είδος Festuca είχε μια ευνοϊκή περίοδο ανάπτυξης διότι είναι ψυχρόφιλο είδος [15] και ευνοείται από αυξημένη εδαφική υγρασία.



Σχήμα 1. Ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής Βελεστίνου έτους 2002 και προηγούμενων ετών



Σχήμα 2. Ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής του χλοοτάπητα στο αγρόκτημα του Βελεστίνου κατά την περίοδο Μαΐου-Οκτωβρίου 2002.



Σχήμα 3. Τιμές δόσης άρδευσης ανά 10ημερο.

Οι ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής (Σχ.2) που μετρήθηκαν, ήταν συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή σε ημερήσια βάση. Οι μέγιστες τιμές εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκαν στις 17/7/02 και 18/7/02 (10,9 mm και 9,7 mm) ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στις 9/9/02 (0,6 mm).

3.2 Εξοικονόμηση νερού

Στο σχήμα 3 φαίνεται η κατανομή των δόσεων άρδευσης στις μεταχειρίσεις της υπόγειας άρδευσης. Οι μεγαλύτερες δόσεις άρδευσης δόθηκαν το 1° και το 2° δεκαήμερο του Ιουλίου (68,1 και 72,6 mm αντίστοιχα).

Χορηγήθηκαν συνολικά 550 mm νερού περίπου. Όσον αφορά το νερό προερχόμενο από τον βιολογικό καθαρισμό, χορηγήθηκαν συνολικά 204 mm περίπου στην μεταχείριση ΥΛ. Η εξοικονόμηση καθαρού νερού σε σχέση με την μεταχείριση ΥΚ ανέρχεται περίπου σε 37 %.

3.3 Ανάπτυξη της καλλιέργειας

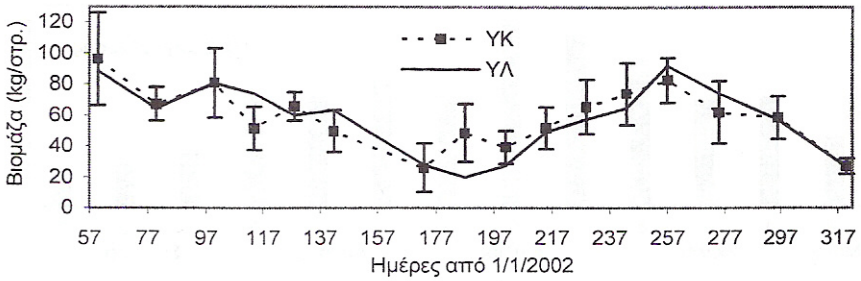
3.3.1 *Ξηρή βιομάζα*

Ο ρυθμός ανάπτυξης του χλοοτάπητα μετρήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα με κοπή της βιομάζας σε ύψος περίπου 8 εκ. Σε κάθε κοπή παίρνονταν δείγμα από τη νωπή βιομάζα κάθε τεμαχίου για τον υπολογισμό της ξηράς ουσίας.

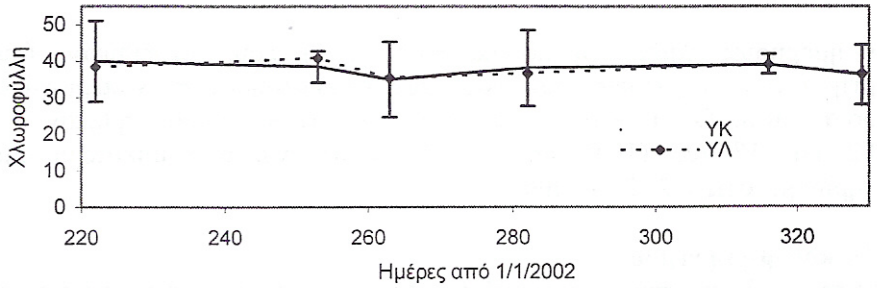
Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 16 κοπές της βιομάζας του χλοοτάπητα κατά την περίοδο 1/3/2002 έως 16/11/2002. Από τις μετρήσεις δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p =0.05) στην απόδοση των μεταχειρίσεων ΥΚ και ΥΛ (Σχ. 4). Οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτεύχθηκε στις 14/9/2002, με 92,4 kg/στρ. για τη μεταχείριση ΥΛ και 82,8 kg/στρ. για την ΥΚ.

3.3.2 *Χλωροφύλλη*

Πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις με το χλωροφυλλόμετρο SPAD-502 κατά την περίοδο 10/8 έως 25/11. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (Σχ. 5). Οι τιμές του χλωροφυλλόμετρου κυμάνθηκαν από 35.0 έως 39.9 για την μεταχείριση ΥΚ και από 35.5 έως 40.7 για την μεταχείριση ΥΛ (αδιάστατο μέγεθος).



Σχήμα 4. Ξηρή βιομάζα (οι κάθετες μπάρες αναφέρονται σε L.S.D.$_{p=0,05}$).



Σχήμα 5. Τιμές χλωροφύλλης (Οι κάθετες μπάρες αναφέρονται σε L.S.D.$_{p=0,05}$).

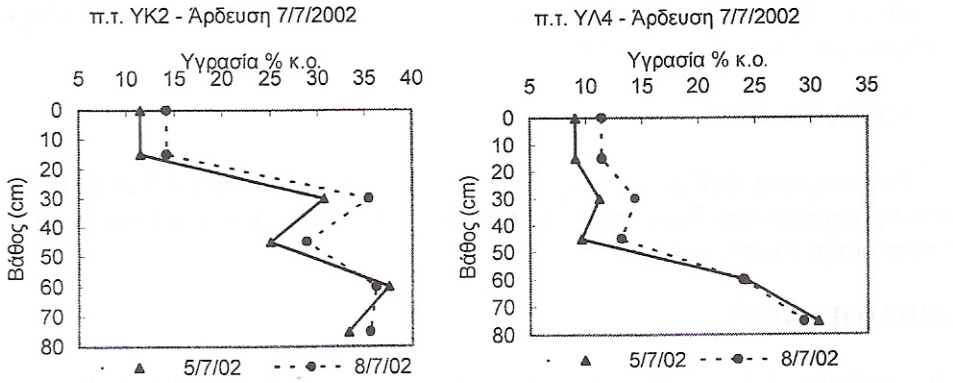
3.4 Φυσικές και χημικές ιδιότητες εδάφους και νερού

Από τις αναλύσεις εδάφους που πραγματοποιήθηκαν πριν την άρδευση (Πίν.1) βρέθηκε ότι το έδαφος ήταν καλά αποστραγγιζόμενο, ασβεστούχο, αργιλοπηλώδους υφής που ανήκει στην υπο-ομάδα των Typic Xerochrepts των Inceptisols. Επίσης, από τις μετρήσεις της υγρασίας διαπιστώθηκε η καλή διύγρανση της ζώνης του ριζοστρώματος (Σχ. 6)

Οι αναλύσεις του νερού του βιολογικού καθαρισμού (Πίν. 2) έδειξαν ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) ήταν πλησίον του ορίου καταλληλότητας για άρδευση καλλιεργειών, και η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου πολύ υψηλή. (κυμάνθηκε από 1000 mgr/lt έως 1650 mgr/lt, με επιτρεπτά όρια 355 mgr/lt [2]). Για το λόγο αυτό έγιναν εναλλάξ αρδεύσεις με καθαρό νερό στην μεταχείριση ΥΛ. Στο τέλος της αρδευτικής περιόδου δεν παρατηρήθηκε μεταβολή στο pH, την E.C. και τα ιχνοστοιχεία (Πίν. 3). Επειδή η άρδευση έγινε υπόγεια με σταγόνα και το λύμα δεν ήρθε σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο, δεν τίθενται όρια μικροβιολογικών χαρακτηριστικών του λύματος [4].

Πίνακας 1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Βάθος (cm)	Μηχ. Ανάλυση	$CaCO_3$ %	pH	P mg/kg	I.A.K. meq/100 gr	K meq/100gr	Οργανική ουσία %
0-30	CL	4,91	7,8	7	24,47	0,31	1,35
30-60	CL	7,77	7,9	10	27,6	0,22	1,07
60-90	CL	14,81	7,9	4	27,83	0,29	1,24



Σχήμα 6. Προφίλ εδαφικής υγρασίας

Πίνακας 2. Παράμετροι του νερού προερχόμενου από τον βιολογικό καθαρισμό

Παράμετρος	Μέσος όρος	Παράμετρος	Μέσος όρος	Παράμετρος	Μέσος όρος
Cl^- (mgr/lt)	1457,7	$N\text{-}NO_3$ (mgr/lt)	5,73	Fe^{3+} (mgr/lt)	0,303
SS (mgr/lt)	10,3	C.O.D. (mgr/lt)	40,5	Cu^{2+} (mgr/lt)	0,011
P_t (mgr/lt)	3,9	B.O.D. (mgr/lt)	17,5	Zn^{2+} (mgr/lt)	0,058
$N\text{-}NH_4$ (mgr/lt)	1,54	Αγωγιμότητα (ms/cm)	3,3	pH	8,38

Πίνακας 3. Εδαφολογική ανάλυση της μεταχείρισης ΥΛ.

Αρχή αρδευτικής περιόδου						
Βάθος	pH	EC (ds/m)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
0-30 cm	7,7	<3	4,2	4,34	1,32	4,72
30-60 cm	7,8	<3	5,36	5,2	1,52	3,12
Τέλος αρδευτικής περιόδου						
0-30 cm	7,8	<3	3,7	3,9	2,0	4,1
30-60 cm	7,8	<3	5,0	4,9	3,0	2,7

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έλλειψη υδατικών πόρων στη Θεσσαλία και επί πλέον το κόστος που απαιτείται για την άρδευση πρασίνου και πάρκων στους Δήμους, οδήγησε στη χρήση άλλων πηγών νερού, όπως είναι για τη συγκεκριμένη έρευνα τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα του Βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Βόλου. Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι τα εν λόγω απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άρδευση χλοοτάπητα με άριστα αποτελέσματα ανάπτυξης, υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιείται η υπόγεια στάγδην άρδευση και ακολουθείται το πρόγραμμα εναλλαγής φρέσκου νερού και λυμάτων. Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε ότι επιτεύχθηκε εξοικονόμηση

φρέσκου νερού της τάξης του 37 %. Το πείραμα παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον και συνεχίζεται για δεύτερη χρονιά.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Εκφράζονται ιδιαίτερες ευχαριστίες στο Δήμο Βόλου, στη Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. και στο προσωπικό του Βιολογικού καθαρισμού του Δήμου Βόλου για την ένθερμη υποστήριξη της παρούσης έρευνας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1) Angelakis, A.N., Bontoux, L., and Lazarova, V., 2002. Main challenges for water recycling and reuse in EU countries. Proceedings of the Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region. Iraklio, Crete, September 26-29, 71-80.
2) Ayers, R.S., and Westcot, D.W., 1985. *Water quality for agriculture.* F.A.O. Irrigation and Drainage Paper 29: 99-104, Rev. 1.
3) Bahri, A., Basset, C., Oueslati, F., Brissaud, F., 2001. Reuse of reclaimed wastewater for golf course irrigation in Tunisia. *Water Sci. Technol.,* 43(10) : 117-124.
4) Bahri, A., and Brissaud, F., 2002. Guidelines for municipal water reuse in the mediterranean countries. World Health Organization. Regional Office for Europe. WHO/EURO Project Office. Mediterranean Action Plan.
5) Βακάλης, Π.Σ., και Τσαντήλας, Χ.Δ., 2002. Επίδραση άρδευσης βαμβακιού και καλαμποκιού με αστικά απόβλητα στο γεωργικό εισόδημα. *Αγρ. Έρευνα,*25 (1):13-20
6) Menzel, C., and Broomshall P., 2001. Irrigating Turfgrasses with wastewater in Tropical Australia. *Parks and Leisure Australia, National Conference 2001,* Sydney, Australia.
7) Πανώρας Α. και Ηλίας Α., 1999. *Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα.* Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη, 175 σελ.
8) Panoras, A., Evgenidis, G., Bladenopoulou, S., Melidis, B., Doitsinis, A., Samaras, I., Zdragkas, A., Matsi, T., 2001. Corn Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater. *Proc. 7th International Conference on Environmental Science and Technology.* Ermoupolis, Syros island, Greece, pp.699-706.
9) Panoras, A., Ilias, A., Skarakis, G., Papadopoulos, A., Papadopoulos, F., Parisopoulos, G., Papayiannopoulou, A., and Zdragas, A., 2000. Reuse of treated municipal wastewater for sugarbeet irrigation. *Journal of Balkan Ecology,*3(4):91-95.
10) Panoras, A., Kehagia, U., Xanthopoulos, F., Doitsinis, A., Samaras, I., 2001. The use of municipal wastewater in cotton irrigation. Proceeedings of the Inter-Regional Research Network Meeting on Cotton. September 27-30, Chania, Greece.
11) Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 1999. *Άρδευση με Σταγόνες.* Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Βόλος.
12) Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καλφούντζος Δ., Παπανίκος Ν., 2000. *Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων.* Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Βόλος, σελ. 157-164.
13) Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., 2001. Irrigation water saving and yield increase with subsurface drip irrigation. *Proc. of 7th International Conf. on Environmental Science and Technology* Ermoupolis, Syros Island, Greece, pp. 466-473.
14) Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., Kapetanos,B., 2002. Water saving using modern irrigation methods. *Hydrorama 2002,* EYDAP, Athens, Greece, pp. 96-102.
15) Σπαντιδάκης Ι.Γ., 1999. *Γράστις. Επιστήμη και Τεχνική του χλοοτάπητα.* Εκδόσεις Σταμούλης. Αθήνα, 284 σελ.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ ΝΕΑΣ ΦΩΚΑΙΑΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Σ. Καλπάκης και Σ. Ε. Τσιούρης
Εργαστήριο Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα φυσικά παράκτια έλη, γνωστά ως Γεράνι και Σταυρονικήτα στη Νέα Φώκαια Χαλκιδικής, είναι δύο από τους λίγους υγρότοπους που έχουν παραμείνει στην περιοχή αυτή μετά από την εντατική τουριστική ανάπτυξη, η οποία έλαβε χώρα τις τελευταίες δεκαετίες. Σε δείγματα επιφανειακού νερού των ανωτέρω υγροτόπων μετρήθηκαν οι παράμετροι pH, P, K, Na, Ca, Mg, NH_4, Cl και ηλεκτρική αγωγιμότητα από τον Αύγουστο του 1999 μέχρι τον Ιανουάριο του 2001. Οι τιμές των παραμέτρων που εξετάσθηκαν δείχνουν ότι το πλησιέστερο στη θάλασσα έλος Γεράνι, επηρεάζεται κυρίως από τη θάλασσα, ενώ το έλος Σταυρονικήτα επηρεάζεται από ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης προερχόμενες από τη λεκάνη απορροής του υγροτόπου και κυρίως από τις αγροτικές φυλακές Κασσάνδρας.

Λέξεις κλειδιά: ποιότητα νερού, έλη Νέας Φωκαίας

WATER QUALITY PARAMETERS OF NEA FOKAIA MARSHES IN HALKIDIKI

S. Kalpakis and S. E. Tsiouris
Laboratory of Ecology and Environmental Protection, School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

The natural coastal marshes, known as Gerani and Stavronikita in Nea Fokaia of Halkidiki, are two of the few remaining wetlands in this area after the intensive tourism development, which took place there during the last decades. Water samples were taken during the period from August 1999 to January 2001 and pH, P, K, Na, Ca, Mg, NH_4, Cl and electrical conductivity were measured. As Gerani marsh is nearer to the coast and has a small catchment area with agricultural activities, the measured water parameters were found to be affected more by the seawater. The Stavronikita marsh is affected by anthropogenic pollution sources from the catchment area and mainly by the untreated effluents from the farm prisons of Kassandra.

Keywords: water quality, marshes of Nea Fokaia

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έκταση των υγροτόπων στην Ελλάδα σήμερα είναι περίπου 2 εκατομύρια στρέμματα [4]. Στις αρχές του 20ου αιώνα η Ελλάδα είχε τριπλάσια έκταση υγροτόπων από ότι σήμερα. Οι υγρότοποι αποξηράνθηκαν με σκοπό να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως η ελονοσία, οι πλημμύρες και να αποκτηθούν νέες γεωργικές εκτάσεις [2, 7]. Τα έλη σχεδόν εξαφανίστηκαν μιας και απέμειναν περίπου 58.000 στρέμματα τα οποία αντιστοιχούν στο 5,7% της αρχικής τους έκτασης. Η Χαλκιδική αποτελεί τυπικό παράδειγμα. Μέχρι το 1980 είχαν αποξηρανθεί τρεις υγρότοποι [4]. Τα επόμενα έτη, μέχρι το 1994, έντεκα ακόμα υγρότοποι αποξηράνθηκαν [3, 4]. Οι περισσότεροι από τους εναπομείναντες υγροτόπους είναι υποβαθμισμένοι ως αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς πίεσης που δέχονται. Σύμφωνα με τους Τσιούρης και Γεράκης [7] οι κύριοι παράγοντες υποβάθμισης είναι: η υπεράντληση νερού, η ρύπανση, το παράνομο κυνήγι, η υπεραλίευση, η υλοτομία και οι αποξηράνσεις.

Η ποιότητα νερού καθορίζεται από το γεωλογικό υπόβαθρο, τις εισροές που ο υγρότοπος δέχεται από τη λεκάνη απορροής και τη θάλασσα, αν αυτός είναι παράκτιος. Η ποιότητα νερού υποβαθμίζεται από ρύπους οικιστικής, βιομηχανικής και γεωργικής προέλευσης [8]. Οι εισροές από αγροτικές, βιομηχανικές και οικιστικές περιοχές είναι συχνά μεγαλύτερες από ότι οι εισροές από περιοχές που είναι καλυμμένες με φυσική βλάστηση [6].

Τα παράκτια έλη Γεράνι και Σταυρονικήτα στη Χαλκιδική δέχτηκαν αρκετή ανθρωπογενή πίεση τα τελευταία σαράντα έτη, με απώτερο σκοπό την αποξήρανσή τους. Το αντλιοστάσιο στο έλος Γεράνι διέκοψε τη λειτουργία του στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ενώ αυτό στο έλος Σταυρονικήτα το 1998. Οι υγρότοποι δεν αποξηράνθηκαν και επαναπλημμύρισαν έπειτα από την παύση λειτουργίας των αντλιοστασίων.

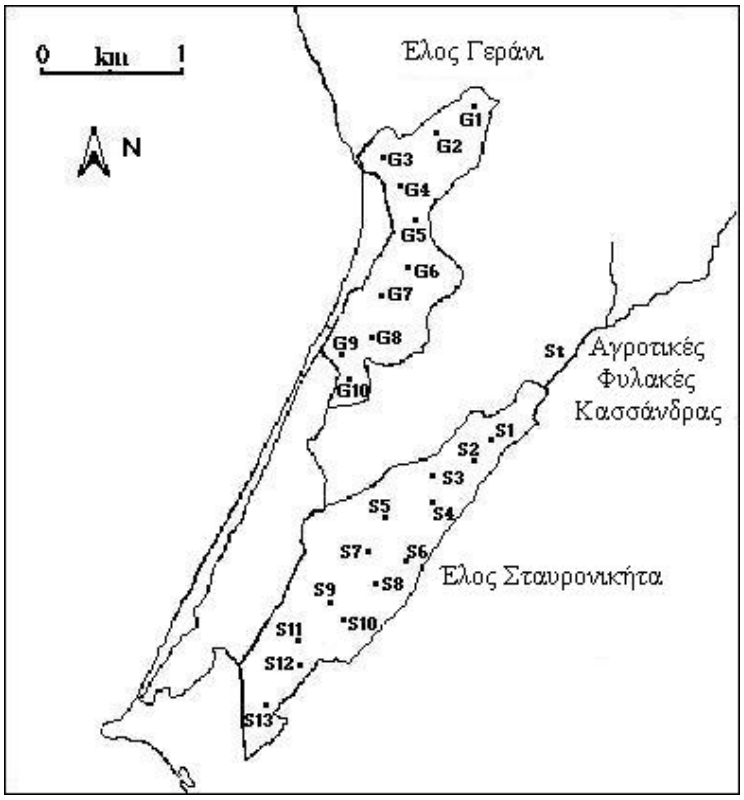
Σκοπός της εργασίας είναι να εξετάσει ορισμένες παραμέτρους ποιότητας νερού των υγροτόπων σε σχέση με τις πιθανές αιτίες τροποποίησής τους.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα έλη της Νέας Φωκαίας βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα της χερσονήσου Κασσάνδρας στη Χαλκιδική, 5km δυτικά της Νέας Φωκαίας. Το έλος Σταυρονικήτα έχει έκταση 133.3ha, ενώ το έλος Γεράνι καλύπτει 89.9ha. Το έλος Γεράνι είναι πιο κοντά στη θαλάσσια ακτή από ότι το έλος Σταυρονικήτα, στο οποίο εισρέουν τα υγρά απόβλητα των αγροτικών φυλακών Κασσάνδρας.

Προκειμένου να γίνει η καταγραφή της ποιότητας νερού των υγροτόπων εξετάστηκαν οι παράμετροι pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, P, K, Na, Ca, Mg, NH_4 και Cl. Για το σκοπό αυτό έγινε επιλογή 13 θέσεων δειγματοληψίας στο έλος Σταυρονικήτα (S1-S13) και 10 θέσεων δειγματοληψίας στο έλος Γεράνι (G1-G10). Επίσης επελέγει μία θέση δειγματοληψίας (St) στο ρέμα που δέχεται τα

απόβλητα των αγροτικών φυλακών προτού αυτά να φτάσουν στο έλος Σταυρονικήτα (σχ. 1).



Σχήμα 1. Θέσεις δειγματοληψίας νερού.

Έγιναν τρεις δειγματοληψίες (1, 2 και 3) από συγκεκριμένες θέσεις των υγροτόπων στις παρακάτω αντίστοιχες ημερομηνίες: 17/8/1999, 13/5/2000 και 21/1/2001. Στην πρώτη ημερομηνία έγινε δειγματοληψία νερού από όλες τις θέσεις του έλους Σταυρονικήτα και από τρεις του έλους Γεράνι (G3, G8 και G10). Στη δεύτερη ημερομηνία πάρθηκαν δείγματα από όλες τις θέσεις δειγματοληψίας αλλά δεν μετρήθηκαν τα NH_4 και Cl. Στην τελευταία επίσκεψη πάρθηκαν δείγματα από όλες τις θέσεις δειγματοληψίας και μετρήθηκαν όλες οι παράμετροι ποιότητας νερού.

Τα δείγματα νερού τοποθετούνταν σε γυάλινα δοχεία για την ανάλυση του P και σε πλαστικά δοχεία για τον προσδιορισμό των υπολοίπων παραμέτρων. Τα δοχεία μεταφέρονταν με φορητά ψυγεία αμέσως μετά τη δειγματοληψία στο εργαστήριο όπου γινόταν η χημική τους ανάλυση. Για τον προσδιορισμό του pH των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε πεχάμετρο WTW pH 523, ενώ για την ηλεκτρική αγωγιμότητα αγωγιμόμετρο WTW LF 530. Ο προσδιορισμός του ολικού P έγινε χρωματομετρικά με τη μέτρηση της απορρόφησης στα 710nm σε

φασματόμετρο PERKIN-ELMER. Ο προσδιορισμός των NH_4 έγινε χρωματομετρικά με τη μέθοδο Nessler, χρησιμοποιώντας τον ίδιο τύπο φασματόμετρου και μετρώντας την απορρόφηση στα 667nm. Τα K, Na, Ca και Mg μετρήθηκαν με φασματόμετρο PERKIN-ELMER 100. Για τον προσδιορισμό του Cl έγινε ογκομέτρηση των δειγμάτων με διάλυμα $AgNO_3$ [1].

Με σκοπό να εξεταστεί εάν η ποιότητα νερού μεταβάλλεται σε κάθε έναν υγρότοπο σε σχέση με τις πιθανές κύριες αιτίες τροποποίησής του, έγινε ομαδοποίηση των θέσεων δειγματοληψίας. Στο έλος Σταυρονικήτα η πρώτη ομάδα δεδομένων αποτελούνταν από τις θέσεις δειγματοληψίας S1 και S2 οι οποίες βρίσκονται στο βορειοανατολικό τμήμα του υγροτόπου. Εκεί καταλήγει το ρέμα στο οποίο στραγγίζει το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής και δέχεται επίσης τα ανεπεξέργαστα απόβλητα των αγροτικών φυλακών. Η δεύτερη ομάδα δεδομένων αποτελούνταν από 11 θέσεις δειγματοληψίας (S3-S13).

Στο έλος Γεράνι η πρώτη ομάδα αποτελούνταν από τις τέσσερις πρώτες θέσεις δειγματοληψίας (G1-G4) οι οποίες βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του υγροτόπου. Η περιοχή αυτή είναι πιο κοντά στη θάλασσα από ότι το υπόλοιπο τμήμα του υγροτόπου. Η δεύτερη ομάδα δεδομένων αποτελούνταν από τις υπόλοιπες έξι θέσεις δειγματοληψίας (G5-G10) οι οποίες βρίσκονται στο κεντρικό και νότιο τμήμα του υγροτόπου (σχ. 1).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

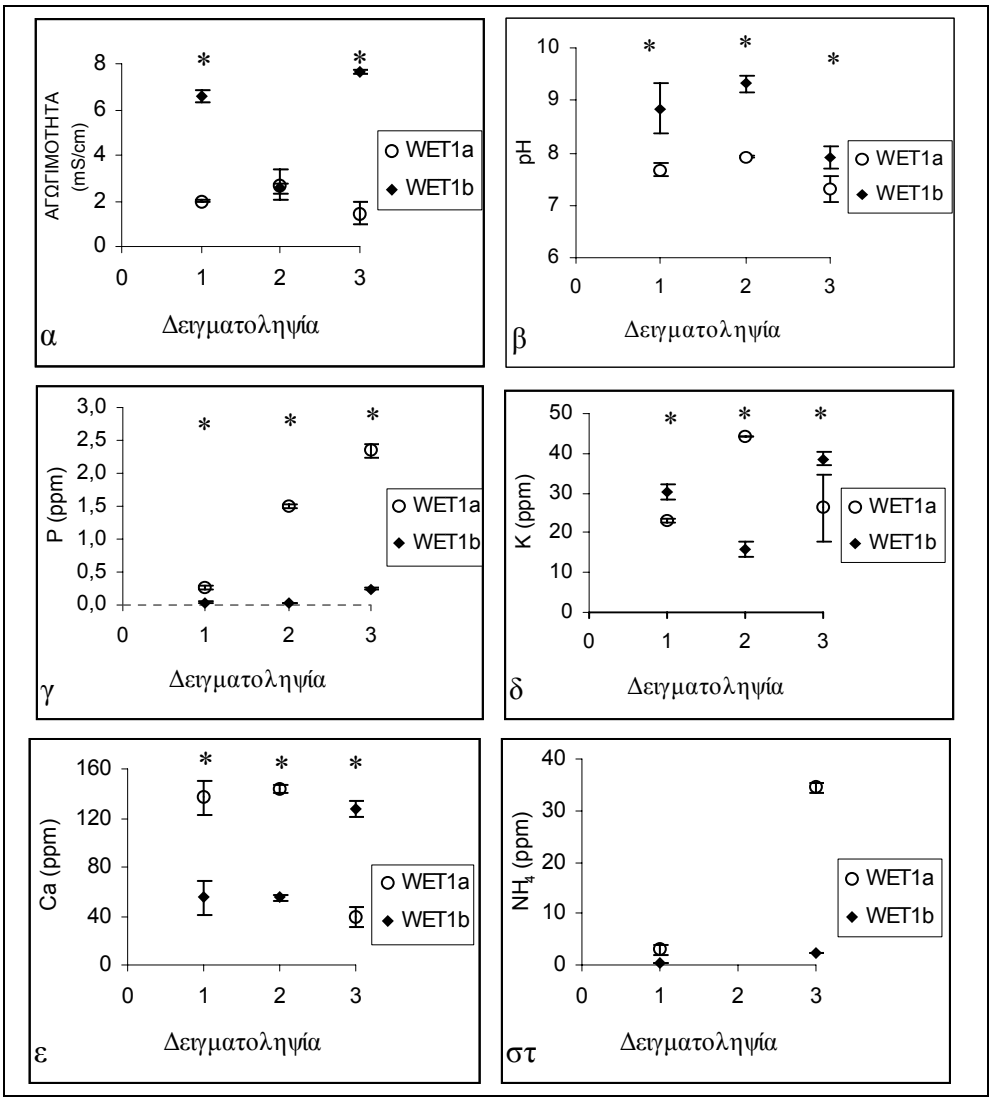
3.1 Έλος Σταυρονικήτα

Για το βορειοανατολικό τμήμα του υγροτόπου το οποίο συμβολίζεται με WET1a ο μέσος όρος προέρχεται από τις τιμές των θέσεων S1 και S2, ενώ για τον υπόλοιπο υγρότοπο που συμβολίζεται με WET1b προέρχεται από τις τιμές των θέσεων S3 έως S13.

Υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, μεταξύ των δύο τμημάτων του υγροτόπου, οι οποίες συμβολίζονται με ένα αστερίσκο για pH, P, K και Ca σε όλες τις δειγματοληψίες (σχ. 2β, 2γ, 2δ και 2ε). Για τα NH_4 αντιθέτως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σχ. 2στ). Στατιστικά σημαντικές διαφορές επίσης βρέθηκαν για την αγωγιμότητα, το Na, το Mg και το Cl στην πρώτη και τρίτη δειγματοληψία (σχ. 2α, 3α, 3β και 3γ). Όσον αφορά την αγωγιμότητα το βορειοανατολικό κομμάτι του υγροτόπου είχε χαμηλότερες τιμές στις δύο από τις τρεις δειγματοληψίες από ότι ο υπόλοιπος υγρότοπος. Στη δεύτερη όμως δειγματοληψία η αγωγιμότητα βρέθηκε χαμηλή σε όλο τον υγρότοπο.

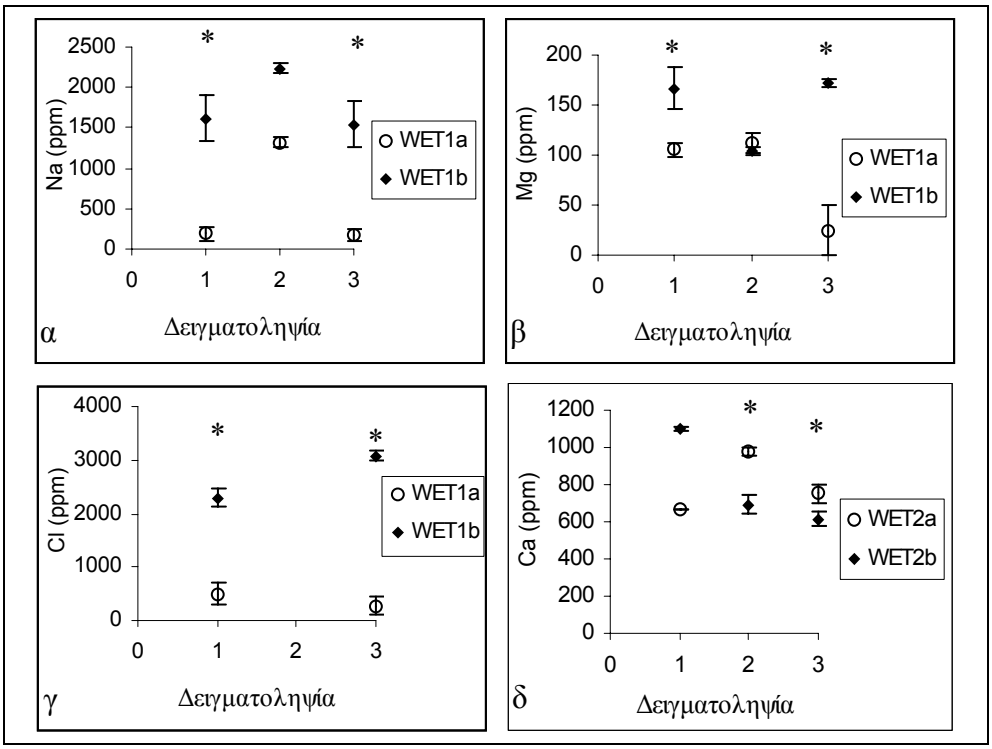
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του βορειοανατολικού τμήματος του υγροτόπου με τον υπόλοιπο υγρότοπο, διαπιστώνουμε ότι υπάρχουν διαφορές στην ποιότητα του επιφανειακού νερού του έλους Σταυρονικήτα. Όσον αφορά τον P οι διαφορές οφείλονται στις υψηλές συγκεντρώσεις (0,8-4,5ppm) αυτού του στοιχείου στα εισερχόμενα υγρά απόβλητα των φυλακών Κασσάνδρας.

Αυτό οφείλεται στην ικανότητα του υγροτόπου να βελτιώνει τα ανεπεξέργαστα απόβλητα που εισέρχονται σε αυτόν [6, 8].



Σχήμα 2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, συγκέντρωση P, K, Ca και NH_4 στα νερά του έλους Σταυρονικήτα (WET1a= βορειοανατολικό τμήμα του υγροτόπου και WET1b= νοτιοδυτικό τμήμα του υγροτόπου) κατά τις τρεις ημερομηνίες δειγματοληψίας (1=17/8/99, 2=13/5/00 και 3=21/1/01).

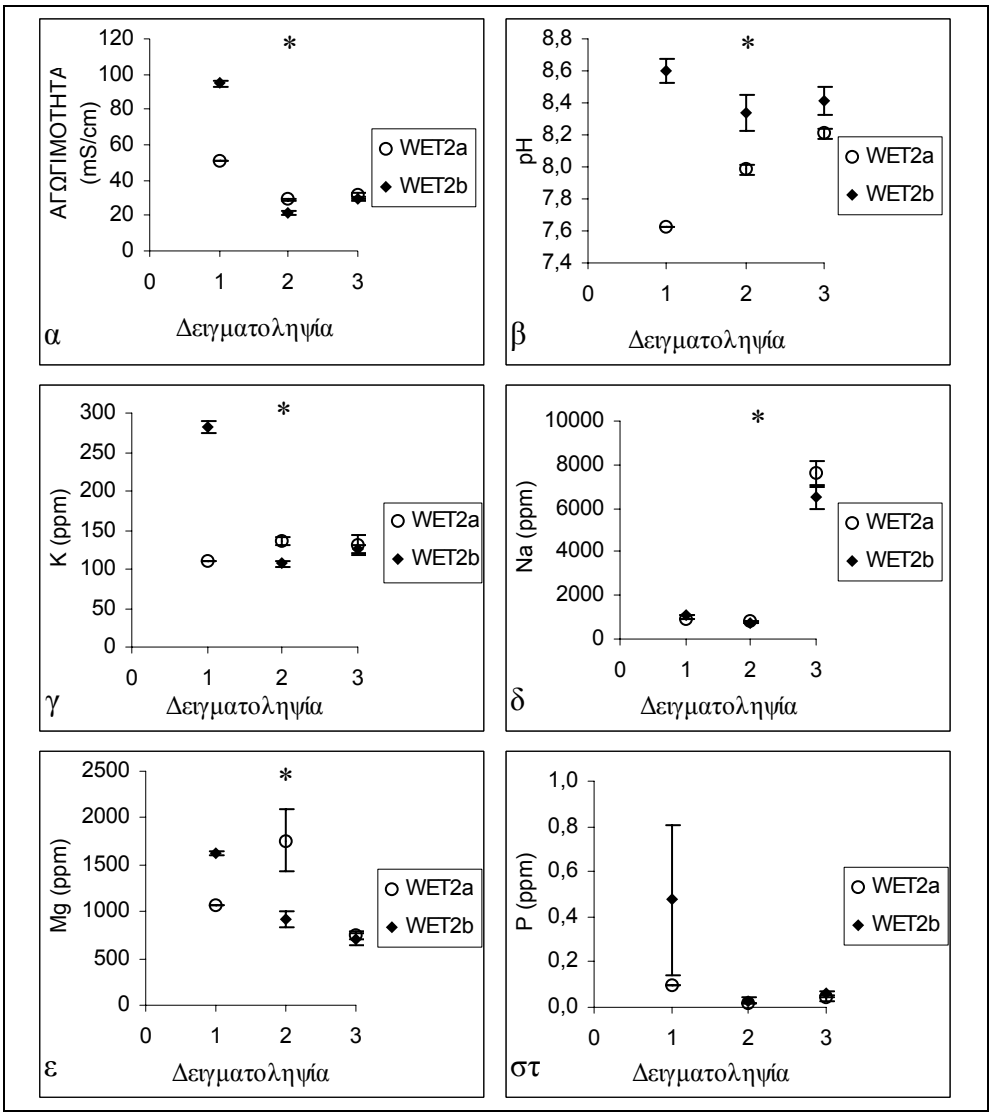
Οι διαφορές που βρέθηκαν στις άλλες παραμέτρους οφείλονται στο ότι ο υγρότοπος έχει υψηλές συγκεντρώσεις διαφόρων στοιχείων οι οποίες μπορεί να οφείλονται στη συσσώρευσή τους στον υγρότοπο για μακρά περίοδο λόγω εξάτμισης ή στη γειτνίαση του υγροτόπου με τη θάλασσα.



Σχήμα 3. Συγκέντρωση Na, Mg, Cl και Ca στα νερά του έλους Σταυρονικήτα (WET1) και συγκέντρωση Ca στα νερά του έλους Γεράνι (WET2) κατά τις τρεις ημερομηνίες δειγματοληψίας (1=17/8/99, 2=13/5/00 και 3=21/1/01).

3.2 Έλος Γεράνι

Σε αυτόν τον υγρότοπο στην πρώτη ομάδα (WET2a) ο αριθμητικός μέσος βγαίνει από τέσσερις τιμές ενώ στη δεύτερη ομάδα (WET2b) βγαίνει από έξι τιμές. Στην πρώτη δειγματοληψία δεν προέκυψαν στατιστικά συγκρίσιμα αποτελέσματα. Για τις δύο τελευταίες δειγματοληψίες στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο τμήματα του υγροτόπου βρέθηκαν μόνο στην περίπτωση του Ca (σχ. 3δ). Από τις υπόλοιπες παραμέτρους η αγωγιμότητα, το pH, το K, το Na και το Mg δίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στη δεύτερη δειγματοληψία (σχ. 4α, 4β, 4γ, 4δ και 4ε). Μια εξήγηση για αυτό είναι ότι το βόρειο τμήμα του υγροτόπου είναι πιο κοντά στη θάλασσα και επηρεάζεται περισσότερο από ότι το κεντρικό και νότιο τμήμα του. Πριν από την τρίτη δειγματοληψία εισήλθε επιφανειακά στον υγρότοπο θαλασσινό νερό. Έτσι το θαλασσινό νερό άμβλυνε τις διαφορές ανάμεσα στο βόρειο τμήμα του υγροτόπου με τον υπόλοιπο υγρότοπο.

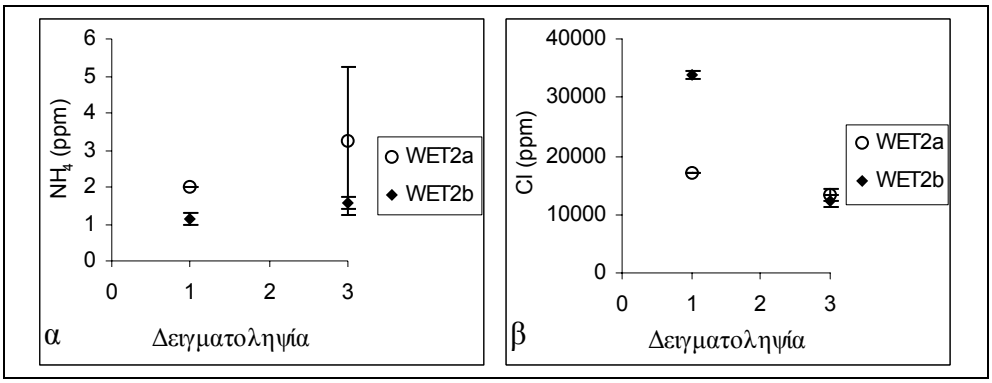


Σχήμα 4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, συγκέντρωση K, Na, Mg και P στα νερά του έλους Γεράνι (WET2a= βόρειο τμήμα του υγροτόπου και WET2b= νότιο τμήμα του υγροτόπου) κατά τις τρεις ημερομηνίες δειγματοληψίας (1=17/8/99, 2=13/5/00 και 3=21/1/01).

Ο ολικός P, σε αντίθεση με το έλος Σταυρονικήτα, δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά (σχ. 4στ). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι στο έλος Γεράνι δεν υπήρξε εισροή φορτίου με υψηλές συγκεντρώσεις P. Για τα NH_4 και το Cl δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο τμήματα του υγροτόπου (σχ. 5α και 5β).

Σε όλες τις δειγματοληψίες το έλος Γεράνι εμφανίζει υψηλότερες τιμές αγωγιμότητας, K, Ca, Mg και Cl από το έλος Σταυρονικήτα και οι οποίες

πλησιάζουν αυτές της θάλασσας, πράγμα αναμενόμενο μια και ο υγρότοπος αυτός είναι πιο κοντά σε αυτή.



Σχήμα 5. Συγκέντρωση NH_4 και Cl στα νερά του έλους Γεράνι (WET2) κατά τις τρεις ημερομηνίες δειγματοληψίας (1=17/8/99, 2=13/5/00 και 3=21/1/01).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα έλη της Νέας Φωκαίας αποτελούν δύο γειτνιάζοντες παράκτιους υγροτόπους των οποίων η ποιότητα του νερού τους φαίνεται να επηρεάζεται από διαφορετικούς παράγοντες. Για το έλος Γεράνι το οποίο γειτνιάζει άμεσα με τη θάλασσα η ποιότητα του επιφανειακού νερού του υγροτόπου επηρεάζεται κυρίως από αυτή. Για το έλος Σταυρονικήτα από την άλλη, που βρίσκεται σχετικά μακρύτερα από τη θάλασσα, η ποιότητα του νερού επηρεάζεται από τις εισροές που δέχεται ο υγρότοπος από τη λεκάνη απορροής του. Για ορισμένες μάλιστα παραμέτρους όπως ο P ιδιαίτερα σημαντική φαίνεται πως είναι η επιρροή των αγροτικών φυλακών Κασσάνδρας τα λύματα των οποίων εισρέουν ανεπεξέργαστα στον υγρότοπο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. American Public Health Association, 1971. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water.* 13th Edition. A.P.H.A. New York.
2. Γεράκης, Π. Α. και Κουτράκης, Ε. Τ., 1998. *Ελληνικοί υγρότοποι*. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων/Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), Εμπορική Τράπεζα της Ελλάδος. Αθήνα.
3. Δωρικός, Σ., 1981. *Βασικοί υγρότοποι της χώρας*. Υπουργείο Συντονισμού, Υπηρεσία Χωροταξίας και Περιβάλλοντος. Αθήνα.
4. Ζαλίδης, Χ. Γ. και Μαντζαβέλας, Α. Λ. (Συντονιστές Έκδοσης), 1994. *Απογραφή των ελληνικών υγροτόπων ως φυσικών πόρων (Πρώτη Προσέγγιση)*. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ). Θέρμη.
5. Παπαστεργιάδου, Ε., Μπαμπαλώνας, Δ., Τσακίρη, Ε. και Πυρίνη, Χ., 1995. *Χρησιμοποίηση των υδρόβιων μακροφύτων στον έλεγχο της ρύπανσης του νερού. Ι. Εκτίμηση ενός φυσικού υγροτόπου που δέχεται εισροές αποβλήτων*. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων/Υγροτόπων (ΕΚΒΥ). Θέρμη.

6. Παπαστεργιάδου, Ε., Agami M. και Waizel, Y., 2002. Αποκατάσταση της υδρόβιας βλάστησης σε μεσογειακούς υγροτόπους. *Αποκατάσταση Μεσογειακών Υγροτόπων*. Ζαλίδης, Χ.Γ., T.L. Crisman και Π.Α. Γεράκης (συντον. έκδ.). ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα και ΕΚΒΥ, Θέρμη. 53-79.
7. Τσιούρης, Σ. Ε. και Γεράκης, Π. Α., 1991. *Υγρότοποι της Ελλάδος: αξίες, αλλοιώσεις, προστασία*. WWF, Εργαστήριο Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ, IUCN. Θεσσαλονίκη.
8. Tsiouris, S. E., Mamolos, A. P., Kalbourji, K. L. and Barbayannis, N., 2002. Fertilizer management in watersheds of two Ramsar wetlands and effects on quality of inflowing water. *Environmental Management*. 29. 610-619.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΟΜΠΟΣΤΑΣ (φυτικής προέλευσης) ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΡΙΖΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ (Zea mays L)

Ντούπη Βασιλική, Α. Παυλάτου-Βε και Σ. Σακελλαριάδης
Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε δύο εδάφη εφαρμόστηκαν διαφορετικά ποσοστά κομπόστας (φυτικής προέλευσης) 0, 20%, 40%, 80% και 0, 2%, 4%, 10% αντίστοιχα με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση της κομπόστας στην αναπτυξιακή εξέλιξη του ριζικού συστήματος του καλαμποκιού (Zea mays L**)**. Τα υψηλά ποσοστά κομπόστας, στο έδαφος 1, επέδρασαν αρνητικά στην αναπτυξιακή εξέλιξη του ριζικού συστήματος. Τα χαμηλά ποσοστά εφαρμογής κομπόστας, στο έδαφος 2, επηρέασαν θετικά την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος δίνοντας. τη μέγιστη τιμή του νωπού και ξηρού βάρους και τη μέγιστη τιμή των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων της ρίζας στο επίπεδο 4% κομπόστας

Λέξεις κλειδιά: κομπόστα, ρίζα καλαμποκιού, θρεπτικά στοιχεία

THE EFFECT OF COMPOST (of plant origin) ON ROOT GROWTH OF CORN (Zea mays L)

Doupi Basiliki, A. Pavlatou-Ve and S. Sakellariades
Laboratory of Soil Science, School of Agriculture A.U.Thessaloniki

Different quantities of plant origin compost were applied in two soils (0%, 20%, 40%, 80% and 0%, 2%, 4%, 10% respectively) to study the effect of compost on root growth of corn (Zea mays L). In soil 1, the high compost applications affected negatively on root growth development. In soil 2, the low compost applications had a positive effect on root growth. The maximum values of fresh and dry weight and the maximum concentration of nutrients of the root were determined on the 4% application level

Key word: compost, root of corn, nutrients

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία 10 χρόνια, με την εξέλιξη της αειφορικής γεωργίας, έχει αναπτυχθεί η παραγωγή κομπόστας και η χρήση της σαν εδαφοβελτιωτικό και λιπαντικό μέσο. Με τον όρο κομπόστα περιγράφονται τα μίγματα οργανικών αποβλήτων, απορριμμάτων και υπολειμμάτων κατάλληλα επεξεργασμένα ώστε να έχουν χαμηλό λόγο C/N και να είναι απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς και σπόρους ζιζανίων (Κεραμίδας, 1999), ενώ η διαδικασία της παραγωγής κομπόστας κάτω από ορισμένες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας, αέρας) ονομάζεται κομποστοποίηση (F.A.O., 1987).

Η εφαρμογή της κομπόστας στο έδαφος επιτυγχάνει τη βελτίωση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του. Η αργή αποδέσμευση των θρεπτικών στοιχείων σε περιόδους μη καλλιέργειας του εδάφους, η αύξηση της CEC και η βελτίωση των αλκαλικών pH (Shuman κ.α 2001), η βελτίωση ορισμένων τοξικών χαρακτηριστικών της νωπής κοπριάς κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης (Shuman κ.α., 2001, Hsu και Lo, 2000)), η βελτίωση της δομής του εδάφους (Evangelou και Marsi 2001), είναι λίγα από τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής της κομπόστας στο έδαφος.

Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη προσθήκη κομπόστας για λίπανση σε διάφορες καλλιέργειες. Ειδικά για την καλλιέργεια του καλαμποκιού, οι Eghball και Power (1999) απέδειξαν ότι η προσθήκη κομπόστας αύξησε τα επίπεδα του αφομοιώσιμου P και N στο έδαφος κατά 15% τον πρώτο χρόνο και κατά 8% τον δεύτερο χρόνο, ενώ Hunter κ.α (1996) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη νωπής κοπριάς και ασβεστίου αύξησαν κατά 3 φορές την απόδοση των φυτών καλαμποκιού σε σχέση με την NPK λίπανση που είχε δεχθεί ο μάρτυρας.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθεί η επίδραση διαφόρων ποσοτήτων κομπόστας (φυτικής προέλευσης) στην ανάπτυξη του ρίζας του καλαμποκιού. Η επιλογή της ρίζας έναντι του υπέργειου τμήματος έγινε με το σκεπτικό ότι το ριζικό σύστημα του φυτού αντιμετωπίζει πρώτο την έντονη μεταβολή της ριζόσφαιρας που γίνεται με την προσθήκη ιδιαίτερα υψηλών ποσοστών κομπόστας

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Χρησιμοποιήθηκαν δυο επιφανειακά εδάφη, των οποίων τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά φαίνονται στον Πίνακα 1. Η κομπόστα που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από φυτικά υπολείμματα και η ελεύθερη κομποστοποίηση έγινε χωρίς παρεμβάσεις, με εξαίρεση μικρή προσθήκη εδάφους (περίπου 5-10%) και 50gr λιπάσματος 11-15-15, σε ανοιχτά δοχεία πλέγματος διαστάσεων 1×1×0,6 cm επί 10 μήνες. Τα χαρακτηριστικά της δίνονται στον Πίνακα 1.

Έγιναν δύο μεταχειρίσεις. Στην πρώτη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν δοχεία που η μπροστινή τους επιφάνεια ήταν από γυαλί. Στα δοχεία τοποθετήθηκε το έδαφος 1 και κομπόστα σε αναλογίες 0, 20%, 40%, και 80% και σπάρθηκαν απολυμασμένοι σπόροι υβριδίου καλαμποκιού. Για κάθε αναλογία εδάφους-κομπόστας έγιναν 6 επαναλήψεις. Στη δεύτερη μεταχείριση, χρησιμοποιήθηκαν μικρές γλάστρες, στις οποίες τοποθετήθηκε το έδαφος 2 και κομπόστα σε αναλογίες 0, 2%, 4%, και 10% και σπάρθηκαν απολυμασμένοι σπόροι του ιδίου υβριδίου καλαμποκιού. Για κάθε αναλογία εδάφους-κομπόστας έγιναν 3 επαναλήψεις. Τα φυτά και στις δύο μεταχειρίσεις ποτίζονταν με απιονισμένο νερό.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά του εδάφους 1 και 2 και της κομπόστας που χρησιμοποιήθηκαν στις μεταχειρίσεις 1 και 2 αντίστοιχα.

Χαρακτηριστικά	**Έδαφος 1**	**Έδαφος 2**	**Κομπόστα**
Μηχανική σύσταση	ιλυοπηλώδες	Ιλυοπηλώδες	-
C %	0.116	0.13	18.9
pH	7,4	7,4	7,4
$CaCO_3$ %	5	15	-
Υγρασία %	-	-	37
C/N	33	66,1	18
Ανταλλάξιμα κατιόντα meq/100 gr εδάφους			% ΞΒ
Ca	7,45	39,1	5,11
Mg	1,32	1,8	0,73
K	0,15	0,81	0,58
Na	0,17	1,9	-
N %	0,0035	0,002	1,05
ppm			
P	7,62	2,21	3842
Fe	2,4	1,92	4234
Zn	0,44	1,41	66,42
Cu	0,72	0,41	17,52
Mn	4,8	3,08	259,59

Μετά την ανάπτυξη του καλαμποκιού, επί 50 ημέρες, συλλέχθηκε το υπόγειο τμήμα (ρίζα) και μετά την απομάκρυνση του εδάφους, (το πλύσιμο της ρίζας έγινε με απιονισμένο νερό και το στέγνωμα των ριζών με διηθητικό χαρτί), προσδιορίστηκε το νωπό βάρος τους. Στη συνέχεια ξηράθηκαν στους

60^0C για 48 h και προσδιορίστηκε το ξηρό βάρος τους. Στα δείγματα των παραπάνω φυτικών ιστών, μετά από καύση στους 600 ^{0}C, προσδιορίστηκαν τα στοιχεία Ca, Mg, K, P, Fe, Mn, Zn,και Cu..

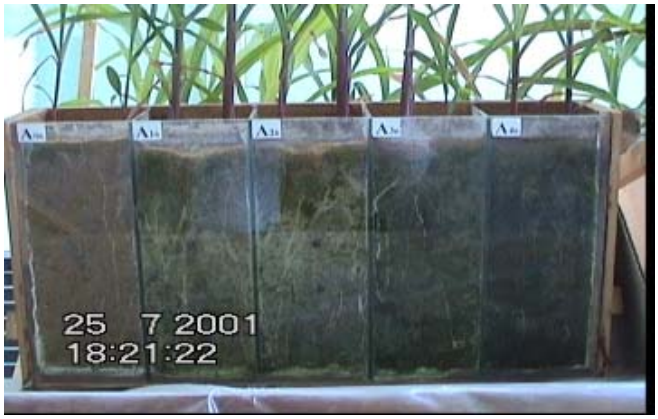
Τα μίγματα εδάφους-κομπόστας από τα δοχεία, αεροξηράθηκαν και προσδιορίστηκαν τα στοιχεία, τα εναλλακτικά κατιόντα Ca, Mg, K, Na με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου pH=7, P με τη μέθοδο κατά P-Olsen και Fe, Mn, Zn, Cu με τη μέθοδο της εκχύλισης με DTPA.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Έδαφος 1

Τα ποσοστά της κομπόστας που εφαρμόσθηκαν στο έδαφος 1 έδειξαν ότι ήταν πολύ μεγάλα και η μέγιστη ανάπτυξη της ρίζας επιτυγχάνεται μέχρι το ποσοστό του 20% κομπόστας (σχέση νωπού προς ξηρό βάρος Πίνακας 2 και Εικόνα 1). Επειδή η ανάπτυξη της ρίζας με τόσο υψηλά ποσοστά κομπόστας παρουσίαζε μεγάλη υστέρηση Πίνακας 2, έγινε η δεύτερη μεταχείριση με μικρότερα ποσοστά κομπόστας

.



Εικόνα 1. Ανάπτυξη της ρίζας των φυτών καλαμποκιού στο έδαφος 1

3.2 Έδαφος 2

Παρά το γεγονός ότι οι δύο μεταχειρίσεις έγιναν σε ανόμοια δοχεία και με δύο διαφορικά εδάφη, η υπεροχή της ανάπτυξης της ρίζας του εδάφους 2, φαίνεται από τη φαινομενική ανάπτυξη της ρίζας (Εικόνα 1, 2) και από το νωπό και ξηρό βάρος των ριζών που ήταν διπλάσιο ως και τριπλάσιο στο έδαφος 2 (Πίνακας 2). Η δε μέγιστη ανάπτυξη της ρίζας παρουσιάζεται στο επίπεδο των 4% κομπόστα στο έδαφος 2 (Πίνακας 3). Η σχέση κομπόστας και νωπού και ξηρού βάρους περιγράφεται ικανοποιητικά από μια πολυωνυμική σχέση

(r=0,96**- 0,99***) (Σχήμα 1), με μέγιστη τιμή που υπολογίσθηκε από την πολυωνυμική εξίσωση στο ποσοστό των 4% .

Πίνακας 2. Μέσος όρος του νωπού και ξηρού βάρους των ριζών κατά επέμβαση στις μεταχειρίσεις 1 και 2.

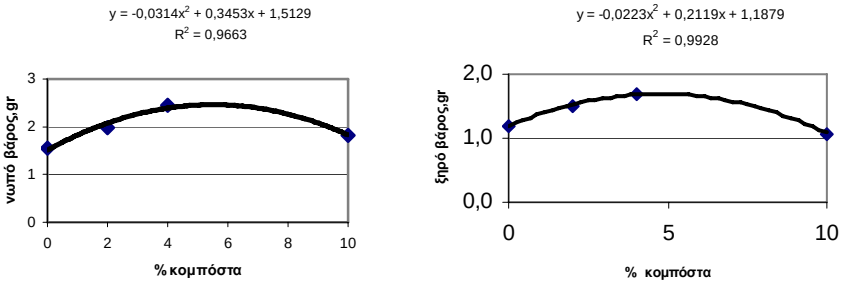
Κομπ %	Νωπό βάρος ριζών (σε gr)	Ξηρό βάρος ριζών (σε gr)	NB / ΞΒ ριζών
Έδαφος 1			
0	0,368	0,348	1,057
20	0,663	0,558	1,188
40	0,898	0,812	1,106
80	0,558	0,495	1,130
΄Έδαφος 2			
0	1,551	1,201	1,29
2	1,983	1,49	1,33
4	2,456	1,701	1,44
10	1,824	1,078	1,69

Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα του καλαμποκιού δεν ακολουθούν αναλογική αύξηση με την αύξηση του ποσοστού της κομπόστας (Πίνακας 3) εκτός της συγκέντρωσης του P. Η δε ελάττωση της πρόσληψης του Fe με αύξηση του ποσοστού της κομπόστας φαίνεται να οφείλεται στις αυξημένες συγκεντρώσεις φωσφόρου και των χουμικών ενώσεων του εδάφους λόγω της προσθήκης κομπόστας (Barber 1995), στο σχηματισμό άμορφων οξειδίων Fe (Shuman et al 2001), αλλά και στην ύπαρξη του υψηλού ποσοστού $CaCO_3$ του εδάφους.

Η σχέση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα του καλαμποκιού και της κομπόστας περιγράφετε ικανοποιητικά με πολυωνυμική εξίσωση για τα στοιχεία P, Ca, Mn και Mg (r=0,95**-0,99***) στο έδαφος 2 με μέγιστη υπολογισμένη τιμή στο ποσοστό των 4% κομπόστας Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των στοιχείων του εδάφους 2 μετά τη συλλογή της ρίζας. Η αύξηση των συγκεντρώσεων των στοιχείων που παρατηρήθηκε στη ριζόσφαιρα (Πίνακας 4), δεν ήταν αναλογική με τα προστηθέμενα ποσοστά κομπόστας,, ιδιαίτερα για τα πιο δυσδιάλυτα στοιχεία όπως Ca, Mg κλπ, αλλά τα ευδιάλυτα στοιχεία K και P παρακολουθούσαν την αύξηση του ποσοστού της κομπόστας. Η μη αναλογική αύξηση των στοιχείων του εδάφους αλλά και η ανομοιόμορφη κατανομή τους στο έδαφος μέσα στις

μεταχειρήσεις πιθανά να οφείλεται στον ανταγωνισμό μεταξύ των στοιχείων (K,Ca και Mg), στο ρυθμό πρόσληψη τους από τη ρίζα και στη δέσμευση των ιχνοστοιχείων από το $CaCO_3$ και τις χουμικές ενώσεις του εδάφους. Η δε σχέση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα του καλαμποκιού και των στοιχείων του εδάφους περιγράφετε ικανοποιητικά με πολυωνυμική εξίσωση μόνο για τα στοιχεία Cu, P και Mg (r=0.9**-0.99***).

Εικόνα 2. Ανάπτυξη της ρίζας των φυτών καλαμποκιού έδαφος 2



Σχήμα 2. Σχέση νωπού, ξηρού βάρους και ποσοστών κομπόστας στο έδαφος 2.

Πίνακας 3. Συγκεντρώσεις των στοιχείων στις ρίζες στο έδαφος 2

	Ca	Mg	K	Fe	Zn	Mn	Cu	P
% ΞΒ ρίζας								
΄Έδαφος 2								
0	1,23	0,27	0,93	0,24	0,0023	0,0012	0,0022	0,072
2	1,22	0,42	0,77	0,37	0,0032	0,0012	0,0018	0,099
4	1,4	0,35	0,92	0,28	0,0026	0,0011	0,0019	0,098
10	1,05	0,37	0,77	0,20	0,0033	0,0082	0,0019	0,158

Πίνακας 4. Συγκεντρώσεις των στοιχείων στο έδαφος 2 μετά την συλλογή της ρίζας

Κομπ.	Ca	Mg	K	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	P
%	meq/100 gr έδαφος				ppm				
Έδαφος 2									
0	24	1,5	0,8	1,8	2,28	0,35	1,41	0,67	0,36
2	21,4	1,41	0,8	1,2	2,16	0,56	1,01	0,61	15,3
4	20,3	1,31	1,07	1,0	1,56	0,73	0,98	0,53	25,9
10	21,1	1,63	1,7	1,5	1,47	0,78	0,85	0,49	49

Τα μικρά ποσοστά κομπόστας, στο έδαφος 2 ήταν τα άριστα ποσοστά για την ανάπτυξη της ρίζας του καλαμποκιού και μάλιστα στο επίπεδο των 4% κομπόστας. Αυτό αποδεικνύεται από τις αποδόσεις (νωπό και ξηρό βάρος, Πίνακας. 2) και τη φαινομενική ανάπτυξη της ρίζας του καλαμποκιού που ήταν οι μεγαλύτερες και σε σχέση με το έδαφος 1 η οποία φαίνεται να προκαλεί υστέρηση της ανάπτυξης της ρίζας.. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, φαίνεται σαφώς ότι στα μικρά ποσοστά προσθήκης κομπόστας το ριζικό σύστημα των νεαρών φυτών του καλαμποκιού κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών λειτούργησε καλύτερα και απορρόφησε τις απαραίτητες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων έναντι του ριζικού συστήματος που αναπτύχθηκε σε μεγάλα ποσοστά κομπόστας. Θα μπορούσε να υποθέσει κανείς ότι στο περιβάλλον της ριζόσφαιρας στο έδαφος 1, επέδρασαν αρνητικοί παράγοντες, όπως διεκδίκηση οξυγόνου μεταξύ των μικροοργανισμών και ριζών και μεγάλες συγκεντρώσεις μικροστοιχείων (τοξικό περιβάλλον) με αποτέλεσμα την υστέρηση της ανάπτυξης των φυτών.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barber, S. 1995. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc.
2. Eghball Bahman and James F. Power, 1999. *Phosphorus- and Nitrogen- Based Manure and Compost Applications: Corn Production and Soil Phosphorus*, Soil Sci. Soc. Am.J. 63:895-901.
3. Evagellou V.P and Marsi M., 2001. *Composition and Metal Ion Complexation Behavour of Humic Fractions Derived from Corn Tissu*e. Plant and Soil, 229: 13-24
4. F.A.O. 1987. *Soil managment: compost production and use in tropical and subtropical environments F.A.O.* Soils Bulletin No 56. Food and Agriculture Organization of The United Nations Rome 1987.
5. Hunter D.J, L.G.G. Yapa and N.V. Hue, 1997. *Effects of green manure and coral lime on corn growth and chemical properties of an acid Oxisol in Western Samoa*, Biol Feril Soils 24: 266-273.
6. Hsu Jenn-Hung and Shang-Lien Lo, 2001. *Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure,* Environmental Pollution 114:119-127.
7. Κεραμίδας, Β. 1999. *Διαχείριση των θρεπτικών στοιχείων σε αειφορικά συστήματα* 57-64 Καθ. Σ. Σακελλαριάδης, Διαχείριση εδαφικών πόρων. Εκδ. οικ. ΖΗΤΗ Θεσσαλονίκη.
8. Κεραμίδας, Β. 1997. *Γονιμότητα εδαφών*. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη .
9. Rynk, R. (editor), 1992. *On-Farm Composting* Handbook. Natural Resource, Agriculture, and Engineering service.
10. Shuman L. M., Dudka S. and Das K., 2001. *Zinc forms and plant availability in a compost amended soil*, Water, Air, and Soil Pollution 128: 1-11.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΡΟΠΟΥ-ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΌΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΩΝ ΖΙΖΑΝΙΩΝ *

Σ. Δ. Σουΐπας[1], Π. Χ. Λόλας[2] και Θ. Α. Γέμτος[3]
[1]Αγρόκτημα Π.Θ. [2]Εργαστήριο Ζιζανιολογίας [3]Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε πειράματα στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και στα Φάρσαλα μελετήθηκε η επίδραση του χρόνου (ημέρα ή νύχτα) και του τρόπου (βαθιά ή αβαθής) τελευταίας πριν τη σπορά κατεργασίας του εδάφους και εφαρμογής δυο ζιζανιοκτόνων (trifluralin, pentimethalin) στην εμφάνιση διαφόρων ζιζανίων. Βρέθηκε ότι η νυχτερινή προετοιμασία σποροκλίνης μείωσε τη συνολική πυκνότητα των ζιζανίων σε σχέση με εκείνη της ημερήσιας κατά 33-51% με χρήση φρέζας και κατά 17-25% με καλλιεργητή προετοιμασίας. Νυχτερινή εφαρμογή του trifluralin και βαθιά ενσωμάτωσή του έδωσε καλύτερο έλεγχο ζιζανίων σε σύγκριση με την ημερήσια εφαρμογή και αβαθή ενσωμάτωση. Ο αριθμός καρυδιών ανά φυτό βαμβακιού ήταν μεγαλύτερος και η απόδοση καλύτερη όπου η κατεργασία του εδάφους ή η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων γίνονταν τη νύχτα και βαθιά.

EFFECT OF MODE-TIME OF SOIL TILLAGE AND HERBICIDE APPLICATION ON WEED EMERGENCE*

S.D. Souipas[1], P.C. Lolas[2] and Th.A. Gemtos[3]
[1]University Farm [2] Laboratory of Weed Science [3]Laboratory of Farm Mechanization
Dep. of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, Univ. of Thessaly

ABSTRACT

The effect of deep or shallow seed bed preparation during the day or in the night and of the application of the herbicides trifluralin and pentimethalin on weed emergence and density was studied in two field experiments (University Farm and Farsala). Where seed bed preparation was carried out during the night, weed density was lower by 33-51% with rototiller and by 17-25% with spring tine cultivator compared to that of day soil tillage. Deep application of trifluralin during the night controlled weeds much better than shallow day application. Number of bolls per cotton plant was higher and yield was better where deep night soil tillage or herbicide application was carried out.

* Μέρος μεταπτυχιακών διατριβών Σ. Σουΐπα και Λ. Φουτζοπούλου
* Part of M. Sc. theses S. Souipas and L. Foutzopoulou

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σημαντικό παράγοντα στην προστασία των καλλιεργούμενων φυτών αποτελούν τα ζιζάνια. Τα φυτικά αυτά είδη που «φυτρώνουν εκεί που δεν τα σπέρνουν» ή καλύτερα «η χρησιμότητα τους δεν είναι καλά ακόμα γνωστή στον άνθρωπο» ζημιώνουν τις καλλιέργειες ποικιλοτρόπως. Σε σύγκριση με τις ασθένειες και τους εχθρούς των καλλιεργειών, τα ζιζάνια έχουν ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που τα κάνει να θεωρούνται από πολλούς ως το πιο σημαντικό πρόβλημα στην φυτοπροστασία. Επειδή εμφανίζονται κάθε χρόνο στον αγρό θα πρέπει σε κάθε καλλιεργητική περίοδο να σχεδιάζεται η αποτελεσματική αντιμετώπισή τους καθιστώντας έτσι τον έλεγχό τους ως την πιο απαραίτητη καλλιεργητική φροντίδα.

Δυο από τις μεθόδους που εφαρμόζονται στην πράξη για τον έλεγχο των διαφόρων ζιζανίων είναι η μηχανική κατεργασία του εδάφους και η χρήση χημικών ζιζανιοκτόνων η αποτελεσματικότητα των οποίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σχετικά λίγοι ήταν εκείνοι που πειραματίστηκαν με το ρόλο του χρόνου, ημέρα (φως) ή νύχτα (σκοτάδι), κατεργασίας του εδάφους στο φύτρωμα των ζιζανίων. Πρώτοι οι Sauer και Struik (1964) ανέφεραν ότι μικρή έκθεση στο ηλιακό φως, το οποίο υπάρχει κατά την ημερήσια αναμόχλευση του εδάφους, ήταν αρκετή για να ωθήσει σε μεγαλύτερο ποσοστό την εμφάνιση 13 από τα 17 είδη που προϋπήρχαν στο έδαφος όπου έγιναν τα πειράματά τους από ό,τι στη νυχτερινή αναμόχλευση. Σε παρόμοια πειράματα οι Wesson και Wareing (1969) ερεύνησαν το ρόλο του φωτός στο φύτρωμα φυσικών πληθυσμών σπόρων ζιζανίων εντός του εδάφους. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι με εδαφική κατεργασία την ημέρα το ποσοστό βλάστησης των σπόρων των δικοτυλήδονων ειδών ήταν 62% περισσότερο σε σύγκριση με αυτό της νύχτας.

Οι Hartmann και Nezadal (1990) πειραματιζόμενοι με την παρουσία-απουσία ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια της εδαφικής κατεργασίας ανέφεραν 80% μείωση της παρουσίας ζιζανίων στις νυχτερινές μεταχειρίσεις. Σε παρόμοια πειράματα, ο Askard (1994) παρατήρησε 40% μείωση του συνολικού αριθμού των ζιζανίων. Τα αποτελέσματά του όμως δεν ήταν σταθερά αλλά διέφεραν ανάλογα με το είδος των ζιζανίων και το χρόνο επανάληψης του πειράματος. Οι Gallagher και Cardina (1998) στο Οχάιο εκτίμησαν την εμφάνιση ζιζανίων μετά από δισκοσβάρνισμα του εδάφους στη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας την άνοιξη από το1992 έως το 1995. Η παρουσία των βλήτων και του ζιζανίου *Setaria faberi* ήταν 30 έως 55% μεγαλύτερη στις ημερήσιες επεμβάσεις. Άλλα είδη όπως η γλιστρίδα και το *Ambrosia artemisiifolia* δεν επηρεάστηκαν ενώ η λουβουδιά σε μερικές χρονιές έδειξε να αντιδρά στις διάφορες μεταχειρίσεις και σε άλλες όχι.

Άλλοι ερευνητές μελέτησαν την επίδραση του φωτός κατά τη διάρκεια της κατεργασίας του εδάφους στο φύτρωμα διαφόρων ζιζανίων και ανέφεραν υψηλότερη πυκνότητα του τραχύ βλήτου και ειδών του γένους *Solanum* έως και 5 φορές (Scopel et al. 1994), των *Polygonum pensylvanicum*, *Amaranthus powellii*, *Brassica kaber* και *Solanum ptycanthum* περίπου 2 φορές (Buhler 1997), διαφόρων ζιζανίων από 1,5 έως 2 φορές (Botto et al. 1998) στην ημερήσια κατεργασία από ό,τι στη νυχτερινή.

Η χημική ζιζανιοκτονία είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος αντιμετώπισης των ζιζανίων λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που τη χαρακτηρίζουν. Τα trifluralin και pentimethalin είναι δυο πολύ κοινά ζιζανιοκτόνα που εφαρμόζονται στην ελληνική γεωργική πρακτική σε αρκετές καλλιέργειες όπως βαμβάκι, φασόλι, αραχίδα κ.α. Η έρευνα για το ρόλο του χρόνου (ημέρα ή νύχτα) εφαρμογής των παραπάνω

ζιζανιοκτόνων στην εμφάνιση των ζιζανίων είναι πολύ περιορισμένη, ειδικότερα στην Ελλάδα.

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την μελέτη της επίδρασης της ημερήσιας και νυχτερινής κατεργασίας του εδάφους σε δυο βάθη αλλά και της εφαρμογής την ημέρα ή τη νύχτα με ενσωμάτωση σε δυο βάθη των ζιζανιοκτόνων trifluralin και pentimethalin στην εμφάνιση και πυκνότητα μερικών ειδών ζιζανίων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε συνολικά τρεις φορές, Απρίλιο-Ιούνιο και Οκτώβριο-Δεκέμβριο του 2000 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον Απρίλιο-Σεπτέμβριο του 2001 σε αγρό στα Φάρσαλα. Μόνο στην τελευταία περίπτωση έγινε σπορά βαμβακιού (ποικιλία ΧΡΙΣΤΙΝΑ) στα πειραματικά τεμάχια. Το πειραματικό σχέδιο ήταν της μορφής πλήρεις τυχαιοποιημένες ομάδες (randomized complete block) με τρεις επαναλήψεις, μέγεθος των πειραματικών τεμαχίων 3x5 m και 9 επεμβάσεις όπως φαίνονται παρακάτω:

1.Μάρτυρας (χωρίς τελική κατεργασία)
2.Κατεργασία εδάφους ημέρα (αβαθή)
3.Κατεργασία εδάφους ημέρα (βαθιά)
4.Κατεργασία εδάφους νύχτα (αβαθή)
5.Κατεργασία εδάφους νύχτα (βαθιά)
6.Εφαρμογή trifluralin ημέρα και αβαθή ενσωμάτωση
7.Εφαρμογή trifluralin ημέρα και βαθιά ενσωμάτωση
8.Εφαρμογή trifluralin νύχτα και αβαθή ενσωμάτωση
9.Εφαρμογή trifluralin νύχτα και βαθιά ενσωμάτωση

Στο πείραμα των Φαρσάλων οι 4 τελευταίες επεμβάσεις είχαν ως εξής:

6.Εφαρμογή trifluralin ημέρα και αβαθή ενσωμάτωση
7.Εφαρμογή trifluralin νύχτα και αβαθή ενσωμάτωση
8.Εφαρμογή pentimethalin ημέρα και αβαθή ενσωμάτωση
9.Εφαρμογή pentimethalin νύχτα και αβαθή ενσωμάτωση

Τα βάθη των κατεργασιών και της ενσωμάτωσης ήταν 5-10 (αβαθή) ή 15-20 cm (βαθιά). Οι επεμβάσεις της ημέρας έγιναν την $12^{η}$ μεσημβρινή ενώ της νύχτας μια ώρα μετά τη δύση του ηλίου. Για την κατεργασία του εδάφους χρησιμοποιήθηκε περιστροφικό σκαλιστήρι (φρέζα) ενώ στα Φάρσαλα ελαφρός καλλιεργητής προετοιμασίας σποροκλίνης. Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων εδάφους trifluralin, και pentimethalin έγινε με φορητό ψεκαστήρα προπίεσης αέρα και χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα σκευάσματα TREFLAN 48EC στη δόση των 350 mL/στρ. και STOMP 330E στη δόση των 400 mL/στρ.

Οι παρατηρήσεις που πάρθηκαν αφορούσαν τον αριθμό ειδών ζιζανίων, την πυκνότητα ανά είδος και τη συνολική πυκνότητα των ζιζανίων που εμφανίζονταν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Η έναρξη των μετρήσεων έγινε 25 ημέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος με την εμφάνιση των πρώτων ζιζανίων και συνολικά έγιναν 4 για τη θερινή και 5 για την χειμερινή περίοδο του έτους 2000 και 6 για τη θερινή του 2001 με χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων 10-12 ημερών. Για τις παρατηρήσεις της πυκνότητας χρησιμοποιήθηκε πλαίσιο σχήματος τετραγώνου με διαστάσεις 33x33 cm. και εμβαδού περίπου 1000 cm^2 . Στη διάρκεια μιας μέτρησης σε κάθε πειραματικό τεμάχιο το πλαίσιο τοποθετούνταν δύο φορές. Στην επιφάνεια που όριζε κάθε φορά το πλαίσιο καταγράφονταν το είδος και ο αριθμός των ζιζανίων που είχαν φυτρώσει ενώ ταυτόχρονα αφαιρούνταν. Η επιφάνεια αυτή σημαδεύονταν ώστε η

ρήψη της επόμενης μέτρησης να μην συμπέσει με αυτήν της προηγούμενης. Επιπλέον στο πείραμα των Φαρσάλων, στη μεσαία γραμμή σποράς κάθε πειραματικού τεμαχίου και σε διάστημα ενός μέτρου, έγινε καταμέτρηση του αριθμού των καρυδιών ένα μήνα πριν τη συγκομιδή και στις 25/9/2001 ο υπολογισμός της απόδοσης σε βάρος σύσπορου βαμβακιού ανά μέτρο μετά από συλλογή με το χέρι.

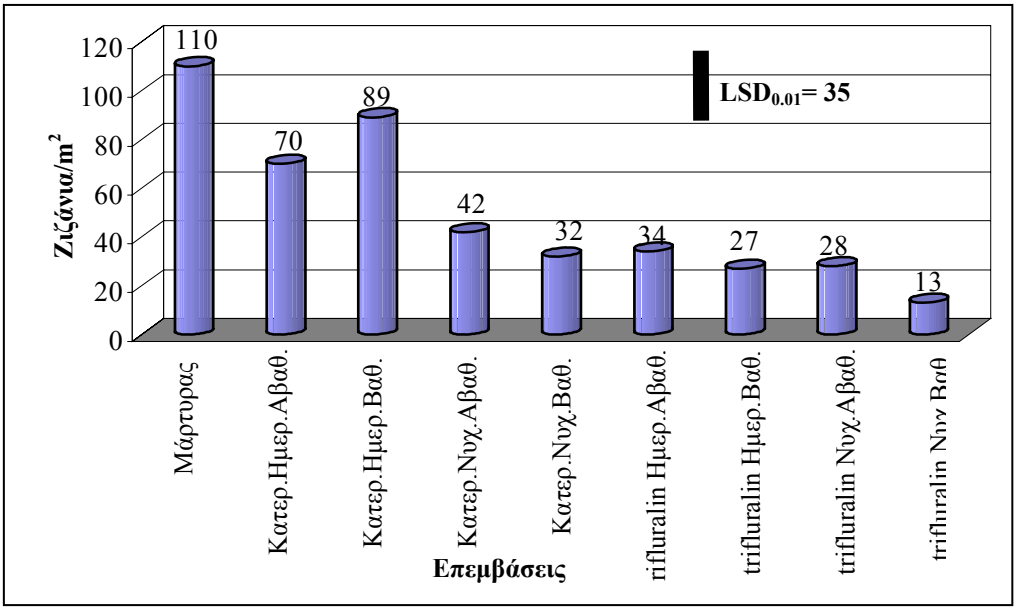
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα είδη και το ποσοστό εμφάνισης των ζιζανίων στα πειράματα των τριών περιόδων στο μάρτυρα φαίνονται στον πίνακα 1. Τα επικρατέστερα ζιζάνια στο πρώτο πείραμα ήταν η αγριομελιτζάνα, η αγριοτομάτα, και τα βλήτα, στο δεύτερο η αγριοβρώμη και ο βρόμος και στο τρίτο η αγριοτομάτα και το τραχύ βλήτο.

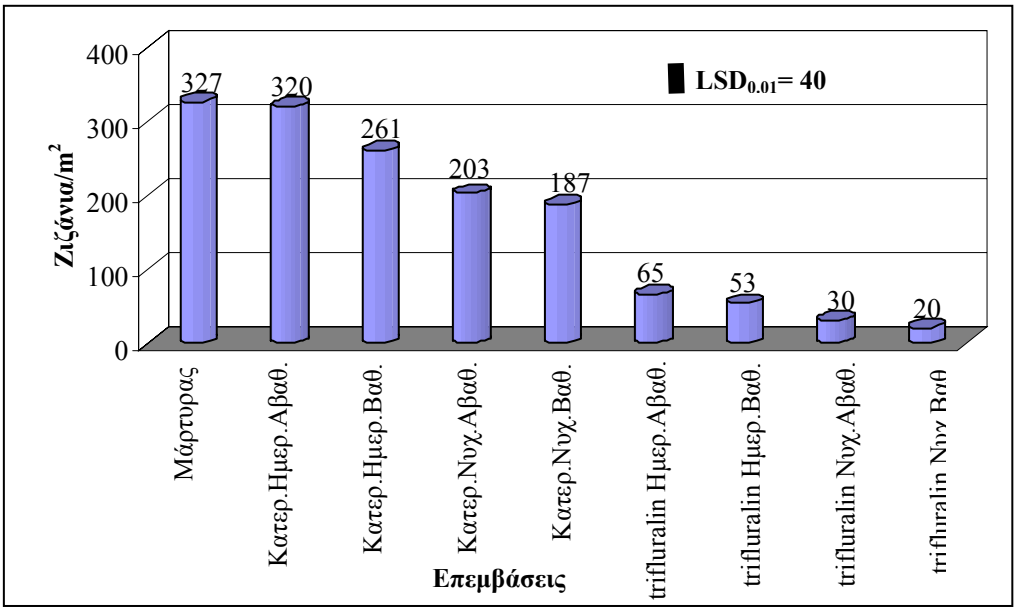
Πίνακας 1. Είδη και ποσοστό εμφάνισης των ζιζανίων στο μάρτυρα

Είδος	**Ποσοστό, %**
Απρίλιος 2000	
Αγριομελιτζάνα (*Xanthium strumarium*)	35
Αγριοτομάτα (*Solanum nigrum*)	11
Βλήτα (*Amaranthus* spp.)	32
Λουβουδιά (*Chenopodium album*)	6
Χρωζοφόρα (*Chrozophora trnctoria*)	6
Περικοκλάδα (*Convolvulus arvensis*)	10
Οκτώβριος 2000	
Αγριοβρώμη (*Avena* spp.)	43
Βρόμος (*Bromus* spp.)	38
Σινάπι (*Sinapis* spp.)	5
Παπαρούνα (*Papaver rhoeas*)	14
Απρίλιος 2001	
Αγριοτομάτα (*Solanum nigrum*)	58
Βλήτο τραχύ (*Amaranthus retroflexus*)	25
Μουχρίτσα *(Echinochloa crusgalli)*	9
Βλήτο άσπρο (*Amaranthus albus*)	7

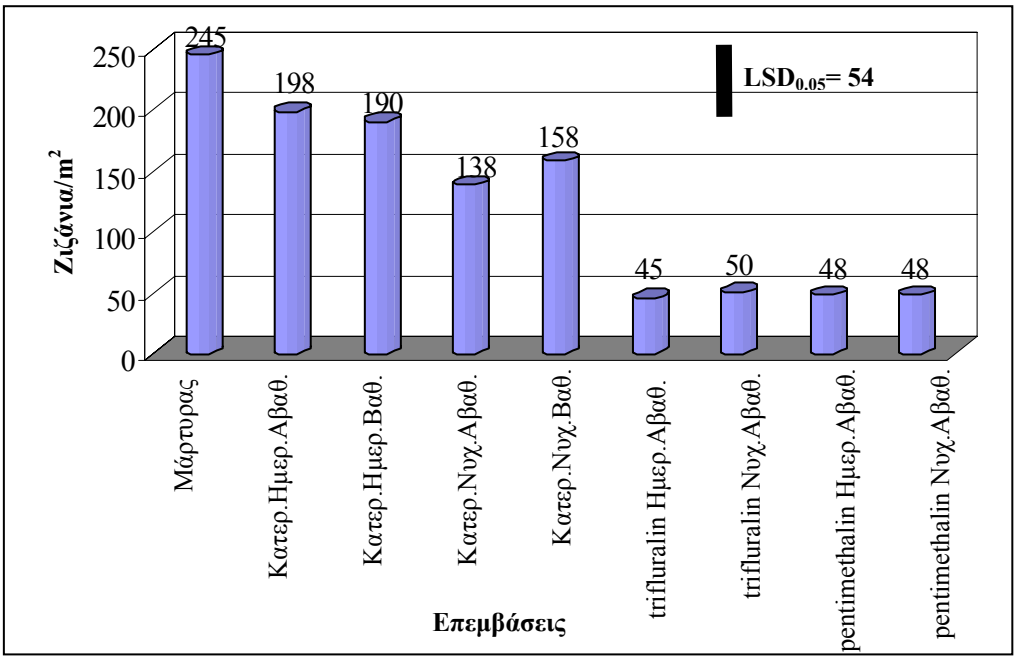
Η συνολική πυκνότητα των διαφόρων ζιζανίων ανά επέμβαση και στις τρεις περιόδους παρουσιάζεται στα σχήματα 1, 2 και 3.



Σχήμα 1. Συνολική πυκνότητα ζιζανίων ανά επέμβαση (πείραμα Απριλίου 2000)



Σχήμα 2. Συνολική πυκνότητα ζιζανίων ανά επέμβαση (πείραμα Οκτωβρίου 2000)



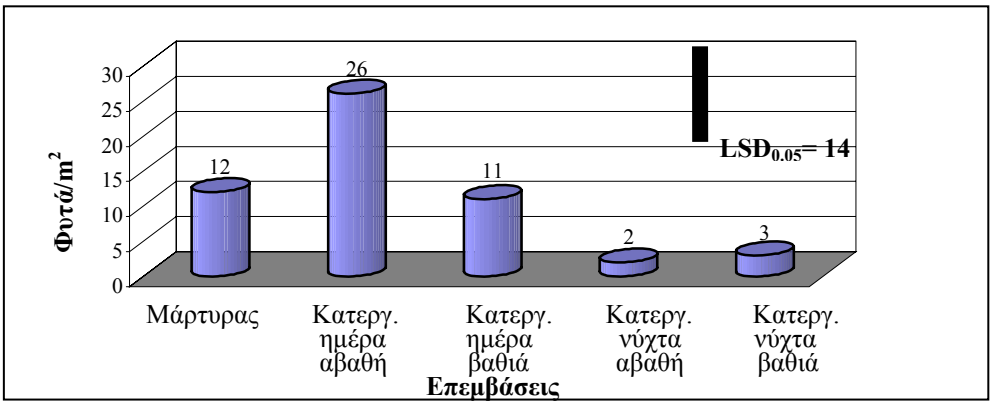
Σχήμα 3. Συνολική πυκνότητα ζιζανίων ανά επέμβαση (πείραμα Απριλίου 2001)

Από τα παραπάνω σχήματα γίνεται φανερό πως σε όλα τα πειράματα όπου η κατεργασία του εδάφους πραγματοποιούνταν τη νύχτα (βαθιά ή αβαθή) η πυκνότητα των ζιζανίων ήταν αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με αυτή της κατεργασίας την ημέρα (βαθιά ή αβαθή) σε ποσοστό 51 και 33 % (Απρίλιος και Οκτώβριος 2000, αντίστοιχα). Στο πείραμα Απρίλιος 2001 η μείωση ήταν 17 και 25% για την βαθιά και αβαθή κατεργασία , αντίστοιχα. Φαίνεται πως η παρουσία ή απουσία του φωτός στη διάρκεια της μηχανικής κατεργασίας επηρέασε σε σημαντικό βαθμό την εμφάνιση ορισμένων ειδών ζιζανίων. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα που αναφέρονται από αρκετούς ερευνητές οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση των ημερήσιων ή νυχτερινών κατεργασιών στην εμφάνιση των ζιζανίων (Wesson και Wareing 1969, Hartmann και Nezadal 1990, Askard 1994 κ.α.). Το διαφορετικό ποσοστό μείωσης της πυκνότητας ζιζανίων που παρατηρήθηκε στα τρία πειράματα οφείλεται στη διαφορετική σύνθεση των ζιζανιοπλυθησμών του κάθε πειραματικού αγροτεμαχίου (βλ. Πίνακα 1) από είδη που το φύτρωμά τους φαίνεται ότι επηρεάζεται ή όχι από το φως.

Όσον αφορά το ζιζανιοκτόνο εδάφους trifluralin, οι μετρήσεις στο πείραμα του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (κατεργασίες-ενσωμάτωση με φρέζα) δείχνουν ότι η μείωση της πυκνότητας των ζιζανίων μεγάλωνε όσο αυξάνονταν το βάθος ενσωμάτωσης τόσο κατά την εφαρμογή την ημέρα όσο και κατά τη νύχτα. Επιπλέον, οι εφαρμογές του ζιζανιοκτόνου τη νύχτα (βαθιά ή αβαθή ενσωμάτωση) έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα στη δράση του σε σύγκριση με αυτές την ημέρα. Η χαμηλότερη πυκνότητα ζιζανίων (11,8% του μάρτυρα-Απρίλιος 2000 και 6,1% του μάρτυρα-Οκτώβριος 2000) παρατηρήθηκε στην επέμβαση 'εφαρμογή trifluralin νύχτα και βαθιά ενσωμάτωση'. Αυτή η αυξημένη αποτελεσματικότητα του trifluralin πιστεύεται ότι οφείλεται στις μικρότερες απώλειες του ζιζανιοκτόνου από φωτοχημική διάσπαση και εξάτμιση κατά την νυχτερινή εφαρμογή με βαθιά ενσωμάτωση (το trifluralin είναι αρκετά πτητικό ζιζανιοκτόνο και αποσυντίθεται εύκολα από την υπεριώδη ακτινοβολία). Αντίθετα, στο πείραμα στα Φάρσαλα (μόνο αβαθή ενσωμάτωση με καλλιεργητή) δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στην ζιζανιοκτόνο δράση των trifluralin και pentimethalin μεταξύ των ημερήσιων και νυχτερινών εφαρμογών. Οι τιμές συνολικής πυκνότητας ζιζανίων στις επεμβάσεις με το trifluralin διαμορφώθηκαν από τα ζιζάνια λουβουδιά, χρωζοφόρα και βλήτα (44% του συνόλου των ζιζανίων-Απρίλιος 2000) που ελέγχονται από το ζιζανιοκτόνο και από τα ζιζάνια αγριομελιτζάνα (δεν επηρεάζεται από το ζιζανιοκτόνο ούτε από τρόπο-χρόνο κατεργασίας), αγριοτομάτα και περικοκλάδα. Τα δύο τελευταία είδη περιορίστηκαν από την απουσία φωτός (Σχήμα 4) και το βάθος κατεργασίας και σε μικρό βαθμό από την, έστω και μικρή (Rapparini 1996), δράση του trifluralin. Ομοίως, στο πείραμα στα Φάρσαλα, οι τιμές συνολικής πυκνότητας προέκυψαν από τον έλεγχο των ζιζανίων βλήτα και μουχρίτσα (42% του συνόλου των ζιζανίων) ,της μικρής δράσης των trifluralin και pentimethalin στην αγριοτομάτα σε συνδυασμό με τον παράγοντα απουσία φωτός.

Από τα είδη των ζιζανίων που μελετήθηκαν η αγριοτομάτα, το βλήτο, η περικοκλάδα και η παπαρούνα έδειξαν να αντιδρούν σε διαφορετικό βαθμό από τις επεμβάσεις κατεργασιών ημέρας ή νύχτας. Συγκεκριμένα, όπου το έδαφος κατεργάστηκε κατά τη διάρκεια της νύχτας η πυκνότητα της αγριοτομάτας (μέσος όρος βαθιά-αβαθή) μειώθηκε (Σχήμα 4) σε σχέση με αυτή της ημερήσιας κατεργασίας κατά 84% και 32%, του βλήτου κατά 79% και 50% με χρήση φρέζας και με χρήση καλλιεργητή, αντίστοιχα και της περικοκλάδας κατά 44% και της παπαρούνας κατά 51% με φρέζα. Οι σπόροι των προαναφερθέντων ειδών φαίνεται πως, για να ξεκινήσει ο μηχανισμός βλάστησής τους,

απαιτούν σύντομη έκθεση (και ενδεχόμενα για διαφορετικό χρόνο το κάθε είδος) στην ηλιακή ακτινοβολία η οποία δεν υπήρχε κατά τις νυχτερινές κατεργασίες του εδάφους. Επιπλέον, αυτή η μείωση της πυκνότητας ήταν μεγαλύτερη όπου χρησιμοποιήθηκε η φρέζα σε σύγκριση με τον καλλιεργητή λόγω του καλύτερου διαμερισμού των εδαφικών συσσωματωμάτων που επιτυγχάνεται με αυτή και έτσι, περισσότεροι σπόροι ζιζανίων που ήταν εγκλεισμένοι σε αυτά εκτέθηκαν στον παράγοντα φως-σκοτάδι.



Σχήμα 4. Πυκνότητα αγριοτομάτας ανά επέμβαση (Απρίλιος 2000)

Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στα Φάρσαλα παρατηρήθηκε ότι η απόδοση του βαμβακιού ήταν καλύτερη και ο αριθμός των καρυδιών μεγαλύτερος στα πειραματικά τεμάχια που δέχθηκαν την επέμβαση 'κατεργασία εδάφους νύχτα βαθιά' από ό,τι στις άλλες κατεργασίες, πιθανόν λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας των ζιζανίων (μειωμένη βλάσηση φωτοευαίσθητων ειδών). Επίσης, όπου εφαρμόστηκαν τα δύο ζιζανιοκτόνα τη νύχτα η απόδοση σε σύσπορο βαμβάκι ήταν καλύτερη και ο αριθμός καρυδιών/φυτό μεγαλύτερος από όσο στην ημερήσια εφαρμογή (Σχήμα 5).

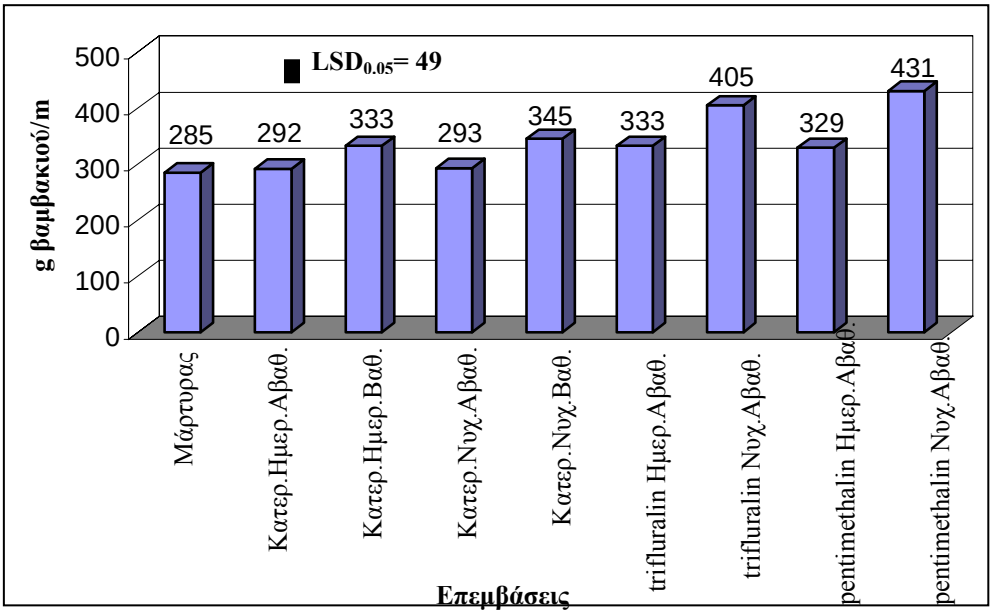
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατεργασία του εδάφους τη νύχτα (βαθιά ή αβαθή με φρέζα ή καλλιεργητή) περιόρισε σημαντικά τη συνολική πυκνότητα των ζιζανίων συγκρινόμενη με αυτή της ημερήσιας κατεργασίας.

Η αγριοτομάτα, το βλήτο, η περικοκλάδα και η παπαρούνα ήταν τα ζιζάνια των οποίων ο πληθυσμός παρουσίασε τη μεγαλύτερη μείωση όπου έγινε νυχτερινή κατεργασία του εδάφους. Η απουσία φωτός φαίνεται πως παρεμπόδισε τη διέγερση του φυτρώματος των σπόρων τους.

Η ζιζανιοκτόνος δράση του trifluralin ήταν καλύτερη όταν αυτό εφαρμόστηκε τη νύχτα και ενσωματώθηκε στο έδαφος βαθιά. Η μη παρουσία φωτός και το αυξημένο βάθος ενσωμάτωσης πιθανόν περιόρισαν τις απώλειες της δραστικής ουσίας από φωτοαποδόμηση και εξάτμιση με συνέπεια τον καλύτερο έλεγχο των ευαίσθητων σε αυτό ζιζανίων. Ορισμένα από τα μη ευαίσθητα ζιζάνια περιορίστηκαν λόγω μη βλάστησης τους εξαιτίας απουσίας φωτός.

Βαθιά νυχτερινή κατεργασία ή εφαρμογή trifluralin και pentimethalin είχε ως αποτέλεσμα την υψηλότερη απόδοση του βαμβακιού και το μεγαλύτερο αριθμό καρυδιών ανά φυτό.



Σχήμα 5. Απόδοση βαμβακιού ανά επέμβαση

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ascard, J. 1994. Soil cultivation in darkness reduced weed emergence. Acta Horticult. 372 : 167-177
2. Botto, J.F. and A.L. Scope, C.L. Ballare, R.A. Shachez 1998. The effect of light during and after soil cultivation with different tillage implements on weed seedling emergence. Weed Sci. 46 : 351-357
3. Buhler, D.D. 1997. Effects of tillage and light environment on emergence of 13 annual weeds. Weed Technol. 11: 496-501
4. Hartmann, K.M. and W. Nezadal 1990. Photocontrol of weeds without herbicides. Naturwissenschaften 77 : 158-163
5. Gallagher, R.S. and J.Cardina 1998. The effect of light environment during tillage on the recruitment of varius summer annuals. Weed Sci. 46 : 214-216
6. Rapparini, G. 1996. Il diserbo delle colture. Edizioni l' informatore agrario, p 20.
7. Sauer, J. and G. Struik 1964. A possible ecological relation between soil disturbance, light flash and seed germination. Ecology 45 : 884-886
8. Scopel, A.L. and C.L. Ballare, S.R. Radosevich 1994. Photostimulasion of seed germination during soil tillage. New Phytology 126 :145-152
9. Wesson, Gand P.F.Wareing 1969a. The role of light in the germination of naturally occuring populations of buried weed seeds. J. Exp. Bot. 20 : 402-413

Μαθηματικά Μοντέλα στη Γεωργία

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ, ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WANISIM, ΣΕ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΦΥΤΑ

Β. Ζ. Αντωνόπουλος και Δ. Δ. Μιχαηλίδου
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η θερμοκρασία του εδάφους αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τις περισσότερες διαδικασίες, που συμβαίνουν στην ακόρεστη ζώνη. Στην εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου της μεταφοράς θερμότητας στο έδαφος με βάση την επίλυση της αντίστοιχης εξίσωσης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Το μοντέλο αυτό συνδυάζεται με το μοντέλο WANISIM, που περιγράφει την κίνηση του νερού και τη μεταφορά μάζας και τους μετασχηματισμούς του αζώτου στο έδαφος. Η εφαρμογή του μοντέλου γίνεται σε ένα έδαφος καλυμμένο με γρασίδι υπό συνθήκες αγρού για μία χρονική περίοδο 10 μηνών. Τα αποτελέσματα της κατανομής της εδαφικής υγρασίας και της θερμοκρασίας συγκρίνονται με αντίστοιχες μετρημένες τιμές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Λέξεις κλειδιά:μεταφορά θερμότητας,θερμοκρασία, εδαφικό νερό, μοντέλο WANISIM

SIMULATION OF SOIL WATER AND TEMPERATURE IN A SOIL WITH PLANTS USING WANISIM MODEL

V.Z. Antonopoulos and D.D. Michailidou
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering
School of Agriculture, Aristotle University, 54124 Thessaloniki, Greece.

ABSTRACT

Soil temperature is an important factor that affects most processes and reactions occurring in the unsaturated zone. In this paper, a mathematical model based on the solution of heat transport in the soil equation with the finite element method, is presented. The heat transport model has been incorporated as part of the integrated WANISIM model which describes the soil water movement and the nitrogen transport and transformations in the soil. Data from a soil covered by grass for a time period of ten months are used for the application and checking of the model. A significant agreement was observed between the simulation results and the measurements of water content and soil temperature.

Keywords: Heat transport, soil temperature, soil water, WANISIM model

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θερμοκρασία του εδάφους είναι μία σημαντική παράμετρος που επηρεάζει πολλά και σημαντικά φαινόμενα και διαδικασίες που συμβαίνουν στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους. Επηρεάζει την δραστηριότητα των μικροοργανισμών, τη βλάστηση των σπόρων, την ανάπτυξη των ριζών και την κατανομή τους και τις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις στο έδαφος. Επειδή η θερμοκρασία μεταβάλλεται με το βάθος οι βιολογικές και χημικές αντιδράσεις επηρεάζονται ανάλογα με την κατανομή της.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει πολλές σημαντικές προσπάθειες για να περιγραφούν τόσο η ροή του νερού όσο και η θερμοκρασία μέσα στο έδαφος. Τα δύο φαινόμενα αντιμετωπίζονται ταυτόχρονα. Στα περισσότερα από τα μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν τη ροή του νερού, τη μεταφορά μάζας και τους μετασχηματισμούς του αζώτου και των φυτοφαρμάκων στο έδαφος υπό συνθήκες αγρού συμπεριλαμβάνεται και η περιγραφή της ροής θερμότητας. Τα μοντέλα WAVE (Vanclooster, 1994), SOIL (Jansson, 1998), SIMULAT (Diekkrueger et al. 1991), MACRO (Jarvis, 1994) είναι μεταξύ των πιο γνωστών μοντέλων της κατηγορίας αυτής. Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία έχει αποκτήσει η περιγραφή της ροής θερμότητας στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους μετά τη διαπίστωση της μεγάλης σημασίας που έχει η ζώνη αυτή ως ο συνδετικός κρίκος μεταξύ ατμόσφαιρας και υπόγειων νερών (Sung et al. 2002).

Στην εργασία επιλύεται η μονοδιάστατη εξίσωση μεταφοράς θερμότητας με αγωγή και συναγωγή, σε εδάφη μεταβαλλόμενης περιεχόμενης υγρασίας, λόγω ακόρεστων συνθηκών. Η επίλυση της εξίσωσης μεταφοράς της θερμότητας γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Η επίλυση αυτή ενσωματώνεται και αποτελεί μέρος του μαθηματικού μοντέλου WANISIM προσομοίωσης της δυναμικής του νερού και του αζώτου στο έδαφος (Αντωνόπουλος, 1998). Το μοντέλο ελέγχεται για την ακρίβειά του με συγκρίσεις των αποτελεσμάτων με αναλυτικές λύσεις και με μετρήσεις της θερμοκρασίας σε πειραματικό αγρό.

2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η μονοδιάστατη κατακόρυφη ροή του νερού σε ένα κορεσμένο-ακόρεστο έδαφος, με πρόσληψη νερού από τις ρίζες των φυτών, περιγράφεται από την εξίσωση του Richards (Αντωνόπουλος, 1998, 1999α):

$$C_h \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K(h)\frac{\partial h}{\partial z} - K(h) \right) \pm S_W \qquad (1)$$

όπου h είναι το ύψος πίεσης (cm), K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (cm/d), C_h είναι η υδραυλική χωρητικότητα του εδάφους (1/d), S_w είναι ο όρος για την πρόσληψη νερού από τις ρίζες (1/d), z είναι η κατακόρυφη απόσταση (θετική προς τα κάτω) και t ο χρόνος. Η πρόσληψη του νερού από τα φυτά, περιγράφεται από την εξίσωση των Belmans et al. (1983).

$$S_w(z,h) = \alpha(h)S_{max}(z) \quad (2)$$

όπου $S_{max}(z)$ είναι η κατανομή της μέγιστης πρόσληψης νερού από τα φυτά με το βάθος του ριζοστρώματος, α(h) είναι μια παράμετρος που εξαρτάται από το ύψος πιέσεως και καθορίζει τη δυσκολία πρόσληψης του νερού από το ριζικό σύστημα. Ο περιορισμός για την πρόσληψη του νερού είναι η δυναμική διαπνοή (T_p) που εκφράζεται από τη σχέση

$$\int_o^d S_w(h,z)dz \le T_p \quad (3)$$

όπου d είναι το βάθος του ριζοστρώματος.

Η ροή θερμότητας στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους αποτελείται από το άθροισμα της ροής με αγωγή (conduction) και συναγωγή (convection) και εκφράζεται από τη μονοδιάστατη διαφορική εξίσωση της μορφής :

$$C_s(\theta)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda(\theta)\frac{\partial T}{\partial z}\right) - C_w q\frac{\partial T}{\partial z} \quad (4)$$

όπου T είναι η θερμοκρασία του εδάφους (^oC), λ(θ) είναι η φαινομενική θερμική αγωγιμότητα του εδάφους (W/m-^{o}K), $C_s(\theta)$ και C_w είναι οι κατ' όγκο θερμοχωρητικότητες (J/m^3-^{o}K) του πορώδους μέσου και της υγρής φάσης, αντίστοιχα και q είναι η ταχύτητα Darcy (m/d). Ο πρώτος όρος στο δεξιό μέρος της εξίσωσης εκφράζει τη ροή θερμότητας με αγωγή και ο δεύτερος όρος τη θερμότητα που μεταφέρεται με την κίνηση του νερού.

Η κατ' όγκο θερμοχωρητικότητα $C_s(\theta)$ εκτιμάται από τη σχέση (De Vries, 1963):

$$C_s = (1-\theta_s)x1.92\times10^6 + 4.18\times10^6\theta \quad (5)$$

όπου θ_s είναι η εδαφική υγρασία στον κορεσμό (cm^3/cm^3) και θ είναι η εδαφική υγρασία (cm^3/cm^3).

Η φαινομενική θερμική αγωγιμότητα του εδάφους λ(θ) εκτιμάται ως συνάρτηση της εδαφικής υγρασίας από την εξίσωση (Horton and Chung, 1991):

$$\lambda=\beta_1+\beta_2\theta+\beta_3\theta^{0.5} \quad (6)$$

όπου β_1, β_2 και β_3 εμπειρικές παράμετροι που καθορίζονται για τους τρεις βασικούς τύπους εδαφών (ελαφρύ, μέσο ή βαρύ).

Οι οριακές συνθήκες καθορίζονται με τη βοήθεια των εξισώσεων

$$T(0,t) = \left(\frac{T_{max}+T_{min}}{2}\right) + \left[\left(\frac{T_{max}-T_{min}}{2}\right)\cos\left(2\pi\left(\frac{t^*-15}{24}\right)\right)\right] \quad (7)$$

T(d,t)=

$$\left(\frac{T_{\alpha max}+T_{\alpha min}}{2}\right) + \left[\left(\frac{T_{\alpha max}-T_{\alpha min}}{2}\right)\exp\left(-\frac{z}{D_\alpha}\right)\cos\left(2\pi\left(\frac{t^*-15}{24}\right)-\left(\frac{z}{D_\alpha}\right)\right)\right] \quad (8)$$

όπου T_{max} και T_{min} είναι η μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα, και $T_{\alpha max}$ και $T_{\alpha min}$ είναι η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία των μηνιαίων τιμών, D_α είναι το βάθος μετριασμού και t^* είναι ο χρόνος κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η επίλυση των διαφορικών εξισώσεων (1) και (4) γίνεται με τη μέθοδο των

πεπερασμένων στοιχείων (Antonopoulos, 1999α). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η εξαρτημένη μεταβλητή κάθε εξίσωσης (y=h,T) προσεγγίζεται με μία πεπερασμένη σειρά ως συνάρτηση των κομβικών τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και των συναρτήσεων μορφής. Η ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ προσεγγιστικής και ακριβούς λύσης γίνεται με τη βοήθεια του κριτηρίου Galerkin. Η προσέγγιση των χρονικών παραγώγων γίνεται με μία δεύτερης τάξης προσέγγιση στο χρόνο (τύπου Crank-Nicolson), που τελικά οδηγεί σε αλγεβρικά συστήματα με τριδιαγωνικά μητρώα των συντελεστών των αγνώστων, που λύνονται με τις μεθόδους της αριθμητικής ανάλυσης.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της εδαφικής υγρασίας και της θερμοκρασίας σε έναν αδιατάρακτο αγρό με ryegrass στο Acklington της Αγγλίας (Antonopoulos and Wyseure, 1998, Αντωνόπουλος, 1999β). Το έδαφος αποτελείται από ορίζοντες αργιλοπηλώδους εδάφους (clay loam). Οι συναρτήσεις της χαρακτηριστικής καμπύλης θ(h), για κάθε στρώση προσδιορίστηκαν από πειραματικά δεδομένα τιμών της εδαφικής υγρασίας και του ύψους πίεσης, στα οποία προσαρμόστηκαν οι συναρτήσεις θ(h) του 'van Genuchten' [Van Genuchten, 1980]. Για τη συνάρτηση της υδραυλικής αγωγιμότητας K(h) χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του Gardner (1958). Η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού προσδιορίστηκε από δεδομένα διήθησης και οι παράμετροι του μοντέλου Gardner από pedotransfer functions (Αντωνόπουλος, 1999α). Οι παράμετροι των συναρτήσεων θ(h) και K(h) για κάθε στρώση του εδάφους δίνονται στον πίνακα 1. Κατά την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα και οι ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας του εδάφους σε διάφορα βάθη, της ίδιας χρονικής περιόδου, του μετεωρολογικού σταθμού του Acklington.

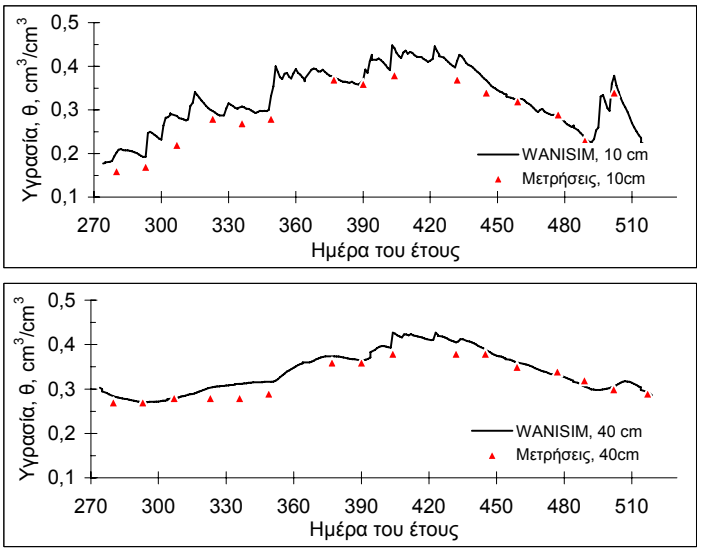
Πίνακας 1. Παράμετροι της χαρακτηριστικής καμπύλης και υδραυλικής αγωγιμότητας στις στρώσεις του αργιλοπηλώδους εδάφους*.

Βάθος (cm)	ρ Mg/m^3	θ_r cm^3/cm^3	θ_s cm^3/cm^3	α 1/cm	n	m	Ks cm/d	B	λ
0-5	1.2	0.15	0.47	0.00267	0.714	1.0	27	0.89	1.51
5-15	1.2	0.15	0.47	0.00267	0.714	1.0	27	0.89	1.51
15-30	1.2	0.18	0.47	0.00267	0.714	1.0	27	0.89	1.51
30-50	1.5	0.24	0.44	0.00267	0.714	1.0	15	0.89	1.51
50-100	1.5	0.27	0.44	0.00339	0.667	1.0	5	0.89	1.51

* Van Genuchten model: $\theta(h)= \theta_r +(\theta_s - \theta_r)/[1+(a|h|)^n]^m$,

Gardner model: $K(h)=K_s/[1+(Bh)^\lambda]$

Τα αποτελέσματα της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις στο εδαφικό προφιλ. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι υπολογισμένες και οι μετρημένες τιμές της εδαφικής υγρασίας στα 10 και 40 cm κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης. Από το σχήμα προκύπτει ότι αν και υπάρχει η τάση να περιγράφεται η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να βρίσκονται πολύ κοντά στις μετρήσεις, το μοντέλο προβλέπει μεγαλύτερες τιμές για την υγρασία στο επιφανειακό στρώμα εδάφους (0-30 cm) κατά την υγρή περίοδο του χειμώνα. Υπάρχει πολύ καλή συμφωνία αποτελεσμάτων και μετρήσεων στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους (>30 cm). Μια πιθανή εξήγηση για αυτές τις αποκλίσεις είναι η παρουσία μακροπόρων, η ροή δια μέσου των οποίων δεν περιλαμβάνεται στο μοντέλο.



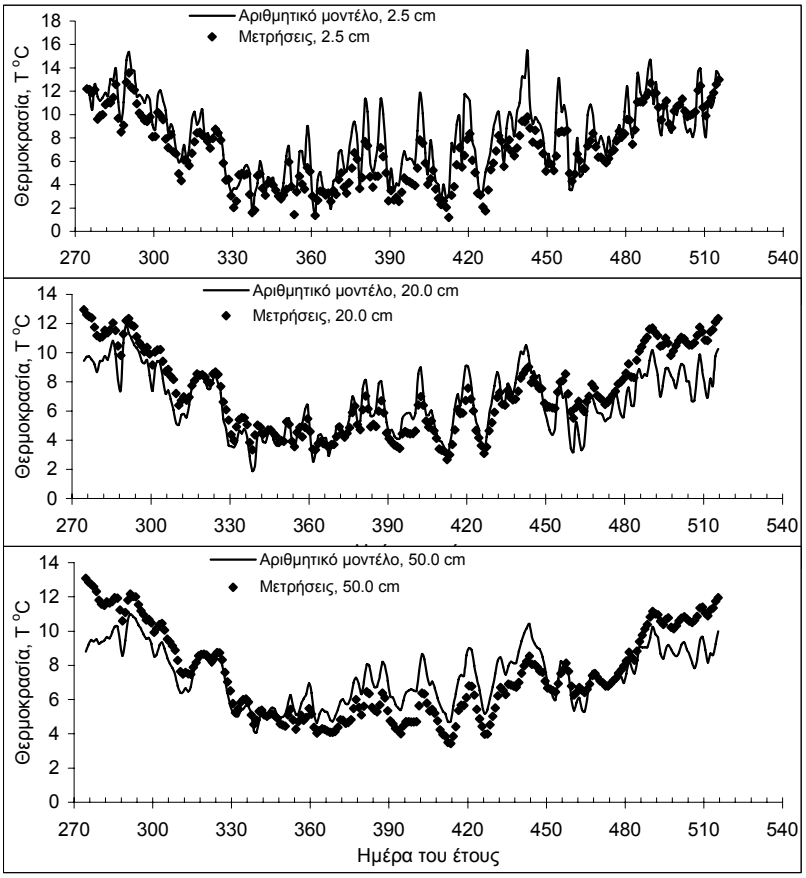
Σχήμα 1. Σύγκριση των υπολογισμένων και μετρημένων τιμών της εδαφικής υγρασίας στα βάθη α) 10 και β) 40 cm στο έδαφος.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και συγκρίνονται με τις μετρήσεις που αφορούν την κατανομή της θερμοκρασίας σε τρία διαφορετικά βάθη (2.5, 20 και 50 cm) κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης.

Από τα σχήματα προκύπτει ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας των επιφανειακών στρωμάτων είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη των κατώτερων εδαφικών στρώσεων. Ειδικότερα στο βάθος των 2.5 cm, το θερμομετρικό εύρος είναι 14 ^{o}C, στο βάθος των 20 cm ελαττώνεται στους 10 ^{o}C και στο βάθος των 50 cm ελαττώνεται ακόμη περισσότερο και φτάνει τους 7 ^{o}C. Ακόμη παρατηρείται ότι στη διάρκεια του χειμώνα, η μέση θερμοκρασία των βαθύτερων στρωμάτων είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία των στρωμάτων που βρίσκονται σε μικρότερα βάθη. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη

διάρκεια του χειμώνα η μεταφορά θερμότητας γίνεται από τα βαθύτερα στρώματα προς την επιφάνεια του εδάφους, ενώ κατά τους θερινούς μήνες συμβαίνει το αντίθετο.

Από τη σύγκριση των μετρημένων και υπολογισμένων τιμών της θερμοκρασίας (Σχ. 2), προκύπτει ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την πραγματικότητα. Η αξιολόγηση του μοντέλου και ο έλεγχος της αξιοπιστίας του γίνεται με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων. Τα στατιστικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι το τυπικό σφάλμα (root mean square, RMS), το σφάλμα του τετραγώνου των αποκλίσεων (root mean square error, RMSE), η αποδοτικότητα του μοντέλου (model efficiency, EF) και ο συντελεστής ελλείμματος μάζας (coefficient of residual mass, CRM) (Antonopoulos, 2001). Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τιμές των στατιστικών αυτών κριτηρίων μεταξύ μετρημένων και υπολογισμένων τιμών της θερμοκρασίας για τα τρία διαφορετικά βάθη.



Σχήμα 2. Σύγκριση των υπολογισμένων και μετρημένων τιμών της θερμοκρασίας εδάφους στα βάθη α) 2.5, β) 20 και γ) 50 cm.

Πίνακας 2. Τιμές στατιστικών κριτηρίων μεταξύ των μετρήσεων και των υπολογισμένων τιμών της θερμοκρασίας για τα βάθη των 2.5, 20 και 50 cm.

Κριτήριο \ Βάθος	2.5 cm	20 cm	50 cm
RMS	1.80	1.47	1.41
RMSE	26.22	20.41	19.02
EF	0.9997	0.9998	0.9998
CRM	-0.19	0.07	-0.01

Οι αρνητικές τιμές του CRM δείχνουν μία γενική υπερεκτίμηση από το μοντέλο, όπως εξάλλου φαίνεται και από το Σχήμα 2, στα βάθη των 2.5 και των 50 cm. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους, όπως και στο κάτω όριο, θεωρείται συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας του αέρα και δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των υπολοίπων μετεωρολογικών παραγόντων. Το μοντέλο περιγράφει καλύτερα και προβλέπει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις τιμές της θερμοκρασίας στα κατώτερα στρώματα του εδάφους. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις που παρατηρούνται μεταξύ των μετρημένων και των υπολογισμένων τιμών στην επιφάνεια του εδάφους οφείλονται μάλλον στον μη ακριβή καθορισμό της πάνω οριακής συνθήκης. Γενικότερα, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται μπορεί να οφείλονται στη μη ακριβή εκτίμηση των παραμέτρων, όπως του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, εξαιτίας της έλλειψης πειραματικών εδαφολογικών δεδομένων και στο ότι τόσο οι μετρημένες όσο και οι υπολογισμένες τιμές της θερμοκρασίας του εδάφους στα τρία βάθη δεν αποτελούν μάλλον μέσες ημερήσιες τιμές αλλά αντιπροσωπεύουν τη θερμοκρασία του εδάφους σε μία δεδομένη χρονική στιγμή η οποία μπορεί να είναι διαφορετική για τις μετρημένες και διαφορετική για τις υπολογισμένες τιμές.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μαθηματικό μοντέλο WANISIM που περιγράφει τη ροή του εδαφικού νερού, τη μεταφορά μάζας των ανόργανων μορφών του αζώτου και τους μετασχηματισμούς τους σε συνθήκες αγρού επεκτάθηκε για να περιλάβει το υπομοντέλο της ροής θερμότητας στο έδαφος. Οι εξισώσεις του Richards και μεταφοράς μάζας αζώτου και θερμότητας επιλύονται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Η οριακή συνθήκη της εξίσωσης θερμότητας στην επιφάνεια του εδάφους αντιμετωπίζεται με μία τριγωνομετρική συνάρτηση της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας που λαμβάνει υπόψη τη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία της ημέρας στην επιφάνεια του εδάφους. Μία παρόμοια εξίσωση χρησιμοποιείται και για την κατάντη οριακή συνθήκη.

Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε σε ένα αδιατάρακτο έδαφος της περιοχής του Acklington της Αγγλίας για τα έτη 1989 και 1990. Ο έλεγχος της ακρίβειας, της εφαρμοσιμότητας καθώς και η επιβεβαίωση του μαθηματικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του, ως προς τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας και της θερμοκρασίας σε διαφορετικά βάθη και κατά τη διάρκεια της περιόδου της προσομοίωσης, με αντίστοιχες

μετρημένες τιμές. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά κριτήρια του τυπικού σφάλματος, του σφάλματος του τετραγώνου των αποκλίσεων, του συντελεστή αποδοτικότητας και του συντελεστή ελλείμματος μάζας. Οι τιμές των κριτηρίων αυτών δείχνουν ικανοποιητική προσέγγιση της διακύμανσης της εδαφικής υγρασίας και της θερμοκρασίας εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1 Αντωνόπουλος Β.Ζ., 1999α. *Υδρολογία της Ακόρεστης Ζώνης του Εδάφους*. Έκδοση της Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 270.

2. Αντωνόπουλος Β.Ζ., 1999β. Ισοζύγιο νερού σε αποκατεστημένο, μετά την εξόρυξη άνθρακα, έδαφος με το μοντέλο WANISIM. *Τεχνικά Χρονικά*, Επιστημονική έκδοση ΤΕΕ, Ι, τεύχος 1-2, σελ.: 75-85.
3. Αντωνόπουλος, Β., 1998. *WANISIM-Μονοδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης της δυναμικής του νερού και του αζώτου στο έδαφος*, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Μονογραφία, σελ 80.
4. Antonopoulos, V., 2001. Simulation of water and nitrogen balances of irrigated and fertilized corn-crop soil. *J. Irrig. and Drain. Engng*., ASCE 127 (2), 77 - 83.
5. Antonopoulos V. Z. and G. C. L. Wyseure, 1998. Modeling of water and nitrogen dynamics on an undisturbed soil and a restored soil after open – cast mining. *Agricultural Water Management*, 37: 21-40.
6. Belmans, C., Wesseling, J. G., and Feddes, R. A. 1983. Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *J. Hydro*., Amsterdam, 63, 271-286.
7. De Vries, D. A., 1963. *Thermal properties in soils*. In Physics of Plant Environment. John Wiley and Sons, New York.
8. Diekkrueger B., O. Richter and P. Noertershaeuser, 1991. *SIMULAT: transport of water and heat in soils*. Modeling of Geo – Biosphere, Processes 1.
9. Gardner, W.R., 1958. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application from a water table. *Soil Science*, 85: 228-232.
10. Horton R. and S.O. Chung, 1991. *Soil heat flow*. In Modeling plant and soil systems. Agronomy Monograph no. 31, ASA-CSSA-SSSA, Madison, pp 397-438.
11. Jansson, P.-E., 1998. *Simulation model for soil water and heat conditions*. Tech. rep., Departement of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweeden.
12. Jarvis, N., 1994. *The MACRO Model* (Version 3.1) Technical description and samples simulations. Depart. of Soil Sciences, Report and Dissertations No 19, Uppsala, Sweeden.
13. Sung, K., C.M. Yavuz and M.C. Drew, 2002. Heat and mass transfer in the vadose zone with plants roots*, J. of Contaminant Hydrology*, 57: 99-127.
14. Vanclooster, M., Viaene, P., Diels, J., and Christiaens, K. 1994. *WAVE: A mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and Vadose enviroment-reference* and user's manual (release 2.0). Institute for Land and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
15. Van Genuchten M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Sci. Soc. Am. J*., 44: 892-898.

ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΕΚΘΕΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΛΗΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΡΙΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Χ. Γεωργούσης και Χ. Μπαμπατζιμόπουλος
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία το μοντέλο πρόσληψης νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών, των Li et al. (2001), το οποίο λαμβάνει υπόψη του την κατανομή των ριζών στο ριζόστρωμα, συγκρίνεται με τα ήδη γνωστά μοντέλα των Feddes et al. (1978) και Prasad (1988). Η συγκριτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του μοντέλου SWBACROS και πειραματικά δεδομένα που αφορούσαν μια καλλιέργεια βαμβακιού στη Σίνδο Θεσ/νίκης. Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως με τα συγκεκριμένα δεδομένα, το εκθετικό μοντέλο είναι ισοδύναμο αυτού του Feddes, ενώ απαιτεί περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών. Συνεπώς η επιλογή μοντέλου πρόσληψης νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών πρέπει να γίνεται με προσοχή

Λέξεις κλειδιά: πρόσληψη νερού, ριζικό σύστημα, εκθετικό μοντέλο, βαμβάκι, SWBACROS

STUDY OF AN EXPONENTIAL ROOT–WATER–UPTAKE MODEL

H. Georgoussis and Ch. Babajimopoulos
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 540 06, Greece

ABSTRACT

In this paper a recently presented by Li et al.(2001) exponential root water uptake model is compared to the well known models of Feddes et al. (1978) and Prasad (1988). For this reason the SWBACROS model is used to simulate the soil water balance of a cotton field in the area of Sindos. It is concluded that, under the existing data the exponential model is almost equivalent to the Feddes model. Since the exponential model requires difficult to obtain root density data its use should be examined very carefully.

Keywords: root water uptake, root density, exponential model, cotton, SWBACROS

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσομοίωση της κίνησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη ενός καλλιεργούμενου εδάφους, απαιτεί μεταξύ άλλων την περιγραφή της διαδικασίας πρόσληψης του από το ριζικό σύστημα των φυτών (root water uptake). Για το λόγο αυτό, στη γνωστή εξίσωση Richards (Richards, 1931) εισάγεται ένας όρος πρόσληψης (sink term) S:

$$C(h)\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K(h)\left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1\right)\right] - S(h,z) \tag{1}$$

Στην εξίσωση αυτή πέραν του όρου S, h είναι το ύψος πίεσης, t ο χρόνος, C(h) η υδραυλική χωρητικότητα του εδάφους, z η κατακόρυφη συντεταγμένη με θετική φορά προς τα κάτω και K(h) η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα.

Ο όρος πρόσληψης αποτελεί συνάρτηση πληθώρας παραγόντων, όπως το είδος, η ποικιλία και η φυσιολογία του φυτού, η μηχανική σύσταση του εδάφους, το υγρασιακό καθεστώς του ριζοστρώματος κ.α.

Η διαδικασία της πρόσληψης νερού από το φυτό, είναι αρκετά σύνθετη και για τη διερεύνηση της ακολουθούνται δυο διαφορετικές προσεγγίσεις από τους ερευνητές.

Η «**μικροσκοπική**» προσέγγιση επικεντρώνεται στη μελέτη της ακτινικής ροής του νερού γύρω από μια υποθετική ρίζα κυλινδρικής μορφής. Η εφαρμογή αυτής της προσέγγισης σε συνθήκες αγρού είναι εξαιρετικά δύσκολη, καθώς απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό, εξειδικευμένο προσωπικό, χρονοβόρο πειραματισμό και υψηλά χρηματικά ποσά.

Η «**μακροσκοπική**» προσέγγιση από την άλλη μεριά, εξετάζει την πρόσληψη του νερού από ένα ορισμένο όγκο εδάφους, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη δράση των επιμέρους ριζών. Η μακροσκοπική προσέγγιση είναι καταλληλότερη για την ενσωμάτωσή της σε μαθηματικά μοντέλα και τυγχάνει ευρείας χρήσης.

Η ποσότητα του νερού που θα προσληφθεί από το ριζικό σύστημα του φυτού, θα εγκαταλείψει το ριζόστρωμα μέσω της διαδικασίας της διαπνοής. Έτσι λοιπόν ο μέγιστος ρυθμός πρόσληψης (S_{max}) από το σύνολο του ριζικού συστήματος (που εκτείνεται σε βάθος L) θεωρείται ίσος με τη δυναμική διαπνοή (potential transpiration – T_p):

$$\int_0^L S_{\max}(z)\, dz = T_p \tag{2}$$

Η πραγματική ποσότητα νερού που προσλαμβάνεται (S) είναι ένα ποσοστό του S_{max}:

$$S(h,z) = \alpha(h) S_{\max}(z) \tag{3}$$

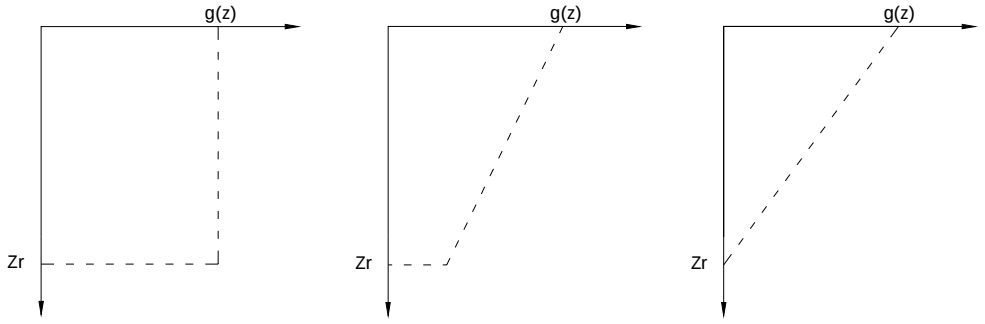
Ο όρος S_{max} εξαρτάται και από την κατανομή του ριζικού συστήματος στο έδαφος που εκφράζεται με τον όρο g(z) (Αντωνόπουλος, 1999):

$$S_{\max}(z) = T_p\, g(z) \text{ όπου } \int_0^L g(z)\, dz = 1 \tag{4}$$

Έτσι, η τελική μαθηματική έκφραση που περιγράφει την πρόσληψη του νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών είναι η ακόλουθη (Αντωνόπουλος, 1999):

$$S(h,z) = \alpha(h) S_{\max}(z) = \alpha(h) T_p\, g(z) \tag{5}$$

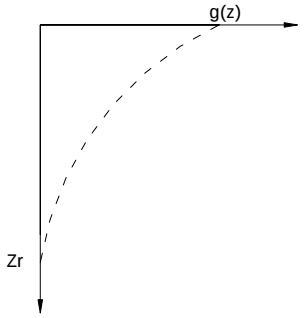
Οι γνωστότερες και ευρύτερα χρησιμοποιούμενες κατανομές των ριζών, είναι αυτές των Feddes et al. (1978), Hoogland and Belmans (1981) και Prasad (1988) (Σχήμα 1, α, β, γ αντίστοιχα).



(α) (β) (γ)

Σχήμα 1: Προταθείσες κατανομές ριζών από τους (α) Feddes et al. (1978), (β) Hoogland and Belmans (1981) και (γ) Prasad (1988).

Οι κατανομές αυτές των ριζών, μόνο ως απλουστευμένες μπορούν να χαρακτηριστούν. Πολλοί ερευνητές βρίσκουν πιο ρεαλιστικές τις προσεγγίσεις που θεωρούν μια εκθετική κατανομή των ριζών στο ριζόστρωμα (π.χ. Dwyer et al., 1988 ; Li et al., 1999 ; Lai and Katul, 2000). Βασιζόμενοι σε μετρημένες κατανομές του ριζικού συστήματος των Dwyer et al. (1988), οι Li et al. (1999) προτείνουν ένα νέο μοντέλο (Σχήμα 2) η μορφή του οποίου, είναι εκθετική.



Σχήμα 2:Θεωρητική εκθετική κατανομή ριζών

Παρά το γεγονός ότι κάθε ένα από τα παραπάνω προτεινόμενα μοντέλα (Feddes et al., 1978 ; Hoogland and Belmans, 1981 ; Prasad, 1988) κατανέμει τη δυναμική διαπνοή στο εδαφικό προφίλ με διαφορετικό τρόπο, κανενός η φιλοσοφία δεν επιτρέπει την πρόσληψη νερού από άλλες υγρότερες στρώσεις, όταν κάποια στρώση εμφανίζει έλλειψη νερού. Σε διάφορες όμως (Arya et al., 1975α ; Arya et al., 1975β ; Nnyamah and Black, 1977) έχει παρατηρηθεί μια τάση των φυτών να ικανοποιούν τις ανάγκες τους σε νερό, προσλαμβάνοντας νερό από βαθύτερες και υγρότερες εδαφικές στρώσεις, όταν οι επιφανειακές στερούνται επαρκούς υγρασίας.

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΚΘΕΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Με σκοπό να περιγράψουν και αυτό το φαινόμενο, οι Li et al. (2001) τροποποιούν το μοντέλο που παρουσίασαν το 1999, διατηρώντας όμως την εκθετική μορφή του. Έτσι, προτείνουν τον ακόλουθο όρο, για να περιγράψουν την πρόσληψη του εδαφικού νερού από το ριζικό σύστημα του φυτού:

$$S_{\max} = \frac{\alpha_i F_i^{\lambda} T_p}{\Delta z_i \sum_{i=1}^{n} \alpha_i F_i^{\lambda}} \xrightarrow{S_i(h)=\alpha_i(h) S_{\max}} S_i = \frac{\alpha_i^2 F_i^{\lambda} T_p}{\Delta z_i \sum_{i=1}^{n} \alpha_i F_i^{\lambda}} \quad (6)$$

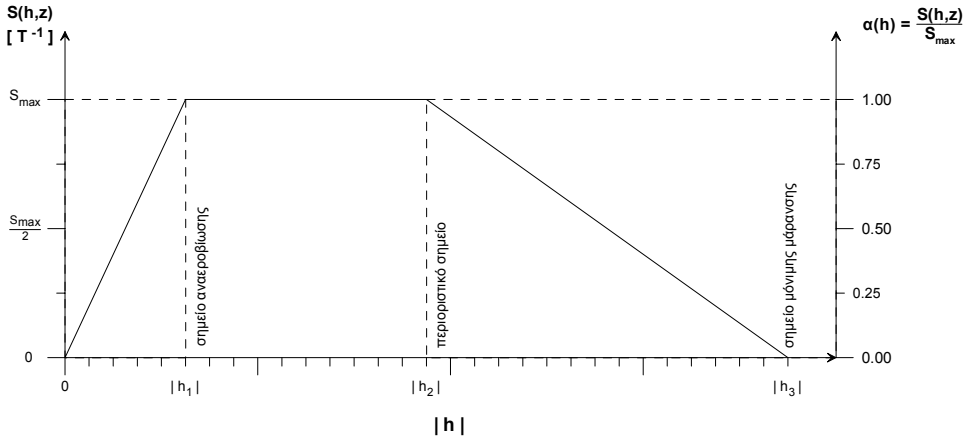
Οι παράμετροι που περιλαμβάνονται στην εξίσωση (6) είναι οι εξής:

S_i : πρόσληψη του νερού από τις ρίζες του φυτού στη στρώση i, $[T^{-1}]$

α_i : η αδιάστατη μεταβλητή του όρου πρόσληψης

F_i : το κλάσμα της πυκνότητας ριζικού συστήματος στη στρώση i, αδιάστατο
λ : μια παράμετρος προσαρμογής, αδιάστατο
T_p : δυναμική διαπνοή, $[LT^{-1}]$
Δz_i : το πάχος της στρώσης i, [L]

Η αδιάστατη μεταβλητή του όρου πρόσληψης α, μεταβάλλεται όπως στο Σχήμα 3:



Σχήμα 3: Η αδιάστατη μεταβλητή του όρου πρόσληψης α, σα συνάρτηση του ύψους πίεσης h.

Το κλάσμα της πυκνότητας του ριζικού συστήματος στη στρώση i, δίνεται από τη σχέση:

$$F_i = \frac{\ln\left[\left(1+e^{-bz_i}\right)/\left(1+e^{-bz_{i+1}}\right)\right] + \frac{1}{2}\left[e^{-bz_i} - e^{-bz_{i+1}}\right]}{\ln\left[2/\left(1+e^{-bz_r}\right)\right] + \frac{1}{2}\left[1-e^{-bz_r}\right]} \quad (7)$$

όπου: b : εμπειρική παράμετρος κατανομής ριζών $[L^{-1}]$
z_i : βάθος στο άνω όριο της κάθε στρώσης [L]
z_{i+1} : βάθος στο κάτω όριο της κάθε στρώσης [L]
z_r : το βάθος του ριζοστρώματος τη συγκεκριμένη ημέρα [L]

Η εμπειρική παράμετρος κατανομής ριζών b, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$b = \frac{24.66\ F_{10}^{1.59}}{z_r} \quad (8)$$

όπου: F_{10} : το κλάσμα της πυκνότητας ριζικού συστήματος στο ανώτερο 10% του εδάφους
z_r : το βάθος του ριζοστρώματος τη συγκεκριμένη ημέρα

Με την εφαρμογή του εκθετικού αυτού μοντέλου, η πρόσληψη νερού από βαθύτερες εδαφικές στρώσεις όταν οι επιφανειακές είναι ξηρότερες, βρέθηκε (Li et al., 2001) να βελτιώνει την ακρίβεια προσομοίωσης του υγρασιακού περιεχομένου του εδάφους, ειδικότερα για τις στρώσεις με βάθος > 60cm.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι τόσο η διερεύνηση της ακρίβειας του μοντέλου των Li et al. (2001) στην περιγραφή της κίνησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους, όσο και η σύγκρισή του με άλλα ευρέως χρησιμοποιούμενα, καλώς

τεκμηριωμένα μοντέλα όπως αυτά των Feddes (1978) και Prasad (1988). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SWBACROS (Babajimopoulos, 1995) στο οποίο ενσωματώθηκε το εκθετικό μοντέλο μαζί με τα μοντέλα των Feddes et al. και Prasad.

3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η σύγκριση των μοντέλων έγινε με δεδομένα που συλλέχθηκαν στα πλαίσια ερευνητικού έργου που χρηματοδοτήθηκε από τη ΓΓΕΤ και εκπονήθηκε από το Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων και το Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων σε αγρό καλλιεργούμενο με βαμβάκι (Μπαμπατζιμόπουλος, 1995 ; Babajimopoulos et al., 1996). Το έδαφος του αγρού στον οποίο έγινε η μελέτη αποτελείται από τρεις (3) στρώσεις: μια αργιλοπηλώδους σύστασης που εκτείνεται από 0-60cm, μια πηλώδους σύστασης μεταξύ 60-100cm και μια αμμοπηλώδους σύστασης από το βάθος των 100cm ως αυτό των 140cm.

Πίνακας 1: Μηχανική σύσταση και τιμές των υδραυλικών παραμέτρων των τριών στρώσεων του εδάφους του αγρού της εφαρμογής

Βάθος (cm)	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Άργιλος (%)	θ_s	θ_r	K_s (m/day)	α	n
0-60	24.7	39.0	36.3	0.434	0.049	0.2855	0.01155	1.1353
60-100	35.7	40.0	24.3	0.426	0.038	0.4230	0.01299	1.1926
100-140	59.7	28.4	11.8	0.421	0.025	0.5045	0.02972	1.2497

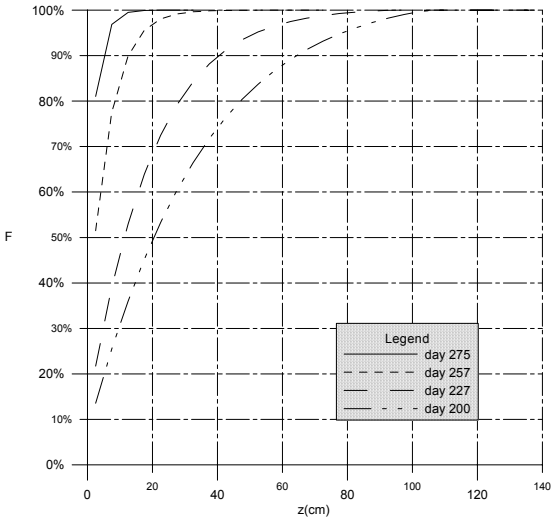
Η καταγραφή της εδαφικής υγρασίας γινόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, σε διάφορα βάθη. Από τις μετρήσεις αυτές, λαμβανόταν η μέση τιμή για κάθε στρώση. Οι τιμές του ύψους πίεσης h_1, h_2 και h_3 του Σχήματος 3 ελήφθησαν ίσες με -1m, -6m και -150m αντίστοιχα. Για περισσότερες λεπτομέρειες πάνω στις τεχνικές μέτρησης των διαφόρων παραμέτρων, τα μετεωρολογικά και εδαφολογικά δεδομένα και τις καλλιεργητικές φροντίδες ο αναγνώστης παραπέμπεται στις παραπάνω αναφερόμενες εργασίες. Κατά την προσομοίωση λήφθηκε υπόψη ένα ποσοστό υδατοσυγκράτησης 10% και αποδοτικότητα άρδευσης με καταιονισμό 90%. Η μεταβολή της πυκνότητας του ριζικού συστήματος στο ανώτερο 10% του εδάφους με το χρόνο, προέκυψε από τον Σταυρίδη (1976) ο οποίος μελέτησε την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος ζαχαρότευτλων, αραβοσίτου και βαμβακιού σε ποικιλία εδαφών της πεδιάδας Θεσ/νίκης. Η μεταβολή της πυκνότητας, βρέθηκε ότι μπορεί να περιγραφεί από τη σχέση:

$$F_{10}(t) = \begin{cases} 1 & 133 \le t \le 165 \\ 1.4318601 - 0.00001578185\ t^2 & 165 < t < 268 \\ 0.2956 & 268 \le t \end{cases}$$

όπου t ο χρόνος εκφρασμένος σε ημέρες μετά την 1η Ιανουαρίου 1994. Η περίοδος της προσομοίωσης αφορούσε το χρονικό διάστημα από την 13η Μαΐου 1994 (ημέρα 133) ως την 6η Οκτωβρίου 1994 (ημέρα 279)

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η μεταβολή της πυκνότητας του ριζικού συστήματος με το βάθος, όπως αυτή περιγράφεται από τη σχέση (7) παρουσιάζεται για τέσσερις ενδεικτικές ημέρες, στο Σχήμα 4:

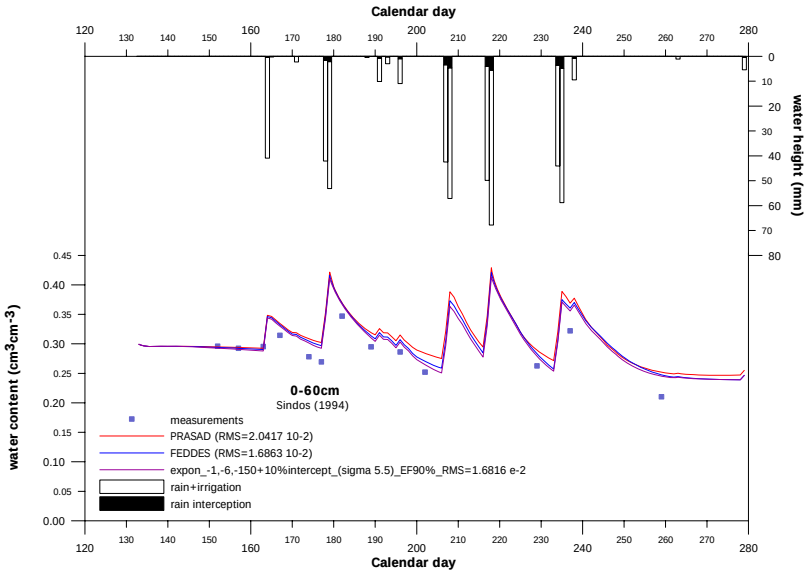


Σχήμα 4: Μεταβολή της αθροιστικής πυκνότητας του ριζικού συστήματος με το βάθος, σύμφωνα με τους Li et al. (2001)

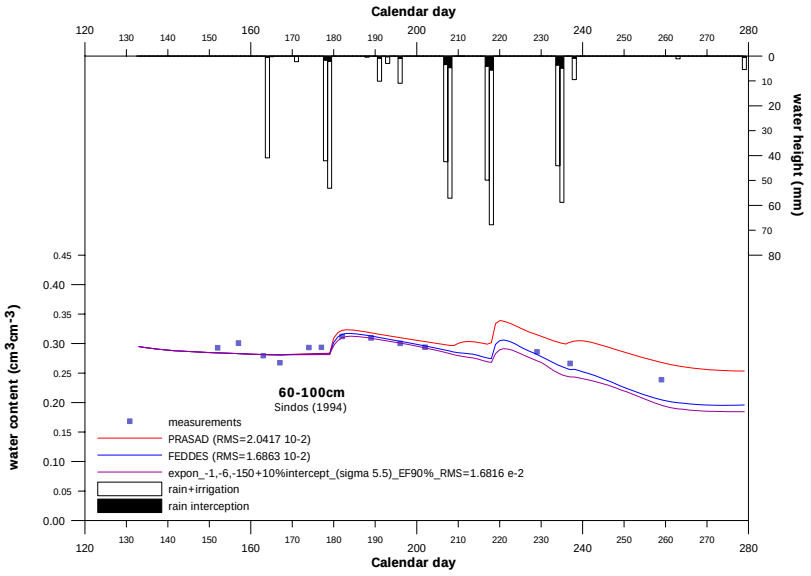
Στα Σχήματα 5(α), 5(β) και 5(γ): παρουσιάζονται οι προβλεπόμενες τιμές της εδαφικής υγρασίας στις τρεις εδαφικές στρώσεις του εδάφους, χρησιμοποιώντας τις τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για την πρόσληψη του νερού από τα ριζικό σύστημα του φυτού. Η σύγκριση μεταξύ των τριών μοντέλων, έγινε χρησιμοποιώντας το τυπικό σφάλμα:

$$RMS = 100\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\frac{\left(P_i - O_i\right)^2}{n}}$$

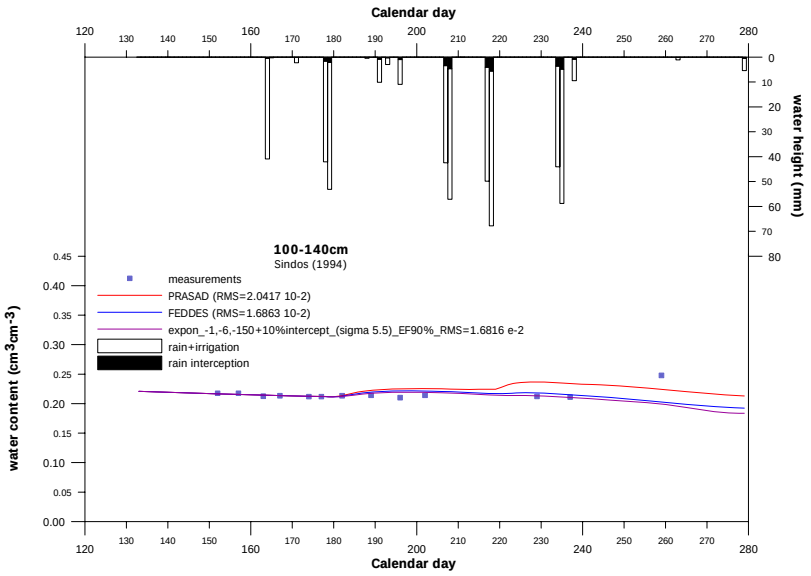
όπου: P_i: οι προσομοιωμένες τιμές υγρασίας
O_i: οι μετρημένες τιμές υγρασίας
n: το πλήθος των μετρημένων τιμών



5(α)



5(β)



5(γ)

Σχήμα 5: Προσομοίωση της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας με το χρόνο.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι τιμές του RMS για τις τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις. Όπως προκύπτει από τον πίνακα αυτό, το εκθετικό μοντέλο, παρά την πολυπλοκότητά του δεν προσφέρει ουσιαστική βελτίωση στις προβλεπόμενες τιμές της εδαφικής υγρασίας σε σχέση με το μοντέλο του Feddes. Ωστόσο τα δυο αυτά μοντέλα σαφώς υπερτερούν από το μοντέλο του Prasad (βελτίωση περίπου 17%).

Πίνακας 2: Τιμές τυπικού σφάλματος για τα μοντέλα Feddes et al. (1978), Prasad (1988) και το εκθετικό (Li et al., 2001)

Feddes	Prasad	Εκθετικό
$1.686\ 10^{-2}$	$2.042\ 10^{-2}$	$1.682\ 10^{-2}$

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε το εκθετικό μοντέλο των Li et al. (2001) και συγκρίθηκε με αυτά των Feddes et al. (1978) και Prasad (1988). Από τις συγκρίσεις των μοντέλων με τα συγκεκριμένα πειραματικά δεδομένα που είχαμε στη διάθεσή μας, προέκυψε ότι και τα τρία μοντέλα περιγράφουν πολύ ικανοποιητικά το υδατικό ισοζύγιο του εδάφους. Από αυτά, το εκθετικό μοντέλο φαίνεται πως δεν αποτελεί ουσιαστική βελτίωση έναντι αυτού του Feddes αλλά υπερέχει σαφέστερα (≈ 17%) του μοντέλου του Prasad.

Η επιλογή ενός μοντέλου πρόσληψης επαφίεται στον ερευνητή γεωπόνο, ο οποίος πρέπει να βρει τη χρυσή τομή μεταξύ του κόστους πειραματισμού και της επιθυμητής ακρίβειας. Έτσι όσον αφορά το εκθετικό μοντέλο, αυτό συνυπολογίζει την περιγραφή της κατανομής των ριζών του φυτού στο ριζόστρωμα. Όμως για τη βελτιωμένη αυτή περιγραφή, απαιτούνται εξειδικευμένα πειραματικά δεδομένα, η απόκτηση των οποίων μπορεί να επέλθει μέσα από κοπιαστική και υψηλού κόστους εργασία πεδίου. Στον αντίποδα, το μοντέλο των Feddes et al. (1978) συνδυάζει την πολύ καλή ακρίβεια, με τη χρήση δεδομένων που μπορούν να αποκτηθούν εύκολα. Το συμπέρασμα αυτό, είναι σε συμφωνία με αποτελέσματα άλλων μελετών πάνω στις σχέσεις πρόσληψης του νερού (Γούκος και Μπαμπατζιμόπουλος, 2000) όπου συγκρίθηκαν το μοντέλο του Feddes με πληθώρα άλλων μοντέλων.

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι η αξιολόγηση του εκθετικού μοντέλου πρέπει να συνεχιστεί, με εφαρμογές σε άλλα είδη καλλιεργειών και σε άλλους τύπους εδαφών, καθώς με τα συγκεκριμένα πειραματικά δεδομένα δε φαίνεται να συμβαδίζει το ορθό θεωρητικό του υπόβαθρο με την απόδοσή του στην περιγραφή του υδατικού ισοζυγίου ενός καλλιεργούμενου εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνόπουλος, Β., 1999. *Υδρολογία της ακόρεστης ζώνης του εδάφους*. Α.Π.Θ. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.
2. Arya, L.M., Blake, G.R., and Farell, D.A., 1975α. A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots: II. Effect of plant growth on soil water pressure and water loss patterns, *Soil Sci. Soc. Am. Proc*. 39, 430-436.
3. Arya, L.M., Blake, G.R., and Farell, D.A., 1975β. A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots: III. Rooting characteristics and root extraction of soil water, *Soil Sci. Soc. Am. Proc*. 39, 437-444.
4. Babajimopoulos, C., A. Budina and D. Kalfountzos, 1995. S.W.BA.CRO.S: A model for the estimation of the water balance of a cropped soil, *Environmental Software*, Vol. 10 (3): 211–220.

5. Babajimopoulos, C., A. Panoras, I. Mavroudis and G. Bilas, 1996. The computation of the water balance and the modeling of the irrigation schedule of a cotton crop with the model S.W.BA.CRO.S., *In: Blain W.R. (ed) Hydraulic engineering software VI. Proc. Of the 6th Intern. Conf. On hydraulic engineering software (HYDROSOFT 96), 10-12 Sept. Penang, Malaysia.*
6. Γούκος, Δ. και Μπαμπατζιμόπουλος Χ., 1999. Διερεύνηση των σχέσεων πρόσληψης του νερού από το ριζικό σύστημα με μοντέλα υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου καλλιεργούμενων εδαφών, *Πρακτικά 8ου Συνεδ., Ε.Υ.Ε.,* σελ. 459-467.
7. Dwyer, L.M., Stewart, D.W. and Balchin, D., 1988. Rooting characteristics of corn, soybeans and barley as a function of available water and soil characteristics, *Can. J. Soil Sci.*, 68: 121-132.
8. Feddes, R.A., Bresler, E. and Neuman, S.P., 1974. Filed test of a modified numerical model for water uptake by root systems, *Water Resour. Res*., 10: 1199-1206.
9. Feddes, R.A., Kowalik, P.J. and Zaradny, H., 1978. *Simulation of field water use and crop yield.*, PUDOC, Wageningen.
10. Gerwitz, A. and Page, E.R., 1974. An empirical mathematical model to describe plant root systems, *J. Appl. Ecol.*, 11: 773-780.
11. Hoogland, J.C. and Belmans C., 1981. Root water uptake model depending on soil water pressure head and maximum extraction rate, *Acta Horticulture*, 119: 123-136.
12. Lai, C. – T., Katul, G., 2000. The dynamic role of root-water uptake in coupling potential to actual transpiration, *Adv. Water Resour.* 23, 427-439.
13. Li, K. Y., Boisvert, J.B. and De Jong, R., 1999. An exponential root-water-uptake model, *Can. J. Soil Sci.*, 79: 333-343.
14. Li, K. Y., De Jong, R., and Boisvert, J.B. 2001. An exponential root-water-uptake model with water stress compensation, *J. of Hydrololgy.*, 252: 189-204.
15. Μπαμπατζιμόπουλος, Χ. (επιστημονικά υπεύθυνος), 1995. Τελική έκθεση του ερευνητικού προγράμματος: «Προγραμματισμός των αρδεύσεων με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων». Γ.Γ.Ε.Τ., Θεσσαλονίκη.
16. Nnyamah, J.U., Black, T.A., 1977. Rates and patterns of water uptake in a Douglas-fir forest. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 41, 929-979.
17. Novak, V., 1987. Estimation of soil-water extraction patterns by roots, *Agric. Water Mgmt*, 12(3),pp 271-278.
18. Prasad, R., 1988. A linear root water uptake model, *J. of Hydrology*, 99: 297-306.
19. Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous medium. *Physics*, 1: 318-333.
20. Σταυρίδης, Κ. 1976. Έκθεσις περατωθείσης ερευνητικής εργασίας υποπρογράμματος: Προσδιορισμός βάθους ριζικού συστήματος αρδευομένων καλλιεργειών ετών 1972-1975. *Σταθμός Εγγείων Βελτιώσεων, Σίνδος Θεσ/νίκης.*

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Κερκίδης Π., Ι. Αργυροκαστρίτης, W. O. Ochola

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής,
Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.
Ιερά Οδός 75, Αθήνα 118 55
e-mail: lhyd2kep@aua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία δεχόμαστε ότι το φυτοφάρμακο, μπορεί να υπάρχει και στις τρεις φάσεις του εδαφικού συστήματος. Η αναλογία με την οποία το φυτοφάρμακο διαχωρίζεται στις τρεις φάσεις εξαρτάται τόσο από τις χημικές ιδιότητές του όσο και από χαρακτηριστικά του εδάφους. Θεωρώντας συνθήκες κατατομής υγρασίας σταθερής κατάστασης στο έδαφος, εξετάζονται υπό ορισμένες παραδοχές και προϋποθέσεις η πυκνότητα ροής και η συγκέντρωση του φυτοφαρμάκου στο έδαφος, καθώς και το ενδεχόμενο διαφυγής του προς την ατμόσφαιρα υπό μορφήν ατμών. Η δυνατότητα αποικοδόμησης του φυτοφαρμάκου ενσωματώνεται στο μοντέλο διασποράς με κινητική αντίδραση πρώτης τάξης.
Λέξεις κλειδιά: Φυτοφάρμακα, συγκέντρωση, πυκνότητα ροής, πτητικότητα, αποικοδόμηση.

BEHAVIOR OF AGROCHEMICHALS AFTER THEIR INCORPORATION INTO THE SOIL

P. Kerkides, I. Argyrokastritis, W. O. Ochola

Agricultural University of Athens
Dept. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering
Sect. of Water Resources Management
75, Iera Odos, 118 55 Athens
e-mail: lhyd2kep@aua.gr

ABSTRACT

The agrochemical is assumed to partition into all three phases of the soil system, depending on its own characteristics as well as on the characteristics of the soil. For steady state flow regime, surface volatilization flux and the profile concentration are calculated. Possible degradation of the agrochemical is incorporated into the model by an exponentially decaying process with a constant rate.
Key-words: Agrochemicals, concentration, flux density, volatilization, degradation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραγωγή και προώθηση στην αγροτική αγορά φυτοφαρμάκων για διάφορες χρήσεις είναι διαρκώς αυξανόμενη (Chapman and Kimstach, 1996). Η οικολογική συνείδηση, που μέχρι πρότινος βρισκόταν σε χαμηλό βαθμό εγρήγορσης, έχει αρχίσει τελευταία να αφυπνίζεται για ευνόητους λόγους. Αναδεικνύεται, ως εκ τούτου το πρόβλημα της «κατάλληλης» επιλογής φυτοφαρμάκων που αφ' ενός μεν οφείλουν να είναι αποτελεσματικά στην εξειδικευμένη αποστολή τους και αφ' ετέρου να επιβαρύνουν, όσο γίνεται λιγότερο το περιβάλλον. Η επινόηση «ιδεατών» πειραμάτων με τη χρήση αριθμητικών προτύπων αποτελεί μιά πρώτη, απλή και γρήγορη λύση με την οποία εύκολα μπορεί κανείς να διαγνώσει τη σημασία των αλληλοεμπλεκομένων παραγόντων εδάφους, συνθηκών ροής, περιβάλλοντος και χαρακτηριστικών φυτοφαρμάκων στην όλη συμπεριφορά των ουσιών αυτών (Αγγελάκης, 1987; Αντωνόπουλος, 2000, 2001; Antonopoulos and Papazafiriou, 1990a, 1990b; Moutsopoulos et al., 2001). Η παραπέρα επιλεκτική εκτέλεση πειραμάτων αγρού θα είναι λιγότερης έκτασης και θα έχει στόχο την επικύρωση των προβλέψεων των θεωρητικών σχημάτων και παραδοχών, που αναπόφευκτα γίνονται για την επίτευξη λύσεων.

Τα χημικά παρασκευάσματα παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά ανάλογα με το έδαφος, τον τρόπο μηχανικής επεξεργασίας του, την παρουσία οργανικής ουσίας σ΄αυτό, αλλά είναι δυνατόν να επηρεάζονται σημαντικά και από το καθεστώς της κίνησης του νερού και την παρουσία μακροπόρων και προτιμητέων διαδρομών ροής (White R.E., 1985). Με τη μεταφορά των φυτοφαρμάκων, όπως π.χ. atrazine, metolaclor, bromide, metribuzin, alachlor κ.ά. έχουν ασχοληθεί πολλοί ερευνητές, όπως π.χ. οι Azevedo et al. (1996), Heatwole et al. (1997), Clay et al. (1998), Carmichael et al. (1999), Gaynor et al. (2000) κ. ά., ενώ οι Van den Berg et al. (1999) μελέτησαν τη συμπεριφορά καπνογόνων απολυμαντικών εδάφους με το μοντέλο PESTLA (Pesticide Leaching and Accumulation). Γενικά το θέμα της ορθολογικής –(οικολογικής) χρήσης των αγροχημικών εξακολουθεί να μελετάται από τους επιστήμονες κάτω από διάφορες οπτικές γωνίες.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται απλουστευμένα μοντέλα διασποράς χημικών ουσιών στο έδαφος, όπου η ουσία είναι δυνατόν να συνυπάρχει και στις τρείς φάσεις του εδαφικού συστήματος και συγχρόνως να αποικοδομείται με σταθερό ρυθμό. Έτσι, με την εφαρμογή των μοντέλων αυτών διερευνάται η συμπεριφορά ορισμένων χημικών παρασκευασμάτων με συγκεκριμένες ιδιότητες στο εδαφικό περιβάλλον που ορίζουν οι βοηθητικές συνθήκες της αναλυτικής λύσης.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η γενική διαφορική εξίσωση που διέπει την κίνηση ενός φυτοφαρμάκου, με αποικοδόμηση στο έδαφος, είναι:

$$\frac{\partial C_T}{\partial t} + \frac{\partial J_s}{\partial z} + \mu C_T = 0 \qquad (1)$$

Οπου C_T =η ολική συγκέντρωση ενός φυτοφαρμάκου στο έδαφος (μάζα φυτοφαρμάκου ανά μονάδα όγκου εδάφους) , J_s=η συνολική πυκνότητα ροής του φυτοφαρμάκου (διαστάσεις: μάζα/(επιφάνεια·χρόνο)) που αποτελείται από τις συνιστώσες J_g και J_ℓ δηλ. τις πυκνότητες ροής στην αέρια και στην υγρή φάση, μ= σταθερά ρυθμού αποικοδόμησης του φυτοφαρμάκου $\left(T^{-1}\right)$ $\left(M(t) = M(o)\exp[-\mu t]\right)$. Έτσι έχουμε :

$$J_s = J_g + J_\ell = -D_g^s \frac{dC_g}{dz} + \left(-D_\ell^s \frac{dC_\ell}{dz} + J_w C_\ell\right) \qquad (2)$$

όπου D_g^s=ο συντελεστής διάχυσης της αέριας φάσης του φυτοφαρμάκου στον εδαφικό αέρα και D_ℓ^s = ο συντελεστής διάχυσης της υγρής φάσης του φυτοφαρμάκου στο εδαφικό διάλυμα., J_w = πυκνότητα ροής του νερού στο έδαφος, όπως εκφράζεται από το νόμο του Darcy, C_ℓ = συγκέντρωση της ουσίας στην υγρή φάση του εδάφους $\left(M/L^3\right)$, C_g = συγκέντρωση της ουσίας στην αέρια φάση του εδάφους $\left(M/L^3\right)$.

Οι συντελεστές διάχυσης D_g^s και D_ℓ^s διαφέρουν από τους αντίστοιχους συντελεστές διάχυσης D_g^{air} και D_ℓ^w (D_g^{air} = συντελεστής διάχυσης της αέριας φάσης του φυτοφαρμάκου στον ατμοσφαιρικό αέρα και D_ℓ^w = συντελεστής διάχυσης της υγρής φάσης του φυτοφαρμάκου στο νερό). Η διαφοροποίηση αυτή, γίνεται σύμφωνα με τη σχέση των Millington and Quirk (1961) με ένα πολλαπλασιαστικό παράγοντα μαιανδρισμού και έτσι έχουμε τις σχέσεις :

$$D_g^s = \frac{f_a^{10/3}}{f_{o\lambda}^2} D_g^{air} \qquad (3)$$

$$D_l^s = \frac{\Theta^{10/3}}{f_{o\lambda}^2} D_l^w \qquad (4)$$

όπου f_α = κατ' όγκον ποσοστό του αέρα στο έδαφος $\left(L^3/L^3\right)$, $f_{o\lambda}$ =το ολικό πορώδες του εδάφους, δηλαδή το κατ' όγκο ποσοστό όλων των πόρων (είτε είναι γεμάτοι με νερό ή αέρα ή και τα δυο μαζί) στο έδαφος, Θ = η υγρασία του εδάφους κατ' όγκον $\left(L^3/L^3\right)$.

Στην εξίσωση (2), η συμβολή της υδροδυναμικής διασποράς που εκφράζει την επίδραση της παραλλακτικότητας των πραγματικών ταχυτήτων ροής στη διασπορά της διαλυμένης ουσίας, στην υγρή φάση, παραλείπεται ως αμελητέα. Αυτό περιορίζει το μοντέλο για πολύ μικρές μέσες ταχύτητες ροής και σε σχετικά ομοιογενή πορώδη μέσα.

Οι εξ. (1) και (2), λαμβάνοντας υπόψη τις (3) και (4), γράφονται:

$$J_s = -D_e \frac{dC_T}{dz} + V_e C_T \qquad (5)$$

και $$\frac{dC_T}{dt} = D_e \frac{d^2 C_T}{dz^2} - V_e \frac{dC_T}{dz} - \mu C_T \qquad (6)$$

Ο συντελεστής διάχυσης D_e είναι ένας φαινομενικός συντελεστής διάχυσης και δίνεται από την σχέση :

$$D_e = \frac{1}{f_{o\lambda}^2}\left\{\frac{\Theta^{10/3} D_l^w}{R_\ell} + \frac{f_a^{10/3} D_g^{air}}{R_g}\right\} \qquad (7)$$

και η ταχύτητα V_e είναι μια φαινομενική ταχύτητα μετάθεσης του φυτοφαρμάκου στην υγρή φάση και δίνεται από την σχέση :

$$V_e = \frac{J_w}{R_\ell} \qquad (8)$$

Η λύση της εξ. (6) προκύπτει για τις εξής συνθήκες:

i. Αρχική συνθήκη : $t = 0$, $C_T(z,0) = C_0$, $0 < z < L$ (9)

$$C_T(z,0) = 0, \; z > L$$

όπου C_0 = η αρχική συγκέντρωση του φυτοφαρμάκου, L= το βάθος της ανώτερης εδαφικής στρώσης όπου εφαρμόζεται ομοιόμορφα το φυτοφάρμακο.

ii. Οριακές συνθήκες: Προκειμένου για την διαφυγή της αέριας φάσης του φυτοφαρμάκου προς την ατμόσφαιρα, έχουμε:

$$z = 0, \; J_s(0,t) = -D_g^{air}\left(\frac{dC_g}{dz}\right)_0 \qquad \text{ή}$$

$$J_s(0,t) = -D_g^{air}\left[\frac{C_g(d,t) - C_g(0,t)}{d}\right] = \frac{D_g^{air}}{d} C_g(0,t) = \frac{D_g^{air}}{dR_g} C_T(0,t) = h_e C_T(0,t) \qquad (10)$$

όπου d = το πάχος της οριακής στρώσης της ατμόσφαιρας πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και $h_e = D_g^{air} \big/ dR_g$

Για την επιφάνεια του εδάφους έχουμε:

$$z = 0, \quad -D_e \frac{dC_T}{dz} + V_e C_T = \frac{D_g^{air}}{dR_g} C_T \qquad (11)$$

ενώ η κάτω οριακή συνθήκη είναι :

$$z \longrightarrow \infty, \; C_{T(\infty,t)} = 0 \qquad (12)$$

Με αυτές τις συνθήκες (εξ. (9), (11) και (12)) η λύση της (6) είναι:

$$C_{T(z,t)} = \frac{1}{2} C_0 \exp(-\mu t)\left[\left\{\operatorname{erfc}\left(\frac{z - L - V_e t}{2\sqrt{D_e t}}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{z - V_e t}{2\sqrt{D_e t}}\right)\right\} +\right.$$

$$+\left(\left(1+\frac{V_e}{h_e}\right)\exp\left(\frac{V_e z}{D_e}\right)\right)*\left\{\operatorname{erfc}\left(\frac{z+L+V_e t}{2\sqrt{D_e t}}\right)-\operatorname{erfc}\left(\frac{z+V_e t}{2\sqrt{D_e t}}\right)\right\}+$$

$$+\left(2+\frac{V_e}{h_e}\right)*\exp\left(\frac{h_e(h_e+V_e)t+(h_e+V_e)z}{D_e}\right)*$$

$$*\left(\operatorname{erfc}\left(\frac{z+(2h_e+V_e)t}{2\sqrt{D_e t}}\right)-\exp\left(\frac{h_e L}{D_e}\right)\operatorname{erfc}\left(\frac{z+L+(2h_e+V_e)t}{2\sqrt{D_e t}}\right)\right)\Bigg] \quad (13)$$

(Jury et al., 1983) και η πυκνότητα ροής της αέριας φάσης στην εδαφική επιφάνεια $J_s(0,t)$ θα δίνεται από τη σχέση:

$$J_s(0,t)=\frac{1}{2}C_0\exp(-\mu t)\Bigg[V_e\left\{\operatorname{erfc}\left(\frac{V_e t}{2\sqrt{D_e t}}\right)-\operatorname{erfc}\left(\frac{L+V_e t}{2\sqrt{D_e t}}\right)\right\}+$$

$$+(2h_e+V_e)\exp\left(\frac{h_e(h_e+V_e)t}{D_e}\right)*$$

$$*\left\{\exp\left(\frac{h_e L}{D_e}\right)\operatorname{erfc}\left(\frac{L+(2h_e+V_e)t}{2\sqrt{D_e t}}\right)-\operatorname{erfc}\left(\frac{(2h_e+V_e)t}{2\sqrt{D_e t}}\right)\right\}\Bigg] \quad (14)$$

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί προηγουμένως, μελετήθηκε η συμπεριφορά 4 φυτοφαρμάκων από τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα στη γεωργία. Ο πίνακας 1, δίνει τα χαρακτηριστικά του εδάφους και του καθεστώτος ροής καθώς και τις τιμές των συντελεστών διάχυσης της υγρής και της αέριας φάσης των φυτοφαρμάκων στο νερό και στον ατμοσφαιρικό αέρα αντίστοιχα. Ο πίνακας 2 (τα στοιχεία του οποίου έχουν ληφθεί από διάφορες πηγές,π.χ Jury et al.,1984, κ.ά) δίνει τα επί μέρους χαρακτηριστικά των υπό μελέτη φυτοφαρμάκων που αναφέρονται στη διαλυτότητα και το ρυθμό αποικοδόμησής τους, στη δυνατότητα και στο ποσοστό ατμοποίησής τους και τους συντελεστές κατανομής τους στον οργανικό άνθρακα του εδάφους.

Με τα παραπάνω δεδομένα εφαρμόστηκαν οι εξισώσεις (13) και (14) με τις οποίες προσδιορίστηκαν οι κατατομές των συγκεντρώσεων των υπό μελέτη φυτοφαρμάκων στο έδαφος για διάφορους χρόνους μετά την εφαρμογή τους στην ανώτερη εδαφική στρώση (πάχους 10 cm) καθώς και οι επιφανειακές πυκνότητες ροής των ατμών των εν λόγω φυτοφαρμάκων. Τόσο οι συγκεντρώσεις όσο και οι επιφανειακές πυκνότητες ροής των ατμών, προσδιορίστηκαν για διαφορετικά καθεστώτα κίνησης του νερού στο έδαφος.

Πίνακας 1. Τιμές ιδιοτήτων που είναι κοινές σε όλους τους υπολογισμούς.

Ιδιότητα	**Τιμή (μονάδες)**
Συντελεστής διάχυσης της αέριας φάσης στον ατμ. αέρα, D_g^{air}	0,43 (m^2/day)
Συντελεστής διάχυσης υγρής φάσης του φ/κ στο νερό D_ℓ^w	4,3 x 10^{-3} (m^2/day)
Ολικό πορώδες του εδάφους, $f_{ολ}$	0,5 (m^3/ m^3)
Φαινομενική πυκνότητα στερεών συστατικών εδάφους, ρ_φ	1350 (kg/m^3)
Κατ'όγκον ποσοστό της οργανικής ουσίας στα στερεά συστατικά του εδάφους, f_{oc}	0,125 (m^3/ m^3)
Υγρασία του εδάφους κατ' όγκον , Θ	0,30 (m^3/ m^3)
Βάθος τοποθέτησης φυτοφαρμάκου , L	10 cm
Ρυθμός έκπλυσης	5 x 10^{-3} (m/day)
Ποσότητα εφαρμοζόμενου φυτοφαρμάκου	0,1 (g/m^2) ή (1kg/ha)

Πίνακας 2: Τιμές ιδιοτήτων φυτοφαρμάκων

Ιδιότητα	**Bromacil**	**Atrazine**	**Lindane**	**2,4-D**
Πυκνότητα κορεσμένων ατμών, (g/m^3)	3 x 10^{-6}	5 x 10^{-6}	1 x 10^{-3}	5 x 10^{-6}
Διαλυτότητα στο νερό (g/m^3)	820	33	7,5	900
Συντελεστής κατανομής φυτοφαρμάκου στην οργανική ουσία K_{oc} (m^3/kg)	0,072	0,03	1,3	1,3
Σταθερά ρυθμού αποικοδόμησης, μ (day^{-1})	1,98 x 10^{-3}	1,16 x 10^{-2}	2,67 x 10^{-3}	4,62 x 10^{-2}
Συντελεστής Henry, K_H (αδιάστατος)	3,7 x 10^{-9}	9,1 x 10^{-11}	1,33 x 10^{-4}	5,5 x 10^{-9}
Ημιπερίοδος ζωής (days)	350	60	260	30

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα σχήματα 1 και 2 παρουσιάζονται οι επιφανειακές πυκνότητες ροής και οι κατατομές στων συγκεντρώσεων των φυτοφαρμάκων που μελετήθηκαν

Η πυκνότητα ροής των ατμών του Lindane είναι ιδιαίτερα μεγάλη συγκριτικά με των άλλων ζιζανιοκτόνων. Αυτό ασφαλώς αποδίδεται στη μεγαλύτερη πτητικότητά του (K_H= 1.33 x 10^{-4})

Σε όλες τις περιπτώσεις η επιφανειακή πυκνότητα ροής των ατμών ενισχύεται από την ανοδική κίνηση του νερού. Είναι φανερό (βλ. σχ.2) ότι η κίνηση του νερού (ανοδική ή καθοδική) επηρεάζει τις κατατομές της σχετικής συγκέντρωσης των υπο μελέτη φυτοφαρμάκων. Φαίνεται επίσης η μείωση στις σχετικές συγκεντρώσεις και η εξάπλωση των παλμών σε μεγαλύτερη έκταση και σε μεγαλύτερα βάθη, καθώς ο χρόνος παρατήρησης μετά την εφαρμογή αυξάνει από 30 σε 50 ημέρες.

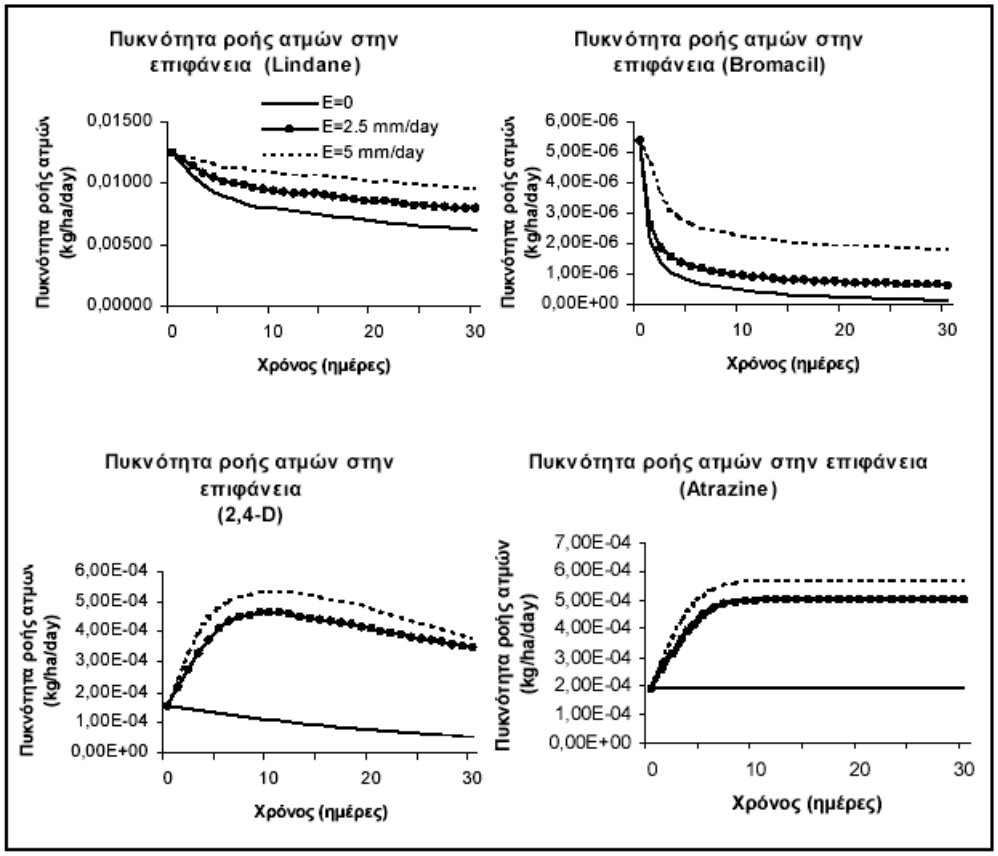
Η σχετική συγκέντρωση του 2,4-D φαίνεται να μειώνεται πιο έντονα αφού η αποικοδόμησή του συντελείται με ένα ρυθμό μ=0,0462 ανά ημέρα. Ακολουθούν κατά σειρά τα Atrazine, Lindane και τελευταίο το Bromacil.

Τα Atrazine, Bromacil και 2,4-D έχουν σχετικά (ασήμαντες) μικρές

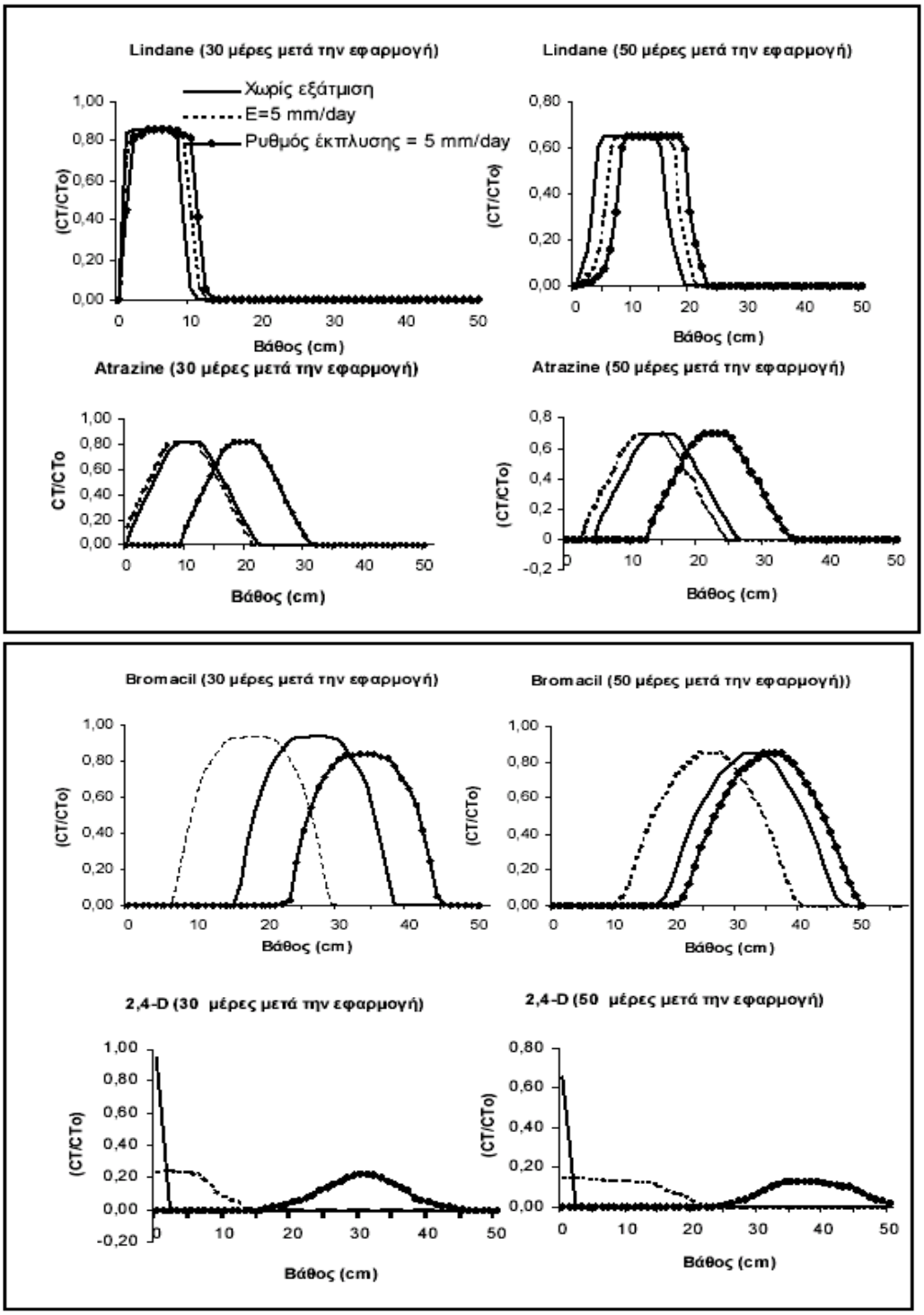
επιφανειακές πυκνότητες ροής όταν δεν υπάρχει ανοδική κίνηση νερού στην εδαφική κατατομή.

Φυτοφάρμακα με χαμηλή τιμή K_H όπως το Bromacil και το Atrazine έχουν συνήθως μικρές τιμές πυκνότητας ατμών με αποτέλεσμα η οριακή στρώση να φαίνεται ότι προβάλλει μεγαλύτερη αντίσταση στη ροή (αφού η κλίση της συγκέντρωσης θα είναι μικρή), απ' ότι το ίδιο το έδαφος.

Αποτέλεσμα των ανωτέρω είναι, όταν το νερό κινείται ανοδικά, να παρατηρείται συσσώρευση του φυτοφαρμάκου στην επιφάνεια με το χρόνο και έτσι η επιφανειακή πυκνότητα ροής των ατμών να αυξάνει με το χρόνο καθώς με το χρόνο μεγαλώνει η τάση των ατμών του φυτοφαρμάκου στην επιφάνεια. Φυτοφάρμακα με μεγάλη τιμή K_H χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες σχετικά τάσεις ατμών και η διαφυγή τους με διάχυση μέσω της οριακής στοιβάδας προς την ατμόσφαιρα, είναι πιο αποτελεσματική κι έτσι δεν παρατηρείται συσσώρευση ατμών στην επιφάνεια με το πέρασμα του χρόνου.



Σχήμα 1. Πυκνότητα ροής διαφυγής ατμών από την επιφάνεια του εδάφουςπρος την ατμόσφαιρα



Σχήμα 2. Κατατομές σχετικής συγκέντρωσης φυτοφαρμάκων, 30 ημέρες και 50 ημέρες, μετά την εφαρμογή στο έδαφος.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελάκης Ν. Α. (1987) Ασταθής κίνηση χημικών ουσιών στο έδαφος με διαφορετικούς συντελεστές διασποράς. *Πρακτικά 3ου συνεδρίου Ε.Υ.Ε. Θεσσαλονίκη*, σ. 699-711.
2. Αντωνόπουλος Β. (2000) Μεθοδολογία εκτίμησης του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων νερών από την εφαρμογή φυτοφαρμάκων εδάφους. *Πρακτικά 2ου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής ΕΓΜΕ, Βόλος,* σ. 606-614.
3. Αντωνόπουλος Β. (2001) *Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών* Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
4. Antonopoulos V. and Z. Papazafiriou (1990a) Solutions of one-dimensional water flow and mass transport equations in variably saturated porous media by the finite element method. *Journal of Hydrology.* 119: 151-167
5. Antonopoulos V. and Z. Papazafiriou (1990b) Simultaneous one-dimensional water flow and mass transport equations of conservative solutes in porous media. *Water Resources Management* 4 (1): 47-62
6. Azevedo A.S., R. S. Kanwar, P. Singh, L.S. Perreira. (1996). Movement of NO_3-N and Atrazine through soil columns as affected by lime application. *Transactions of the ASAE* Vol. 39 (3):937-945.
7. Carmichael Lisa M., T.G. Smith and D.L. Pardieck (1999). Site specific sorption values for mixtures of volatile and semivolatile organic compounds in sandy soils. *Journal of Environmental Quality* Vol. 28: 888-897.
8. Chapman D. and V, Kimstach (1996). *Selection of water quality variables. In D. Chapman (ed.) Water quality assessments (2nd edition).* E & FN SPON, London.
9. Clay S.A., D.E. Clay, W.C. Koskinen, R.K. Berg Jr. (1988) Application method: Impacts on Atrazine and Alachlor movement, weed control and corn yield in three tillage systems. *Soil and Tillage Research*, Vol.48: 215-224.
10. Gaynor J.D., C.S, Tan, H.Y.F.Ng, C.F. Drury, T.W. Welacky and I.J. Van Wesenbeeck (2000). Tillage and controlled drainage-subirrigated management effects on soil persistence of Atrazine, Metolachlor and Metribuzin in corn. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 29: 936-947.
11. Heatwole C.D., S. Zacharias, S. Mostaghimi, T.A. Dillaha (1997). Movement of field-applied atrazine, metolachlor and bromide in a sandy loam soil. *Transactions of the ASAE*, vol. 40 (5): 1267-1276.
12. Jury W.A., W.F. Spencer, and W.J. Farmer (1983). Behavior Assesssment Model for Trace Organics in Soil: I. Model Description. *Journal of Environmental Quality*, Vol.12 (4): 558-564.
13. Jury W.A., W.F. Spencer, and W.J. Farmer (1984). Behavior Assesssment Model for Trace Organics in Soil: III. Application of Screening Model. *Journal of Environmental Quality*, Vol.13 (4): 573-579
14. Millinghton, R.J., and J.P. Quirk, (1961). Permeability of porous solids. *Trans. Faraday Soc.* 57: 1200-1207.
15. Moutsopoulos K. N., A. Konstantinidis, I. Meladiotis, C. Tzimopoulos, E. Aifantis (2001) Hydraulic Behavior and Contaminant Transport in Multiple Porosity Media. *Transport in Porous Media, Kluwer Academic Publishers,* 42(3): 265-292.
16. Van den Berg F., J. H. Smelt, J.J. T.I. Boesten and W. Teunissen (1999). Volatilization of Methyl Isothiocynate from soil after application of Metam-Sodium with two techniques. *Journal of Environmental Quality* Vol. 28: 918-928.
17. White R.E. (1985). *The influence of macropores on the transport of dissolved and suspended matter through soil. In Advances in Soil Science,* D. Hillel (Ed.) Springer – Verlag, N. York Inc. Vol.3. p.p. 95-120

ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Ιωάννης Γράβαλος
Ηρώων Πολυτεχνείου 198 - 41221 ΛΑΡΙΣΑ
Email: gravalos@in.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένας διακοπτικός ελεγκτής εδαφικής υγρασίας.

Ένας αισθητήρας μέτρησης της κατ' όγκο υγρασίας με τη μέθοδο χρονικής ανακλομέτρησης (TDR), τοποθετημένος εντός του ριζοστρώματος παρακολουθεί κάθε μεταβολή της υγρασίας. Για βαθύριζα φυτά υιοθετήθηκε η λύση της εγκατάστασης δύο ή περισσοτέρων αισθητήρων.

Πυρήνας του συστήματος ελέγχου είναι ο μικροϋπολογιστής ενός ολοκληρωμένου (μικροελεγκτής) 8031 της Intel. Σε κάθε απόκλιση των τιμών μέτρησης από τα επιθυμητά όρια ελάχιστης και μέγιστης εδαφικής υγρασίας, ο ελεγκτής επεμβαίνει στην ηλεκτροβάνα του δικτύου άρδευσης.

Λέξεις κλειδιά: Διακοπτικός ελεγκτής, εδαφική υγρασία, σύστημα άρδευσης.

SOIL MOISTURE SWITCHING CONTROLLER

Ioannis Gravalos
198, Iroon Polytechniou Str. – 41221 Larissa
Email: gravalos@in.gr

ABSTRACT

In this paper, a soil moisture-switching controller has been presented.

A sensor measuring the moisture content by TDR method has been installed in the root zone and it tracks every change of soil moisture. Concerning the deep root plants, the solution of installing two or more sensors, has been decided.

The core of the control system is the 8031 Intel's microcontroller. In every measured value deviation from the requested limits of minimum and maximum soil moisture, the controller regulates on the electrovalve of the irrigation system.

Key words: Switching controller, soil moisture, irrigation system.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση της εδαφικής υγρασίας και η δυνατότητα ελέγχου αυτής, ώστε να επιτευχθούν βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών, οπωσδήποτε δεν είναι καινούργια ιδέα. Ήταν γνωστή και προέτρεψε πολλούς ερευνητές να αναπτύξουν συστήματα αυτόματης άρδευσης.

Οι Waugh και Corey (1963) και ο Painter (1966) περιγράφουν τεχνικές ελέγχου, με τις οποίες τα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν σε συνθήκες θερμοκηπίου με σχεδόν σταθερή εδαφική υγρασία. Ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου επιφανειακής άρδευσης βασιζόμενο στη χρήση τενσιόμετρων (tensiometers), αναπτύχθηκε από τον Fischbach κ.ά. (1970). Η μετατροπή της τάσης εδαφικού νερού (μητρικού δυναμικού) σε ηλεκτρικό σήμα γίνεται εύκολα με την προσαρμογή μετατροπέων τάσης (pressure transducers). Ένας αισθητήρας μητρικού δυναμικού (matric potential sensor), ο οποίος βασίζεται στην αρχή θερμικής διάχυσης σε πορώδες μέσον, αναπτύχθηκε από τον Phene κ.ά (1971) .Παρουσιάζει ευαισθησία σε μεγάλη περιοχή του μητρικού δυναμικού και παράγει στην έξοδό του ηλεκτρικό σήμα, που μπορεί να αξιοποιηθεί στην αυτοματοποίηση των αρδεύσεων. Οι Malicki και Hanks (1989) περιγράφουν έναν αισθητήρα εδαφικής υγρασίας δύο ηλεκτροδίων, ο οποίος βασίζεται στην αρχή της ηλεκτροχημικής πόλωσης (electrochemical polarization). Οι Richardson κ.ά. (1989) και Stenitzer (1993) παρουσιάζουν τα αποτελέσματα δεκαετούς έρευνας από την εφαρμογή γύψινων πλακιδίων (gypsum blocks) στον προγραμματισμό των αρδεύσεων, σε εκτάσεις με ζαχαρότευτλα και καλαμπόκι.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής, είναι το σχέδιο και η πειραματική επαλήθευση ενός διακοπτικού ελεγκτή εδαφικής υγρασίας στη ζώνη ριζοστρώματος των φυτών, εφαρμόζοντας την τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η διάταξη του συστήματος ελέγχου αποτελείται από το πρωτότυπο του διακοπτικού ελεγκτή εδαφικής υγρασίας, που ονομάσαμε IRCO – 09 και τον αισθητήρα VIRRIB.

2.1 Αισθητήρας

Ο αισθητήρας εδαφικής υγρασίας VIRRIB προστατεύεται με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας PV 8200/88. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στη μέτρηση του χρόνου διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος εντός μεταλλικού αγωγού (μικροκυματική γραμμή μεταφοράς), ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος. Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος επηρεάζεται από την διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, κατά συνέπεια μπορεί να προσδιοριστεί η κατ' όγκο περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό (Fexa και Siroky 1983), (Sebela 1989).

Το εύρος των τιμών μέτρησης εδαφικής υγρασίας είναι 0 έως 60% (% του όγκου) με ακρίβεια $\pm$ 1%. Η απόκριση στις μεταβολές της υγρασίας είναι στιγμιαία, γεγονός που τον κάνει να υπερτερεί σε σχέση με άλλους αισθητήρες.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην εικόνα 1, ο αισθητήρας αποτελείται από δύο μεταλλικούς αγωγούς ομόκεντρων κύκλων, οι οποίοι καταλήγουν σε ένα σώμα. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα φυλάσσονται εντός του σώματος, στο οποίο έχει εγχυθεί μονωτικό υλικό, που τα προστατεύει από την υγρασία. Τροφοδοτείται με 12 έως 20V, απευθείας από την συσκευή IRCO–09.

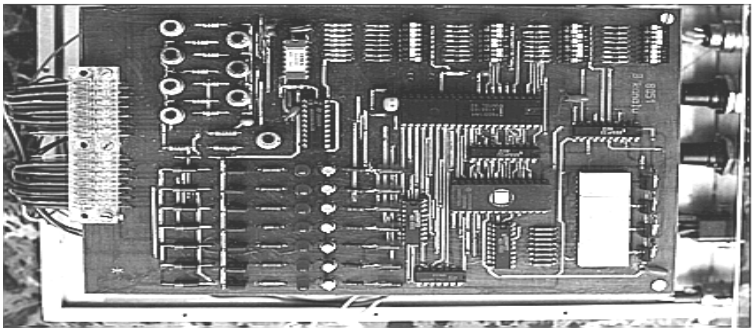
Εικόνα 1: Αισθητήρας παρακολούθησης εδαφικής εργασίας.

Η διακρίβωσή του έχει γίνει από πιστοποιημένο μετεωρολογικό σταθμό του εξωτερικού. Θεωρητικά η διάρκεια ζωής του είναι άπειρη, δεν απαιτεί καμία συντήρηση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε τύπο εδάφους.

2.2 Μικροελεγκτής

Η κεντρική κάρτα του ελεγκτή εδαφικής υγρασίας IRCO-09 παρουσιάζεται στην εικόνα 2. Για να λειτουργήσει σε σύστημα ο μικροϋπολογιστής ενός ολοκληρωμένου 8031 (IC1) της Intel (μικροελεγκτής), θα πρέπει να υποστηριχθεί από δύο ακόμη ολοκληρωμένα κυκλώματα, τον καταχωρητή διευθύνσεων 74LS373 (IC2) και την εξωτερική μνήμη προγράμματος EPROM 2764 (IC3). Η περιοχή διευθύνσεων που μπορεί να προσπελάσει ο μικροελεγκτής έχει εύρος 16 ψηφίων. Ο δίαυλος δεδομένων του μικροελεγκτή πολυπλέκεται με τις L0–byte γραμμές του διαύλου διευθύνσεων και η αποπολύπλεξη γίνεται από τον καταχωρητή διευθύνσεων. Στις εξόδους του καταχωρητή βρίσκονται οι γραμμές διευθύνσεων A0-A7. Οι HI-byte γραμμές του διαύλου διευθύνσεων δίδονται αυτούσιες από τον μικροελεγκτή. Οι γραμμές A8-A13 συνδέονται απευθείας στους αντίστοιχους ακροδέκτες του ολοκληρωμένου της μνήμης. Τα ψηφία A14 και A15 αποκωδικοποιούνται ξεχωριστά και χρησιμεύουν για την επιλογή των ROM και RAM.

Ο μικροελεγκτής έχει ενσωματωμένο έναν ταλαντωτή χρονισμού τύπου Pierce, που υλοποιείται παρεμβάλλοντας ένα κρύσταλλο χαλαζία μεταξύ των ακροδεκτών XTAL1 και XTAL2. Επίσης για την αυτόματη επανατοποθέτηση (Reset), χρησιμοποιήθηκε ένα απλό κύκλωμα RC.



Εικόνα 2 : Κεντρική κάρτα ελεγκτή

2.3 Αναλογικές είσοδοι

Οι οκτώ αναλογικές είσοδοι βρίσκονται η μία δίπλα στην άλλη, στο επάνω αριστερό τμήμα της κάρτας. Επειδή η έξοδος κάθε αισθητήρα είναι υψηλή για να χρησιμοποιηθεί από τη συσκευή IRCO-09, χρειάστηκε να την υποβιβάσουμε ανάλογα, με τη βοήθεια διαιρετών τάσης. Η χρήση αυτής της απλής τεχνικής δε δημιουργεί σφάλμα στη μέτρηση καθώς η αντίσταση των εισόδων του πολυπλέκτη MAC08 (IC8) που ακολουθεί είναι υψηλή. Στη συνέχεια η έξοδος του πολυπλέκτη οδηγείται σε έναν μετατροπέα A/D. Ο ADC 0803 (IC7) είναι γρήγορος με ακρίβεια οκτώ ψηφίων και συνδέεται μέσω διαύλου με τον μικροελεγκτή.

2.4 Διάταξη διακοπτών

Ο χρήστης με τη βοήθεια της διάταξης οκταπλών διακοπτών DIP, μπορεί να καθορίσει τις τρεις παραμέτρους λειτουργίας. Το όριο ελάχιστης εδαφικής υγρασίας, το όριο μέγιστης εδαφικής υγρασίας και τον χρόνο διάρκειας της άρδευσης (μέγιστος χρόνος άρδευσης ορίστηκαν οι 6 ώρες). Στην περίπτωση, που λανθασμένα καθορίσουμε το ελάχιστο όριο μεγαλύτερο από το μέγιστο, τότε αρχίζει να αναβοσβήνει προειδοποιητικά το δεκαδικό σημείο αριστερά της οθόνης. Η σύνδεση της διάταξης με τον μικροελεγκτή υλοποιείται μέσω ενός οκτάμπιτου καταχωρητή 74LS373 (IC5).

2.5 Πολυπλεγμένη οθόνη

Οι παράμετροι λειτουργίας και οι τιμές μέτρησης απεικονίζονται στην οθόνη της συσκευής IRCO – 09. Η πολυπλεγμένη οθόνη αποτελείται από 4 μονάδες HD11310 των 7 τομέων LED, που συνδέονται με τον μικροελεγκτή μέσω ενός οκτάμπιτου καταχωρητή 74LS373 (IC4), ο οποίος χρησιμοποιείται ως αποκωδικοποιητής. Η γραμμή τροφοδοσίας κάθε μονάδας ελέγχεται με ένα τρανζίστορ – διακόπτη τύπου PNP.

2.6 Ενεργοποιητές

Μόλις ολοκληρωθεί η σύγκριση, ο μικροελεγκτής διαβάζει το αποτέλεσμα και το στέλνει σε ένα οκτάμπιτο καταχωρητή 74LS373 (IC6). Ο

συγκεκριμένος λειτουργεί ως καταχωρητής κατάστασης. Οι οκτώ έξοδοι ενισχύονται από μία διάταξη τρανζίστορ πριν ενεργοποιήσουν τους ηλεκτρονόμους (ρελέ) που ελέγχουν τις ηλεκτροβάνες.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

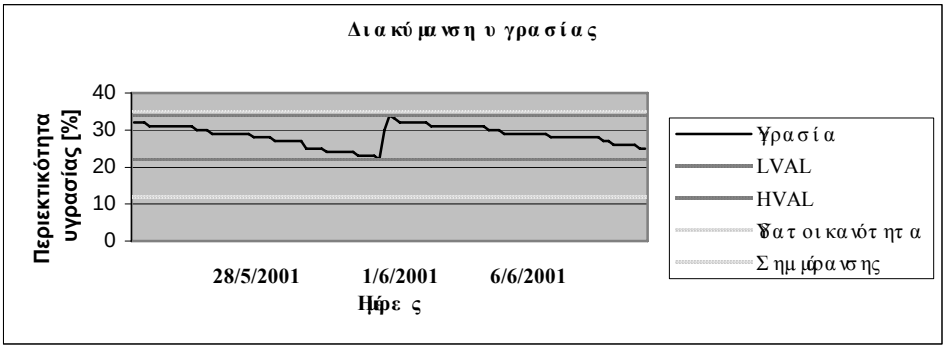
Ο διακοπτικός ελεγκτής εδαφικής υγρασίας επιλέχτηκε να εφαρμοστεί σε συστήματα τοπικής άρδευσης. Προφανώς, αυτή η επιλογή έγινε λόγω των χαρακτηριστικών που διακρίνουν τις τοπικές αρδεύσεις και των δυνατοτήτων που προσφέρουν για πλήρη αυτόματη λειτουργία. Για να παρακολουθήσουμε την εδαφική υγρασία σε συνθήκες εργαστηρίου χρησιμοποιήσαμε ένα πειραματικό μοντέλο στάγδην άρδευσης. Κεντρικό στοιχείο του είναι μία ηλεκτροβάνα 100-DV(1΄΄) της RAIN BIRD που λειτουργεί με εναλλασσόμενη τάση 24V. Τη διάταξη συμπληρώνουν μία βαθμονομημένη δεξαμενή νερού των 50 l, βαλβίδα ανεπιστροφής, σωληνώσεις, εξαρτήματα συνδεσμολογίας και σταλακτήρες παροχής 2,0 l/hr. Επίσης για την καλλιέργεια φυτών βάμβακος χρησιμοποιήθηκαν μεγάλα δοχεία που περιείχαν διαφορετικά εδάφη.

Πίνακας 1: Φυσικομηχανικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά εδαφών

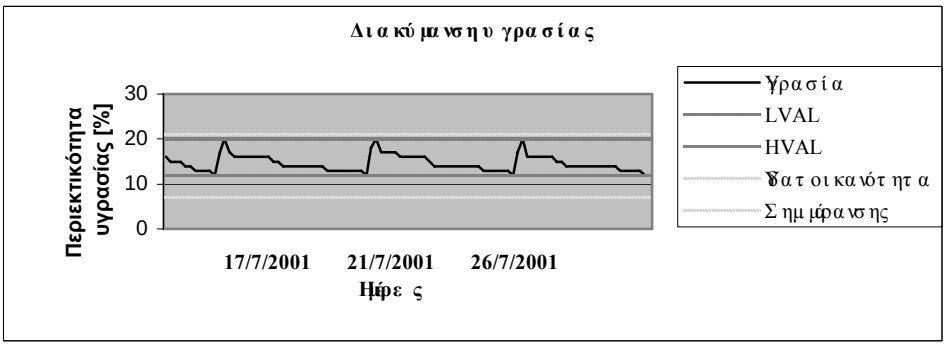
Έδαφος	**Άμμος (%)**	**Ιλύς (%)**	**Αργιλος (%)**	**Φαινόμενο Ειδικό βάρος (g/cm^3)**	**Υδατοϊκανότητα (% όγκου)**	**Σημείο μάρανσης (% όγκου)**
A	44	40	16	1,25	35	12
B	69	22	9	1,50	21	7

Ο αισθητήρας εδαφικής υγρασίας τοποθετήθηκε εντός του ριζοστρώματος των φυτών σε βάθος 20cm από την επιφάνεια του εδάφους. Με τη βοήθεια της διάταξης διακοπτών του ελεγκτή έγινε η εισαγωγή των ορίων ελαχίστης (LVAL) και μέγιστης (HVAL) υγρασίας ανάλογα με τον τύπο εδάφους ενώ οι τιμές μετρήσεων απεικονίζονται στην πολυπλεγμένη οθόνη.

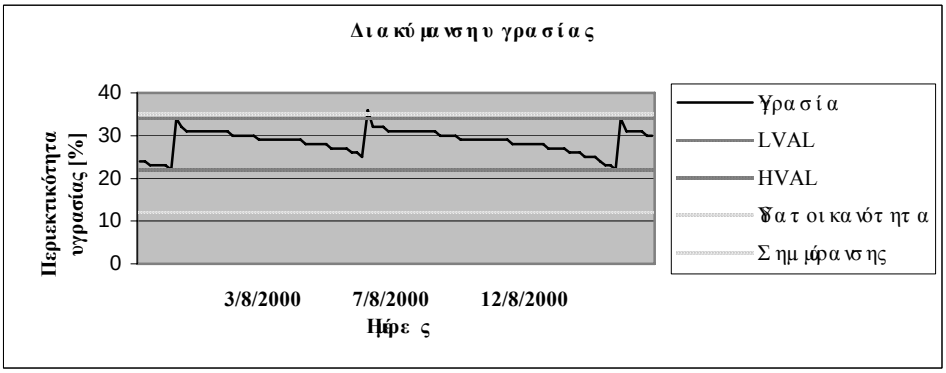
Η πειραματική επαλήθευση του ελεγκτή πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Λάρισας κατά τη θερινή περίοδο των ετών 2000 και 2001. Χρησιμοποιήσαμε στα πειράματα δύο διαφορετικούς τύπους εδαφών, έναν χαμηλής και έναν υψηλής διηθητικότητας ώστε να μελετήσουμε καλύτερα τη συμπεριφορά του ελεγκτή. Η καταγραφή των μετρήσεων γινόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, περίπου κάθε δύο ώρες. Τα αποτελέσματα τα επεξεργαστήκαμε με τη μορφή διαγραμμάτων.



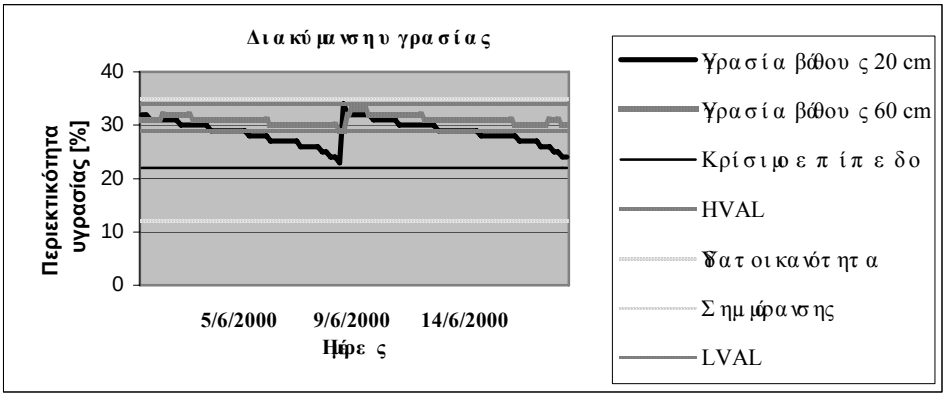
Διάγραμμα 1: Η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος Α σε βάθος 20 cm και η ρύθμισή της από τον ελεγκτή.



Διάγραμμα 2: Η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος Β σε βάθος 20 cm και η ρύθμισή της από τον ελεγκτή.



Διάγραμμα 3: Η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος Α σε βάθος 20 cm. Μετά τη πρώτη ρύθμιση της υγρασίας από τον ελεγκτή ακολούθησε βροχόπτωση.



Διάγραμμα 4: Η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος Α σε βάθος 20 cm και 60 cm και οι ρυθμίσεις της από τον ελεγκτή.

Στόχος του ελεγκτή είναι η συνεχής παρακολούθηση της πραγματικής τιμής εξόδου της διαδικασίας σε σχέση με τις επιθυμητές τιμές, ανεξάρτητα από οποιεσδήποτε ενδογενείς ή εξωγενείς διαταραχές. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με τη συνεχή σύγκριση των επιθυμητών τιμών με την πραγματική. Από τα διαγράμματα που παραθέτουμε προκύπτει ότι η εδαφική υγρασία ήταν πάντοτε πάνω από το κρίσιμο επίπεδο και εντός των επιθυμητών τιμών LVAL και HVAL που οριοθετούν κλάσμα της διαθέσιμης υγρασίας. Η υγρασία στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους μέχρι βάθους 20 cm παρουσιάζει μεγαλύτερη διέγερση σε διαταραχές σε αντίθεση με τα βαθύτερα στρώματα μέχρι βάθους 60 cm όπου η υγρασία είναι περισσότερο σταθερή. Στο έδαφος Β, λόγω μεγάλης διηθητικότητας, η πτώση της υγρασίας είναι περισσότερο απότομη σε σχέση με εκείνη του εδάφους Α, η οποία είναι πιο ομαλή.

Προφανώς, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων λειτουργίας (LVAL, HVAL). Η μέθοδος για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του ελεγκτή (συντονισμός) είναι πειραματική.

Για να παρακολουθήσουμε τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας σε βαθύριζα φυτά χρησιμοποιήσαμε δύο αισθητήρες (Πίνακας 2). Ο πρώτος τοποθετήθηκε σε βάθος 60cm και ο δεύτερος σε βάθος 20 cm. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίσαμε το πρόβλημα της υπερπήδησης (overshoot). Κατά την εφαρμογή δύο αισθητήρων παρακολούθησης της εδαφικής υγρασίας έχουμε περισσότερες μετρήσεις από τη φυσική διαδικασία και μία μόνο μεταβλητή ελέγχου. Ο στενότερος έλεγχος είναι εφικτός χρησιμοποιώντας δύο υποβρόχους.

Πίνακας 2: Προτεινόμενες τιμές βάθους τοποθέτησης των αισθητήρων:

	Καλαμπόκι	Πατάτες	Ζαχαρότευτλα
1ος αισθητήρας	70 cm	50cm	80cm
2ος αισθητήρας	20cm	20cm	20cm

Η αυξημένη υδραυλική αγωγιμότητα του νερού στη ζώνη ριζοστρώματος επέτρεψε στα φυτά να απορροφήσουν και να μεταφέρουν στα φύλλα μεγάλο όγκο νερού. Οι μέγιστες τιμές κατανάλωσης παρατηρήθηκαν μέσα στους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, γεγονός που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη εξάτμιση και στην ολοκλήρωση της φυλλικής ανάπτυξης των φυτών. Μέσα σ'αυτή τη περίοδο τα φυτά είχαν πάντοτε τη διαθέσιμη υγρασία για την ισόρροπη ανάπτυξή τους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε ένα σύστημα ελέγχου της εδαφικής υγρασίας σε πραγματικό χρόνο.

Από την πειραματική επαλήθευση του συστήματος προκύπτει ότι είναι δυνατόν να αναπτυχθούν ικανές, συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος.

Η μέτρηση και η ρύθμιση της εδαφικής υγρασίας γινόταν αυτόματα. Η σωστή ανάπτυξη των φυτών επιβεβαιώνει ότι δεν υπήρξαν ξηρές περίοδοι στη ζώνη ριζοστρώματος κατά τη διάρκεια των θερμότερων περιόδων ενώ η κατανάλωση του νερού ήταν περιορισμένη.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fexa, J., Siroky, K. 1983. Mereni Vlhkosti. Technicky pruvodce 60. SNTL, Praha.
2. Fischbach, P.E., Thompson, T.L., Stetson L.E. 1970. Electric controls for automatic surface irrigation systems with reuse systems. Transactions of the ASAE 13 (2): 286-288.
3. Malicki, M.A., Hanks R.J. 1989. Interfacial contribution to two-electrode soil moisture sensor readings. Irrigation Science 10: 41-54.
4. Painter, L.I. 1966. Method of subjecting growing plants to a continous soil moisture strees. Agron. J. 58: 459-460.
5. Phene, C.J., Hoffman, G.J., Rawlins, S.L. 1971. Measuring soil matric potential in situ by sensing heat dissipation within a porous body: I. Theory and sensor construction. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35 : 27-33.
6. Richardson, G., Mueller – Beilschmid, P.M. 1989. Managing irrigation with gypsum blocks. Infor Inc., New York.
7. Sebela, F. a Kol. 1989. Sledovani a vyvoj vybranych snimacu a predpoklady unifikace automatizacnich prostredku. Zprava, VUZT Repy: 8-115.
8. Stenitzer, E. 1993. Monitoring soil moisture regimes of field crops with gypsum blocks. Theor. Appl. Climatol. 48: 159-165.
9. Waugh, D.L., Corey, R.B. 1963. A moisture control apparatus for use in short term studies. Agron. J. 55: 412-414.

Αγροτικές Κατασκευές

Η ΧΙΟΝΟΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

Μενέλαος Θεοχάρης
Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, ΤΕΙ Ηπείρου, 47100 Άρτα, theoxar@teiep.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χιονοφόρτιση είναι μία από τις κύριες καταπονήσεις των θερμοκηπιακών κατασκευών και αποτελεί, μετά τον άνεμο, το σοβαρότερο παράγοντα αστοχίας των κατασκευών αυτών. Μέχρι σήμερα αντιμετωπιζόταν σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς (DIN1055), ή τους Ελληνικούς κανονισμούς (1946). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τυποποίησης (CEN) δημιούργησε α) την Τεχνική Επιτροπή TC250 η οποία συνέταξε τον Ευρωκώδικα 1 (EC1), στο μέρος 2-3 του οποίου δίνονται αρχές και κανόνες για τον υπολογισμό των δράσεων λόγω χιονόπτωσης, και β) την TC284 η οποία το Μάιο 1999 συνέταξε το σχέδιο κανονισμών το prEN 13031-1: 1999, βασισμένο στον EC1 με ειδικές προσαρμογές για τα θερμοκήπια. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται η χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών για την Ελληνική πραγματικότητα.

Λέξεις κλειδιά : χιόνι, φορτίο, δράση, θερμοκήπιο, Ευρωκώδικας, Ελλάδα.

Snow loads on greenhouse structures according to the Eurocodes

Menelaos Theocharis
Dep. of Plant Production, Tech. Educ. Inst. of Epirus, 47100 Arta theoxar@teiep.gr

ABSTRACT

Snow loads, one of the most important action on greenhouse structures, is after the wind loads, the designating reason for failure of these structures. Up to date, snow loads were calculated in accordance with the German (DIN1055) or the Greek regulations (1946). The European Committee for Standardization (CEN) created a) the Technical Committee TC250, which drew up the EC1, in the part 2-3 of which the snow loads on building structures are examined, and b) the technical Committee TC284, which in 1999 drew up the regulation plan prEN 13031-1: 1999, based on EC1 with modifications for the greenhouses. This study examines the snow loads on greenhouse structures under the Greek conditions.

Keywords: snow, load, action, greenhouse, Eurocode, Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χιόνι μπορεί να εναποτεθεί πάνω στην οροφή του θερμοκηπίου κατά πολλούς διαφορετικούς τρόπους, οι οποίοι εξαρτώνται από το σχήμα της οροφής, τις θερμικές της ιδιότητες, την τραχύτητα της επιφάνειάς της, το ποσό της θερμότητας που παράγεται κάτω από την οροφή, την απόσταση των παρακείμενων κτιρίων, το περιβάλλον έδαφος και τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες. Ιδιαίτερη σημασία έχει το κατά πόσον είναι εκτεθειμένη η οροφή στον άνεμο, οι μεταβολές της θερμοκρασίας καθώς και η πιθανότητα συγκέντρωσης λόγω κατακρήμνισης ή βροχόπτωσης.

Τα φορτία χιονιού κατατάσσονται στις μεταβλητές ελεύθερες δράσεις (όπως αυτές ορίζονται στο Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 1). Είναι δηλαδή φορτίσεις οι οποίες δεν αναμένεται να δράσουν μόνιμα κατά τη διάρκεια ζωής του έργου, η διακύμανση του μεγέθους τους με το χρόνο δεν είναι ούτε αμελητέα, σε σχέση με τη μέση τιμή, ούτε μονότονη και οι οποίες μπορεί να έχουν οποιαδήποτε χωρική κατανομή πάνω στο δόμημα, εντός ορισμένων ορίων.

Σε ειδικές περιπτώσεις, όταν οι καταγραφές της χιονόπτωσης δίνουν ακραίες τιμές οι οποίες δεν μπορούν να αξιοποιηθούν μέσω των συνήθων στατιστικών μεθόδων για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου χιονιού, οι ακραίες αυτές τιμές μπορεί να θεωρούνται ως τυχηματικές δράσεις.

Για τον υπολογισμό του φορτίου χιονιού είναι σύνηθες να μελετάται αρχικά το ομοιόμορφο χιόνι που έχει συσσωρευτεί κάτω από καιρικές συνθήκες νηνεμίας, ενώ η τελική μορφή προκύπτει από το σχήμα της οροφής και της χιονοστιβάδας που έχουν δημιουργηθεί υπό συνθήκες ανέμου.

Τα φορτίο αυτό αναφέρεται σε περιοχές με υψόμετρα κάτω των 1500 m. Για περιοχές με ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες (π.χ. υψηλές ταχύτητες ανέμου και λιώσιμο του χιονιού) μπορεί να εφαρμοστεί το παράρτημα Β του μέρους 2-3 του EC1 στο οποίο δίνονται ειδικές μορφές συγκέντρωσης χιονιού, καθώς και αντίστοιχοι συντελεστές μορφής.

2. ΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΤΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ

Το ειδικό βάρος του χιονιού αυξάνεται με τη χρονική διάρκεια που μεσολαβεί από τη διάστρωσή του. Ενδεικτικές τιμές του ειδικού βάρους του χιονιού στο έδαφος , σύμφωνα με το παράρτημα D του μέρους 2-3 του EC1, δίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Το ειδικό βάρος του χιονιού .

Τύπος χιονιού	Ειδικό βάρος (KN/m^3)
Φρέσκο	1,00
Στρωμένο (αρκετές ώρες ή μέρες μετά τη χιονόπτωση)	2,00
Παλαιό	2,50 έως 3,50
Βρεγμένο	4,00

3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ

Το φορτίο χιονιού θεωρείται ότι επενεργεί κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της επιφάνειας της οροφής.

Υπολογίζεται από τη σχέση : $S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \quad \frac{KN}{m^2}$ (1)

όπου:

μ_i είναι ο συντελεστής μορφής του φορτίου του χιονιού.

S_k είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σε KN/m^2.

C_e είναι ο συντελεστής έκθεσης στις καιρικές επιδράσεις που συνήθως παίρνει την τιμή 1,0. Ο συντελεστής μπορεί να πάρει τιμές μικρότερες από 1,0 αν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των ποικιλόμορφων συνθηκών ανέμου.

C_t είναι ο θερμικός συντελεστής, που παίρνει τις τιμές του πίνακα 2, σύμφωνα με το παράρτημα Ε του prEN 13031-1:1999.

Πίνακας 2. Θερμικός συντελεστής , C_t, ανάλογα με τον τύπο της επικάλυψης.

Υλικό κάλυψης	Θερμικός συντελεστής C_t	
	Θερμαινόμενα θερμοκήπια	Μη θερμαινόμενα θερμοκήπια
Απλά φύλλα γυαλιού	0,6	1,0
Διπλά φύλλα γυαλιού	0,7	1,0
Απλά πλαστικά φύλλα	0,6	1,0
Κυματοειδή πλαστικά φύλλα	0,7	1,0
Τοξωτές οροφές με απλά πλαστικά φύλλα	0,6	1,0
Διπλά πλαστικά φύλλα (φουσκωμένα)	0,9	1,0
Τα θερμοκήπια θεωρούνται θερμαινόμενα μόνο στις περιπτώσεις που υπάρχει εξοπλισμός θέρμανσης συνδεδεμένος με αυτόματο μηχανισμό ανοιγοκλεισίματος. Στις άλλες περιπτώσεις τα θερμοκήπια θεωρούνται μη θερμαινόμενα .		

4. Η ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ S_K

Το φορτίο χιονιού στο έδαφος εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση και το υψόμετρο της περιοχής. Οι χαρακτηριστικές τιμές του φορτίου χιονιού στο έδαφος που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των κατασκευών, δίνονται στο παράρτημα Α του μέρους 2-3 του EC1. Σύμφωνα με το παράρτημα αυτό, η Ελλάδα χωρίζεται στις ακόλουθες δύο εθνικές ζώνες χιονιού, οι οποίες φαίνονται και στο σχήμα 1.

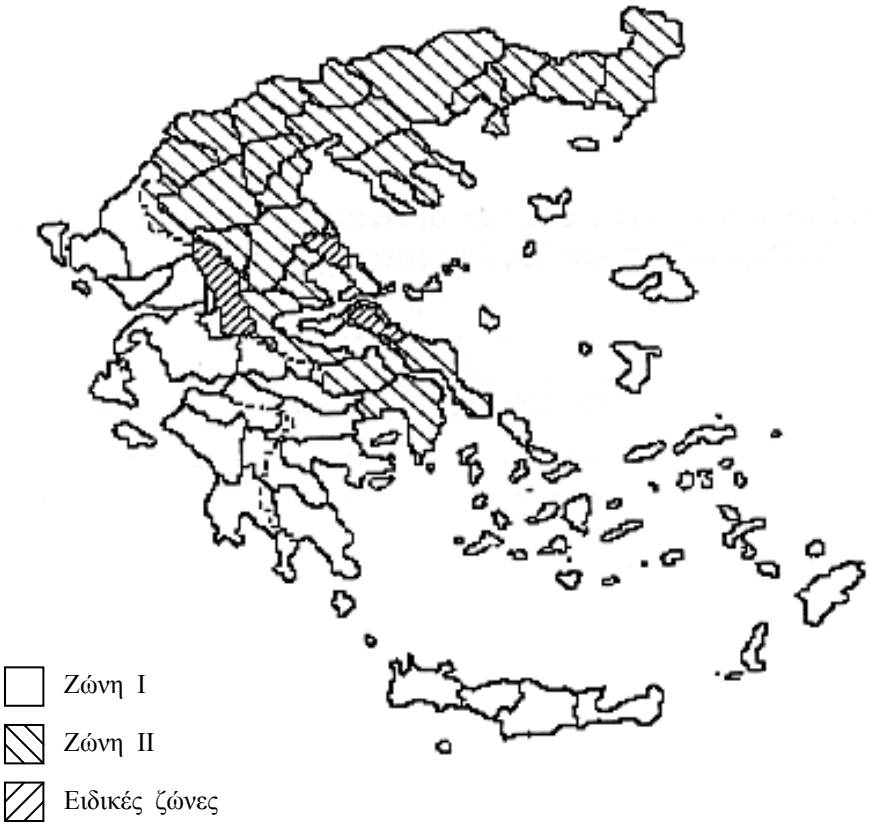
Εθνική Ζώνη Ι : Περιλαμβάνει τις περιοχές : Πελοπόννησο, Δυτική Στερεά, Ήπειρο και Νησιά (εκτός από τις περιοχές της Κρήτης και της Εύβοιας με υψόμετρο > 600 m).

Εθνική Ζώνη ΙΙ : Περιλαμβάνει τις περιοχές: Θράκη, Μακεδονία, Θεσσαλία, Ανατολική Στερεά, Κρήτη και Εύβοια (για υψόμετρα > 600 m και < 1000 m στα νησιά αυτά).

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος εκτιμάται για περίοδο επανεμφάνισης 50 ετών (ετήσια πιθανότητα υπέρβασής της p = 2 %). Στον πίνακα 3 δίνονται για τις παραπάνω Εθνικές Ζώνες οι τιμές του φορτίου χιονιού στο έδαφος , S_k , σε KN/m^2.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού, S_k,στο έδαφος σε KN/m^2

Υψόμετρο (m) ⟶	0 έως 100	100 έως 200	200 έως 300	300 έως 400	400 έως 500	500 έως 600	600 έως 700	700 έως 800	800 έως 900	900 έως 1000
Εθνική Ζώνη Ι	0,22	0,27	0,33	0,39	0,47	0,57	0,68	0,82	0,98	1,19
Εθνική Ζώνη ΙΙ	0,44	0,52	0,62	0,73	0,86	1,01	1,19	1,41	1,67	1,97



Σχήμα 1. Εθνικές ζώνες χιονιού στην Ελλάδα , σύμφωνα με τον EC1.

Για τις ειδικές Ζώνες (Πίνδος, Βόρεια ορεινή Εύβοια, Πήλιο, καθώς και για τις υπόλοιπες ορεινές περιοχές της χώρας με υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000 m) η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος S_k, προκύπτει από στατιστική ανάλυση καταγραφών του φορτίου χιονιού για περιόδους μεγαλύτερες των 20 ετών, η οποία θα πρέπει να καταλήγει σε ένα χαρακτηριστικό φορτίο προσαρμοσμένο στον πίνακα 3.

Το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος, $S_{n,}$ για πιθανότητα υπέρβασης , p, διάφορη του 2 % , υπολογίζεται σύμφωνα με το παράρτημα Ε του μέρους 2-3 του EC1, από τη σχέση :

$$S_n = S_k\left[0{,}3375 - 0{,}1698.\ln\left[-\ln(1-p)\right]\right] \qquad (2)$$

όπου S_k είναι το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος για ετήσια πιθανότητα υπέρβασης ίση με 2 %. Για παράδειγμα πιθανότητα p = 7 % (υπέρβαση μία φορά στα 15 χρόνια), συνεπάγεται $S_n = 0{,}78 \cdot S_k$.

5. Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ μ_i

Για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων συντελεστών μορφής, λαμβάνονται υπόψη τρεις μορφές κατανομής φορτίου :

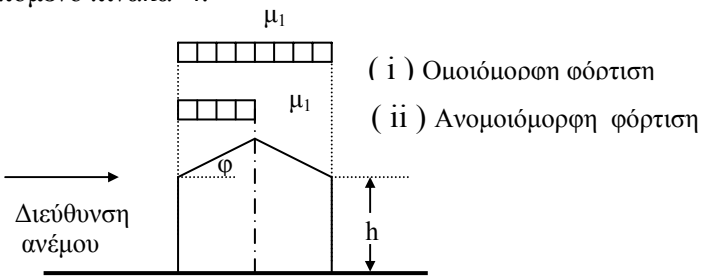
α) Η πρώτη προκύπτει από μία ομοιόμορφη κατανομή του χιονιού πάνω σε ολόκληρη την οροφή, και ισχύει όταν το χιόνι πέφτει με μικρή πνοή ανέμου.

β) Η δεύτερη μορφή προκύπτει από μία αρχική ασύμμετρη κατανομή, ή από ανακατανομή του χιονιού που επηρεάζει την κατανομή του φορτίου στο σύνολο της οροφής. (π.χ. χιόνι που μεταφέρεται από την προσήνεμη στην υπήνεμη πλευρά της οροφής).

γ) Η τρίτη μορφή προκύπτει από ανακατανομή του χιονιού στα υψηλότερα τμήματα της οροφής , λόγω ολίσθησης.

5.1. Απλά αμφικλινή θερμοκήπια

Για τις αμφικλινείς οροφές εξετάζονται δύο διατάξεις του συντελεστή μορφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Για το σχεδιασμό θα λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη από αυτές. Οι τιμές του συντελεστή μορφής , μ_1 , παίρνονται από τον επόμενο πίνακα 4.



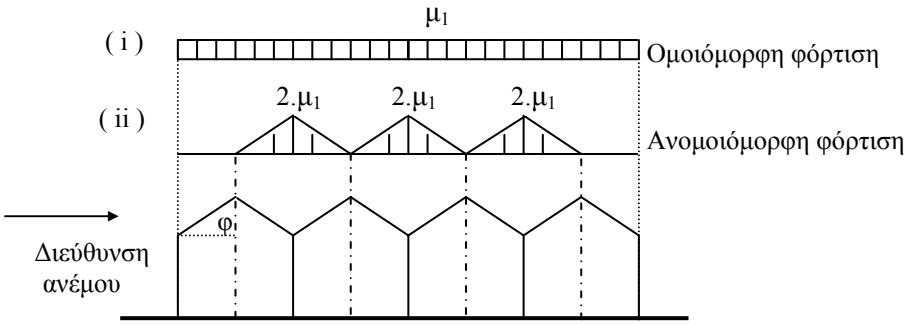
Σχήμα 2 . Συντελεστής μορφής απλών αμφικλινών θερμοκηπίων .

Πίνακας 4. Συντελεστής μορφής απλών αμφικλινών θερμοκηπίων.

Συντελεστής μορφής μ_1	Γωνία κλίσεως της οροφής		
	$0^0 \leq \varphi \leq 30^0$	$30^0 \leq \varphi \leq 60^0$	$\varphi \geq 60^0$
	0,8	0,8 (60-φ) /30	0,0

5.2. Πολλαπλά αμφικλινή θερμοκήπια

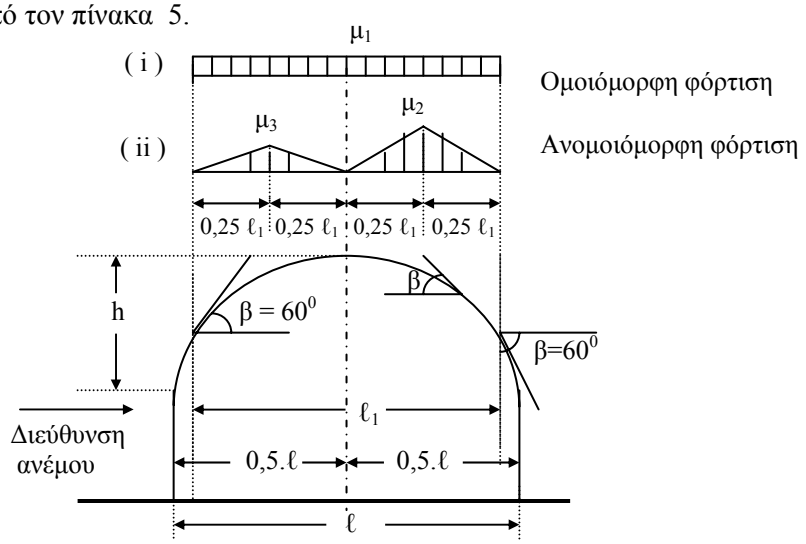
Εξετάζονται οι επόμενες δύο διατάξεις του συντελεστή μορφής και λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη. Η τιμή του συντελεστή μορφής είναι $\mu_1 = 0,8$.



Σχήμα 3. Συντελεστής μορφής πολλαπλών αμφικλινών θερμοκηπίων .

5.3. Απλά τοξωτά θερμοκήπια.

Εξετάζονται οι επόμενες δύο διατάξεις του συντελεστή μορφής και λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη. Οι τιμές των συντελεστών μορφής παίρνονται από τον πίνακα 5.



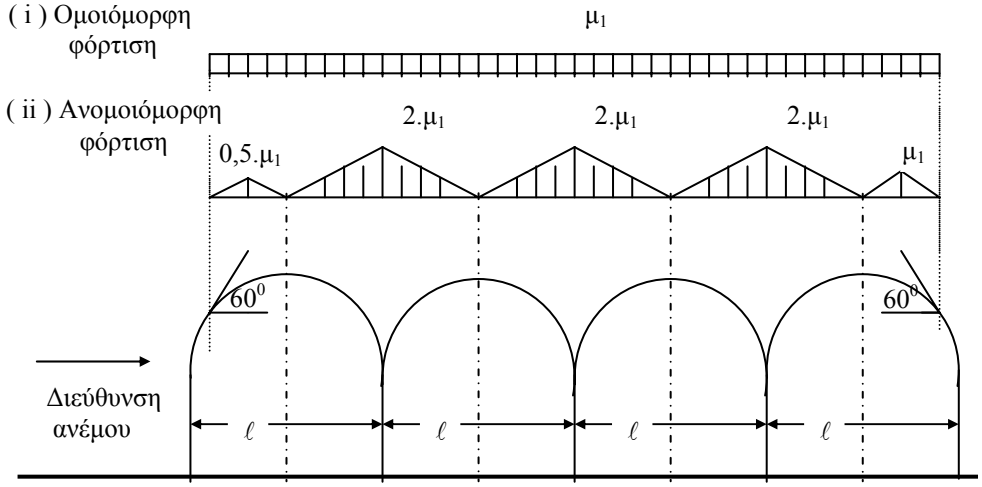
Σχήμα 4 . Συντελεστής μορφής απλών τοξωτών θερμοκηπίων.

Πίνακας 5. Συντελεστές μορφής απλών τοξωτών θερμοκηπίων.

Συντελεστής μορφής	Γωνία κλίσεως β	
	$0^0 \leq \beta \leq 60^0$	$\beta > 60^0$
μ_1	0,8	0
μ_2	$0,2 + 10 \cdot h/\ell \leq 1$	0
μ_3	$0,5 \cdot \mu_2$	0

5.4. Πολλαπλά τοξωτά θερμοκήπια

Εξετάζονται οι επόμενες δύο διατάξεις και κατά το σχεδιασμό λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη. Η τιμή του συντελεστή μορφής είναι $\mu_1 = 0,8$.



Σχήμα 5. Συντελεστής μορφής πολλαπλών τοξωτών θερμοκηπίων

6. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στις περιοχές με ειδικές κλιματικές συνθήκες εντάσσονται οι περιοχές όπου, μεταξύ ανεξάρτητων κλιματικών καταστάσεων, όλο το χιόνι λιώνει και απομακρύνεται και όπου οι ταχύτητες των ανέμων είναι υψηλές. Οι συντελεστές μορφής που εφαρμόζονται στις περιοχές αυτές, δίνονται στο παράρτημα Β του μέρους 2-3 του EC1. Κάθε περίπτωση φόρτισης χιονιού θεωρείται ότι δρα ανεξάρτητα και δεν πρέπει να επαλληλίζεται με καμία άλλη φόρτιση χιονιού.

6.1 Απλά αμφικλινή θερμοκήπια - Τοξωτά θερμοκήπια

Ισχύουν όσα περιέχονται στις παραγράφους 5.1 , 5.3 και 5.4, εκτός αν ορίζεται κάτι άλλο από την Αρμόδια Εθνική Αρχή.

6.2 Πολλαπλά αμφικλινή θερμοκήπια

Ισχύουν όσα περιγράφονται στην παράγραφο 5.2 , με τη διαφορά ότι η τιμή του συντελεστή μορφής για την ανομοιόμορφη φόρτιση αντί για $2.\mu_1$, είναι $\mu_3 = 2.h / S_k$ τον περιορισμό ότι $0{,}8 \le \mu_3 \le 3$.

7. ΤΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ A_{K1}

Τα συμπτωματικά φορτία χιονιού, A_{k1} , είναι φορτία τα οποία επιβάλλονται από ακραίες τιμές χιονιού οι οποίες δεν είναι δυνατό να διαχειριστούν από τις συνήθεις στατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της χαρακτηριστικής τιμής . Σε αυτή την περίπτωση οι ακραίες τιμές επιτρέπεται να θεωρούνται συμπτωματικά φορτία. Το συμπτωματικό φορτίο χιονιού μπορεί να εφαρμόζεται για περίοδο επαναφοράς που προκύπτει με τον ίδιο τρόπο που ισχύει για το φορτίο χιονιού που επιβάλλεται στο έδαφος.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών αντιμετωπίζεται συστηματικά σύμφωνα με το μέρος 2-3 του EC1, και το σχέδιο κανονισμών prEN 13031-1: 1999 της TC284.
- Το φορτίο χιονιού θεωρείται ότι επενεργεί κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της επιφάνειας της οροφής.
- Κάθε περίπτωση φόρτισης χιονιού θεωρείται ότι δρα ανεξάρτητα και δεν πρέπει να επαλληλίζεται με καμία άλλη φόρτιση χιονιού.
- Η Ελλάδα χωρίζεται σε δύο εθνικές ζώνες χιονιού, ενώ για περιοχές με ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες πρέπει να εφαρμόζονται ειδικές μορφές συγκέντρωσης χιονιού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. American National Standard A58.1. Building Code requirements for minimum design loads in buildings and other structures, *American National Standards Institute, New York, 1982.*
2. Draft prEN 13031-1 . Greenhouses : Design and construction - Part 1: Commercial production Greenhouses. *CEN , 1997.*
3. Ερμόπουλος Ι., Ευρωκώδικας 1, Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών. *Εκδώσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 1997.*
4. Eurocode 1- Part 1 , Basis of design and actions on structures, Basis of design. *CEN, ENV 1991-1, September 1994.*
5. Eurocode 1 - Part 2-3: Actions on structures - Snow loads. *CEN, ENV 1991-2-3, February 1995.*
6. Μαυρογιαννόπουλος Γ. Ν., Θερμοκήπια. *Εκδώσεις Σταμούλης, Αθήνα 1994.*
7. Standards for design loads in greenhouse structures. *National Greenhouse manufactures association (NGMA), 1997.*

ΜΕΛΕΤΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Κωτσόπουλος, Θ., Μαρτζόπουλος, Γ., Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Χ.

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,

Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ.,

54006 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη μελέτη που αφορά την ανάπτυξη και λειτουργία ενός πρότυπου συστήματος διαχείρισης θερμοκηπίων στην περιοχή Αγ. Γεωργίου του Δήμου Δοβρά που ανήκει στο Νομό Ημαθίας. Στη μελέτη αυτή λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη η βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου σε επάρκεια ενεργειακού πόρου της περιοχής που είναι η βιομάζα. Επίσης περιλαμβάνονται η καταγραφή και εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης και οι τρόποι βελτίωσης της. Τέλος με την παρούσα μελέτη εξασφαλίζεται μια ολοκληρωμένη, βιώσιμη και σύγχρονη λύση για την περαιτέρω ανάπτυξη της περιοχής του Αγ.Γεωργίου δεδομένου ότι η κύρια ασχολία των κατοίκων στο συγκεκριμένο Δήμο είναι η γεωργία.

Λέξεις κλειδιά: Θερμοκήπια, Βιομάζα, Δοβρά

STUDY OF A COMPLETED PROGRAM OF GREENHOUSES MANAGEMENT

Kotsopoulos, T., Martzopoulos, G., Nikita – Martzopoulou, Ch.

Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering

School of Agriculture, Aristotle University,

54124 Thessalonici, Greece.

ABSTRACT

In this work a completed study concerning the development and operation of a model system of greenhouses management in the region Ag. George of Dovra Municipality-Prefecture Imathia, is presented. In this study the most optimal exploitation, available in sufficiency, of energy source in the region that is the biomass is taken into consideration. It also includes the recording and estimate of existing situation and ways of its improvement. Finally with the present study a completed, viable and modern solution for her further development of Ag. George region is ensured, since the main occupation of residents in the particular Municipality is the agriculture.

Keywords: Greenhouses, Biomas, Dobra

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην περιοχή Αγ.Γεωργίου του Δήμου Δοβρά η κύρια ασχολία των κατοίκων είναι η γεωργία η οποία εστιάζεται στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην παρουσίαση ενός ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης της συγκεκριμένης περιοχής. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται στην καταγραφή και εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης, ώστε μέσα από αυτήν να αναδειχθούν οι τρόποι αναδιοργάνωσης, εκμετάλλευσης και διαχείρισης των θερμοκηπίων και θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Επιπλέον προτείνονται σχέδια βελτίωσης των υπαρχόντων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων, κατασκευή νέων θερμοκηπίων και θερμοσπορείων, κατασκευή εκθετηρίου, διοικητηρίου, μονάδων διατήρησης, τυποποίησης και μεταποίησης. Υποδεικνύονται οι προδιαγραφές πιστοποίησης της ταυτότητας των παραγομένων προϊόντων που θέτει ο Οργανισμός Πιστοποίησης και Επίβλεψης Γεωργικών Προϊόντων (Ο.Π.Ε.ΓΕ.Π.). Γίνεται συστηματική αναφορά στον τρόπο βελτίωσης της απόδοσης, της μείωσης του κόστους παραγωγής και της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων.

Στην παρούσα εργασία δίδεται επίσης ιδιαίτερη βαρύτητα στον τρόπο εκμετάλλευσης της υπάρχουσας βιομάζας της περιοχής, παρέχοντας την τεχνογνωσία για τη λειτουργία ενός καυστήρα βιομάζας, αξιοποιώντας έτσι τον εγχώριο-τοπικό ενεργειακό πόρο (πυρήνες ροδακίνων και ξυλεύματα).

2. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

2.1 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης έγινε με τη διανομή ερωτηματολογίων στους παραγωγούς καθώς και με επιτόπια έρευνα.

Με την επιτόπια έρευνα καταγράφηκε ο αριθμός και η τοποθεσία των θερμοκηπίων, όπως και στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία τους.

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην περιοχή του Αγ. Γεωργίου διαπιστώθηκε ότι καταλαμβάνουν μια έκταση 1200 στρεμμάτων περίπου. Οι θερμοκηπιακές κατασκευές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή αποτελούνται στην πλειονότητα τους από μεταλλικό σκελετό τύπου τροποποιημένου τοξωτού και χρησιμοποιούν σαν υλικό κάλυψης φύλλα πολυαιθυλενίου. Σε πολύ μικρό ποσοστό υπάρχουν και θερμοκήπια χωρικού τύπου.

Από την επεξεργασία των ερωτηματολογίων προέκυψε ότι στην περιοχή του Αγ.Γεωργίου η κύρια καλλιέργεια που χαρακτηρίζει την αγροτική δραστηριότητα των κατοίκων είναι η θερμοκηπιακή καλλιέργεια της πιπεριάς που καταλαμβάνει το 90% της συνολικής έκτασης των θερμοκηπίων.

Ακολουθούν η μελιτζάνα με ποσοστό 4%, τα φασολάκια με επίσης 4% το αγγουράκι με 2% και η τομάτα με ένα πολύ μικρό ποσοστό μόλις 0.2%.

2.2 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η πλειοψηφία των θερμοκηπίων που καταγράφηκαν στα ερωτηματολόγια και μάλιστα σε ποσοστό 63% φαίνεται ότι δεν διαθέτουν συστήματα θέρμανσης για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διάθεση των προϊόντων τους στην αγορά σε περιόδους που οι τιμές δεν είναι οι υψηλότερες του έτους. Οι περιοριστικοί παράγοντες για τη χρήση θέρμανσης, όπως οι ίδιοι οι παραγωγοί δηλώνουν, είναι το αρχικό κόστος εγκατάστασης ενός αποτελεσματικού συστήματος και η μετέπειτα δαπανηρή λειτουργία του λόγω της τιμής του πετρελαίου.

Τελικά προκύπτει ότι μόνον το 37% των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην περιοχή διαθέτει σύστημα θέρμανσης. Από τα θερμοκήπια το 24% χρησιμοποιούν σαν μέσο θέρμανσης τη βιομάζα, 9% το πετρέλαιο και 4% το υγραέριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περιοχή υπάρχει ποσότητα βιομάζας (κουκούτσι-ξυλεύματα) η οποία προέρχεται από την καλλιέργεια της ροδακινιάς και θεωρείται επαρκής (μόνο στο Δήμο Δοβρά ο αριθμός δένδρων ροδακινιάς ανέρχεται σε 908000, χωρίς να ληφθεί υπόψη ο αριθμός δένδρων στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Ημαθίας, πηγή ΕΣΥΕ (2000)) για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των υπαρχόντων θερμοκηπίων.

Η βιομάζα σαν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι ιδιαίτερα φθηνή συγκρινόμενη κυρίως με τα συμβατικά καύσιμα. Από τη στιγμή που αποδεδειγμένα αποτελεί τοπικό φυσικό πόρο θα μπορούσε να χρησιμοποιείται σε ευρύτερη κλίμακα από τους παραγωγούς όχι μόνο στον γεωργικό τομέα αλλά και σε άλλους τομείς δραστηριότητας των κατοίκων. Το ότι μόνο το 24% των θερμοκηπίων θερμαίνεται με βιομάζα οφείλεται στην επιφυλακτικότητα των παραγωγών απέναντι σε αυτήν την μορφή ενέργειας, στη μη σωστή διαχείριση της βιομάζας (έλλειψη κατάλληλων αποθηκευτικών χώρων βιομάζας με αποτέλεσμα πρόσληψη υγρασίας από αυτήν και έτσι μείωση της θερμαντικής της αξίας), στο υψηλό κόστος εγκατάστασης της θέρμανσης για τους παραγωγούς σε αντίθεση με ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης, όπου το κόστος αυτό επιμερίζεται και έτσι το κόστος ανά παραγωγό είναι κατά πολύ χαμηλότερη.

2.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

2.3.1 *Θερμοσπορεία*

Όπως ήδη αναφέρθηκε η κύρια θερμοκηπιακή καλλιέργεια στην περιοχή είναι η πιπεριά. Με βάση το ερωτηματολόγιο το 96% των παραγωγών διαθέτουν δικό τους θερμοσπορείο. Από το αποτέλεσμα προκύπτει ότι υπάρχει μεγάλη

διακύμανση τόσο στην ποιότητα όσο και στην ποσότητα της παραγωγής της πιπεριάς από παραγωγό σε παραγωγό.

2.3.2 *Προμήθεια πρώτων υλών*

Σε σχετική ερώτηση για την πηγή προμήθειας των πρώτων υλών (φάρμακα, λιπάσματα, σπόρους) το 96% των παραγωγών δηλώνουν ότι τα προμηθεύονται από ιδιώτη και μόνο το 4% από συνεταιρισμό.

2.3.3 *Διακίνηση προϊόντων*

Στην ερώτηση σχετικά με το πώς διακινούν το προϊόν τους οι παραγωγοί απάντησαν σε ποσοστό 38% ότι το διακινούν μέσω ομάδας, το 36% από αυτούς ατομικά και τέλος το 26% μέσω συνεταιρισμού.

Οι κύριοι στόχοι της εμπορίας των αγροτικών προϊόντων πρέπει να είναι η αύξηση της ποσότητας διάθεσης τους, καθώς και η επίτευξη ικανοποιητικών τιμών διάθεσης , ώστε να διασφαλίζεται ένα υψηλό επίπεδο ευημερίας για τους παραγωγούς. Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι σημαντικό ρόλο παίζει η διαπραγματευτική ισχύς των παραγωγών. Όπως προκύπτει όμως από τις σχετικές τους απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο, η διακίνηση των προϊόντων τους γίνεται είτε μεμονωμένα είτε από μικρές ομάδες, πράγμα που δυσκολεύει την επίτευξη των παραπάνω στόχων.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι για την επίτευξη υψηλότερων τιμών διάθεσης των προϊόντων τους θα πρέπει να υπάρξει καλύτερη και ορθολογικότερη οργάνωση στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η διακίνηση και η εμπορία τους,.

2.3.4 *Τυποποίηση προϊόντος*

Τυποποίηση ενός γεωργικού προϊόντος ονομάζεται ο διαχωρισμός της όλης διακινούμενης ποσότητας του σε διάφορες ποιότητες καθεμιά από τις οποίες έχει διαφορετική τιμή. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τυποποίηση είναι ότι αυξάνει την ποσότητα πώλησης των γεωργικών προϊόντων διότι συντελεί στην αύξηση της ζήτησης τους από πλευράς καταναλωτών, μειώνει την ανάγκη διαφήμισης γιατί η τυποποίηση είναι ένα είδος ενημέρωσης σχετικά με την ποιότητα του προϊόντος, και συντελεί στην αύξηση του εισοδήματος του παραγωγού. Παρόλα τα πλεονεκτήματα της τυποποίησης μόνο το 28% των παραγωγών του Αγ. Γεωργίου τυποποιούν τα προϊόντα τους.

2.3.5 *Εγκαταστάσεις συντήρησης, αποθήκευσης*

Στην ερώτηση αν διαθέτουν εγκαταστάσεις συντήρησης, αποθήκευσης και συσκευασίας του προϊόντος, το 48% των παραγωγών απάντησε θετικά, ενώ το 52% των παραγωγών δεν διαθέτει εγκαταστάσεις. Από τις εγκαταστάσεις που υπάρχουν το 11% είναι ιδιόκτητες και το 89% είναι συνεταιριστικές.

2.2.6 *Επιθυμία ένταξης σε ένα σύστημα διαχείρισης με στόχο τη μείωση του κόστους παραγωγής και την πιστοποίηση των προϊόντων.*

Το 95% των παραγωγών απάντησαν θετικά στο ενδεχόμενο της ένταξης τους σε ένα σύστημα διαχείρισης με στόχο τη μείωση του κόστους παραγωγής και την πιστοποίηση των προϊόντων τους. Το 3% επιθυμεί και αυτό την ένταξη του υπό προϋποθέσεις, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω, και τέλος το 2% δεν επιθυμεί την ένταξη του σε αυτό.
Οι προϋποθέσεις που θέτουν ορισμένοι παραγωγοί είναι οι παρακάτω:

- Να ενταχθούν ως ομάδα παραγωγών
- Να εξασφαλισθεί η διάθεση των προϊόντων τους
- Η τιμή διάθεσης των προϊόντων τους να είναι συμφέρουσα
- Η οργανωτική επιτροπή του συστήματος να έχει ικανότητες, να είναι κοινής αποδοχής, και να έχει τις απαραίτητες γνώσεις

3. ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΝΑΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΔΟΒΡΑ – ΜΕΙΩΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

3.1. Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις

Από την επιτόπια έρευνα προέκυψε ότι η πλειονότητα των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων, σε ό,τι αφορά το στατικό σχεδιασμό τους, είναι σύμφωνη με τις υφιστάμενες προδιαγραφές. Παρόλα αυτά, προβλήματα σχετικά με τα ποσοστά αερισμού και το σύστημα θέρμανσης είναι εμφανή. Για το λόγο αυτό προτείνεται ένα σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης σύμφωνα με το οποίο, ομάδα ειδικών θα διαπιστώσει τις αδυναμίες κάθε θερμοκηπιακής μονάδας που θα ενταχθεί σε αυτό και θα προτείνει λύσεις τεχνικά και οικονομικά ($3^{ο}$ Κ.Π.Σ.) εφικτές.

Πέραν τούτου προτείνεται η εγκατάσταση ενός θερμοκηπιακού πάρκου στη διαθέσιμη από το Δήμο Δοβρά περιοχή όπου θα λειτουργήσουν θερμοκηπιακές μονάδες 4 στρεμμάτων η κάθε μία. Ο χώρος εγκατάστασης θα παραχωρείται για χρονικό διάστημα 15 ετών τουλάχιστον (χρόνος απόσβεσης) από το Δήμο σε ενδιαφερόμενους παραγωγούς που θα ενταχθούν στο ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης . Οι όροι παραχώρησης θα καθοριστούν από το Δήμο. Οι θερμοκηπιακές κατασκευές που θα εγκατασταθούν στο χώρο αυτό θα είναι σύμφωνες με τον τύπο και τις προδιαγραφές που αναφέρονται στις παράλληλες επενδύσεις.

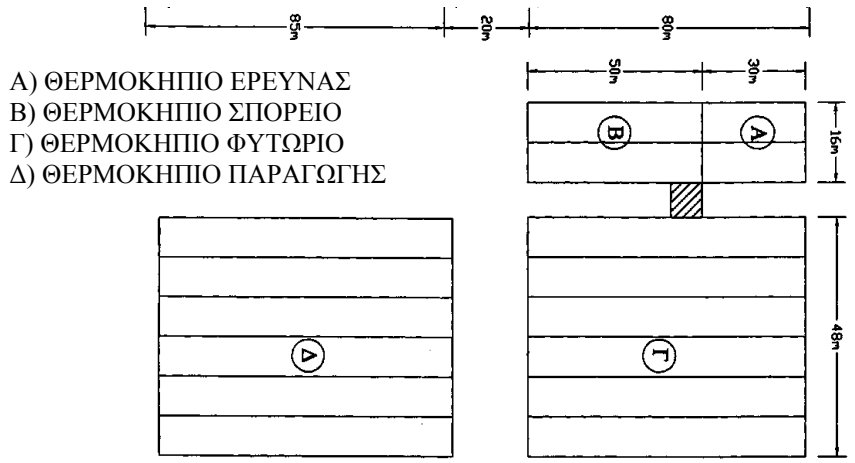
Το σύνολο των θερμοκηπιακών αυτών μονάδων σε πρώτη φάση δε θα υπερβαίνει τις 10. Το κόστος εγκατάστασης θα βαρύνει τους ενδιαφερόμενους, οι οποίοι θα μπορούν να ενισχυθούν μέσω των επιδοτήσεων που προβλέπονται από το Τρίτο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης ($3^{ο}$ Κ.Π.Σ.) καθώς και μεσο-μακροπρόθεσμων χαμηλότοκων αγροτικών ή βιοτεχνικών δανείων.

Η επιλογή των υποψηφίων επενδυτών (1-2 άτομα ανά θερμοκηπιακή μονάδα) θα γίνεται από το δημοτικό φορέα διαχείρισης που θα συγκροτήσει ειδική ανεξάρτητη επιτροπή ειδικών ως εξής: 1 μέλος (γεωτεχνικός) από την Γ.Γ. Κεντρικής Μακεδονίας , 1 μέλος (γεωτεχνικός) από τη Νομαρχία Ημαθίας, 1 μέλος του Δήμου Δοβρά και 2 μέλη καθηγητές του Τμήματος Γεωπονίας ειδικοί στο αντικείμενο, ώστε να είναι πιο αντικειμενική η επιλογή των υποψηφίων επενδυτών.

3.2 Παράλληλες επενδύσεις

Για την αύξηση της παραγωγής, τη βελτίωση της ποιότητας, τη μείωση του κόστους παραγωγής και την τυποποίηση για την αύξηση της τιμής διάθεσης απαιτούνται συγκεκριμένες εγκαταστάσεις οι οποίες θα εξυπηρετούν τόσο τις νέες θερμοκηπιακές μονάδες που θα εγκατασταθούν στο θερμοκηπιακό πάρκο του δήμου, όσο και τις υφιστάμενες που θα ενταχθούν στο σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης.

Οι απαιτούμενες παράλληλες επενδύσεις όπως προέκυψε από την τεχνική μελέτη περιλαμβάνουν τις ακόλουθες εγκαταστάσεις: Α) ένα πρότυπο θερμοκήπιο παραγωγής (4 στρέμματα) Β) ένα θερμοκήπιο-σπορείο για παραγωγή φυτωρίων με ξεχωριστή μονάδα έρευνας-σπορείου (5 στρέμματα).

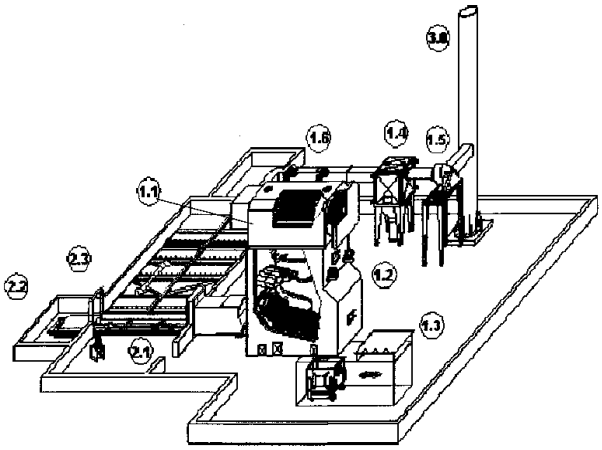


Σχήμα 2. Διαστάσεις θερμοκηπιακών μονάδων

Γ) Με σκοπό την τυποποίηση, μεταποίηση και διατήρηση των προϊόντων προβλέπεται η κατασκευή ενός βιοτεχνικού κτιρίου επιφάνειας 1.275 m .Στο κτίριο θα ενσωματωθεί κατάλληλος χώρος γραφείων για την εξυπηρέτηση μιας κεντρικής διοίκησης, οργάνωσης, ελέγχου και προγραμματισμού της παραγωγής των θερμοκηπιακών προϊόντων αλλά και της λειτουργίας των θερμοκηπιακών μονάδων. Στο κτίριο θα υπάρχει μία πλήρης αυτόματη ηλεκτρονική γραμμή επεξεργασίας – διαλογής - συσκευασίας των βασικών προϊόντων (πιπεριά , αγγουράκι, ντομάτα) δυναμικότητας 35-40 τόνων / 8ωρο,

καθώς επίσης όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός αποθήκευσης των προϊόντων σε θαλάμους ψυγείων.

Δ) Σχεδιάζεται επίσης μία κεντρική μονάδα θέρμανσης ισχύος 5000 kW με καύσιμο ύλη βιομάζα (πυρήνες φρούτων, φλούδες, κλαδιά από τα κλαδέματα των δένδρων, άχυρο κλπ.) η οποία θα εξυπηρετεί θερμοκηπιακή έκταση εντός του οικοπέδου (λεπτομέρειες της κεντρικής μονάδας θέρμανσης εμφανίζονται στο σχήμα 3). Η επιφάνεια των θερμοκηπίων που θα υποστηρίζεται από την κεντρική μονάδα θέρμανσης σε πρώτη φάση θα είναι περίπου 30 στρέμματα όπως προκύπτει από σχετική μελέτη και σύμφωνα με την προαναφερόμενη θερμογόνο ισχύ. Θα υπάρχει όμως η πρόβλεψη και η υποδομή για μελλοντική επέκταση της μονάδας θέρμανσης, έτσι ώστε να υποστηριχθεί η υπόλοιπη επιφάνεια εντός του οικοπέδου αλλά και τα υφιστάμενα θερμοκήπια της περιοχής.



1.1 Λέβητας, 1.2 καυστήρας, 1.3 μηχανική απομάκρυνση στάχτης, 1.4 φίλτρο καθαρισμού καυσαερίων, 1.5 απορροφητήρας καυσαερίων, 1.6 αγωγοί καυσαερίων, 2.1 μηχανισμός τροφοδοσίας του καυστήρα με βιομάζα, 2.2 χώρος τροφοδοσίας βιομάζας προς το μηχανισμό μεταφοράς, 2.3 υδραυλικός μηχανισμός μεταφοράς βιομάζας, 3.0 καμινάδα.

Σχήμα 3. Κεντρική μονάδα θέρμανσης

Στη μονάδα κεντρικής θέρμανσης συμπεριλαμβάνεται η κτιριακή υποδομή στέγασης των θαλάμων καύσης και του λέβητα με όλο τον παρελκυόμενο απαραίτητο εξοπλισμό. Η τροφοδοσία του καυστήρα με βιομάζα θα γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού που θα στεγάζεται σε ξεχωριστό χώρο εντός του κτιρίου, στο οποίο θα γίνεται και η αποθήκευση της καύσιμης ύλης.

Ε) Προτείνεται και σχεδιάζεται επίσης μία κεντρική μονάδα τροφοδοσίας νερού προς άρδευση των θερμοκηπίων εντός του οικοπέδου. Ο σκοπός της μονάδας αυτής θα είναι η αυτόματη αλλά και ελεγχόμενη παροχή νερού προς άρδευση. Στην μονάδα περιλαμβάνονται οι δεξαμενές νερού, το κτίριο στέγασης του

κεντρικού αντλιοστασίου άρδευσης, καθώς επίσης και το κεντρικό δίκτυο σωληνώσεων παροχής του νερού.

Στ) Κτίριο ηλεκτρικού υποσταθμού και εφεδρικό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ισχύος 164kW για κάλυψη αναγκών σε περιόδους διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος από διάφορες αιτίες.

3.3. Οργάνωση και διοίκηση του συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης των θερμοκηπίων του δήμου Δοβρά.

Το σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης των θερμοκηπίων του δήμου Δοβρά αποβλέπει στην αναδιοργάνωση και βελτίωση του τρόπου και των μεθόδων αξιοποίησης των συντελεστών παραγωγής θερμοκηπιακών προϊόντων καθώς και στην αξιοποίηση των εγχώριων ενεργειακών πόρων και στην πιστοποίηση των προϊόντων αυτών.

Η πρόταση που υποβλήθηκε από το δήμο Δοβρά στοχεύει στη δημιουργία ενός ρεαλιστικού και αποδοτικού σχήματος διαχείρισης το οποίο α) θα στηρίζεται σε ιδιωτικο – οικονομικά κριτήρια β) θα αποβλέπει στη συμμετοχή όλων των εμπλεκομένων φορέων π.χ. παραγωγών, εμπόρων κ.λ.π., γ) θα διοικείται από ανεξάρτητο φορέα ειδικών, δ) θα ελέγχεται από το σύνολο των παραγωγών που θα ενταχθούν στο σύστημα και ε) θα αυτοχρηματοδοτείται. Ένα τέτοιο σχήμα με τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά θα πρέπει να έχει τη νομική μορφή Ανώνυμης Εταιρείας και να λειτουργεί ως δημοτική επιχείρηση.

Τα μέλη της εταιρείας θα αποτελούν α) υποχρεωτικά όλοι όσοι επιλεγούν για εγκατάσταση νέων θερμοκηπιακών μονάδων στο χώρο του θερμοκηπιακού πάρκου του δήμου Δοβρά, β) όσοι από τους παραγωγούς θερμοκηπιακών προϊόντων επιλέξουν εθελοντικά να συμμετάσχουν στο σύστημα της ολοκληρωμένης διαχείρισης γ) ο δήμος Δοβρά δια των εκπροσώπων του, καθώς αυτός είναι ο ιδιοκτήτης του χώρου και των κοινωφελών εγκαταστάσεων του πάρκου.

Η εταιρεία θα διοικείται από επταμελές Διοικητικό Συμβούλιο που θα εκλέγεται από το σύνολο των μελών του με υποχρεωτική συμμετοχή σε αυτό ενός εκπροσώπου της Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Τα μέλη του Δ.Σ. θα είναι άμισθα. Εσωτερικός κανονισμός θα ορίζει τυχόν αποζημιώσεις που θα απαιτούνται για συγκεκριμένες δραστηριότητες των μελών του Δ.Σ.

Η εταιρεία θα διευθύνεται από ένα διευθύνοντα σύμβουλο γεωτεχνικό ,κατά προτίμηση γεωπόνο απόφοιτο του Α.Π.Θ. και εξειδικευμένο στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η εξειδίκευση του διευθυντή θα αποδεικνύεται από την κατοχή μεταπτυχιακού διπλώματος (MSc ή ισότιμο αντίστοιχο δίπλωμα ή διδακτορικό). Ο Διευθύνων Σύμβουλος θα συμμετέχει σαν εισηγητής στις συνεδριάσεις του Δ.Σ. και θα είναι αμειβόμενος.

Το διευθυντικό σχήμα της εταιρείας θα πλαισιώνεται από έναν οικονομικό διευθυντή, έναν τεχνικό διευθυντή και έναν ακόμη γεωπόνο υπεύθυνο

παραγωγής. Όλοι οι προαναφερόμενοι θα είναι αμειβόμενοι. Το ύψος των αμοιβών των διευθυντικών στελεχών θα καθορισθεί από το Δ.Σ. της εταιρείας.

Τέλος, η εταιρεία θα έχει μόνιμο και ανεξάρτητο 5 μελές Τεχνικό Συμβούλιο που θα αποτελείται από εξειδικευμένους με το αντικείμενο επιστήμονες.

Η εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης των θερμοκηπίων του δήμου Δοβρά , θα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής κατά 20% , που θα προκύπτει από τη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας (βιομάζα) και την οργανωμένη διακίνηση των πρώτων υλών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καταγραφή και η εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης σχετικά με τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην περιοχή Αγ. Γεωργίου του Δήμου Δοβρά Ημαθίας συνετέλεσε καθοριστικά στη σύνταξη πρότασης ενός ολοκληρωμένου προγράμματος για τη διαχείριση των θερμοκηπίων της συγκεκριμένης περιοχής. Η περαιτέρω εφαρμογή αυτού του προγράμματος θα έχει αποτελέσματα τα οποία θα προκύπτουν από τη χρήση της βιομάζας και από το γεγονός ότι ένα τέτοιο πρόγραμμα θα μπορούσε να αποτελέσει μια πιλοτική εφαρμογή για παρόμοια θερμοκηπιακά πάρκα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Χ.,κ.α., 1994, «Θερμοκήπια», Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
2. Hanan, J., 1998, "GREENHOUSES. Advanced Technology for Protected Horticulture", CRC.
3. Kitani, O., Hall, C., 1989, " BIOMASS HANDBOOK", OPA, Amsterdam.
4. "BIOMASS for ENERGY and INDUSTRY", 4th E.C.Conference, Elsevier, France, 1987.
5. "Energy & Biomass Engineering", Handbook of Agricultural Engineering, Volume V, CIGR, 1999

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΥΟ ΝΕΩΝ ΦΩΤΟΕΚΛΕΚΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ

Χ. Παπαϊωάννου, D. G. Obeid, Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία, Μαγνησία, chpapa@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε τρία όμοια θερμοκήπια, καλλιεργήθηκε τομάτα σε ανοικτό υδροπονικό σύστημα με υπόστρωμα περλίτη. Ο μάρτυρας καλύφθηκε με κοινό πλαστικό φύλλο ενώ τα άλλα δύο θερμοκήπια με φωτοεκλεκτικά υλικά απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας. Κατά τη διάρκεια του 2002 μετρήθηκαν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία, η υγρασία μέσα και έξω από τα θερμοκήπια και η ανάπτυξη της καλλιέργειας η οποία βρέθηκε ότι επηρεάσθηκε ελαφρά με τη μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, υλικά κάλυψης , φωτοεκλεκτικά υλικά, τομάτα.

EFFECT OF TWO NEW GREENHOUSE COVERING MATERIALS ON THE GREENHOUSE MICROCLIMATE AND TOMATO CROP

X. Papaioannou, D. G. Obeid, N. Katsoulas, C. Kittas
University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Agricultural Environment, Fytokou St., N. Ionia, GR-38446, Magnisia, Greece, chpapa@uth.gr

ABSTRACT

A tomato soilless crop was cultivated in three similar arch shaped greenhouses. A common plastic film covered one of the greenhouses, while photoselective materials of higher absorption in ultraviolet radiation covered the other two greenhouses. Measurements of solar radiation, temperature and humidity inside and outside the greenhouses, as well as, the growth rate of the tomato crop were taken out during spring and summer period of 2002. The results showed that the tomato growth rate was higher under the photoselective materials.

Keywords: greenhouse, covering materials, UV-absorbing, tomato.

1. **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι προσπάθειες για περαιτέρω βελτίωση των θερμοκηπίων και των συνθηκών υπό κάλυψη οδήγησαν τα τελευταία χρόνια στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών στα θερμοκήπια όπως τα νέα υλικά κάλυψης. Τα πλαστικά τρίτης γενεάς όπως αποκαλούνται, αφορούν σε μεγάλο βαθμό τα φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης. Οι κυριότερες τροποποιήσεις που εφαρμόζονται σήμερα στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο στοχεύουν: α) στην αύξηση της περατότητας στην περιοχή του φάσματος μεταξύ 400-700 nm (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία PAR) και στη μείωση της υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας. Ο έλεγχος της ακτινοβολίας στην περιοχή της PAR στοχεύει στον έλεγχο της παραγωγής, ενώ στην περιοχή της UV, στον έλεγχο των εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών.

Τα απορροφητικά υλικά της UV-B (290-315 nm) και UV-A (315- 380 nm) ακτινοβολίας διαδόθηκαν τελευταία στο Ισραήλ ύστερα από τη διαπίστωση ότι η χρήση τους προκαλεί μείωση των εντόμων σε θερμοκήπια καλυμμένα με τέτοια υλικά.

Έτσι, πολλοί ερευνητές αναφέρουν ότι τα UV-απορροφητικά υλικά έχουν θετική επίδραση στη μείωση των προσβολών των καλλιεργειών από έντομα [1, 2, 3], ενώ επιπλέον σημειώνουν ότι υπό συνθήκες μειωμένης UV ακτινοβολίας παρουσιάζεται μείωση των ιώσεων των καλλιεργειών [2, 3].

Επιπλέον, σε θερμοκήπια που χρησιμοποιούν υλικά κάλυψης απορροφητικά της UV ακτινοβολίας, έχει παρατηρηθεί ότι επιτυγχάνεται μείωση των σπορίων και των προσβολών του μύκητα *Botrytis cinerea* [4, 5]. Άλλοι ερευνητές αναφέρουν ότι για το χαρακτηρισμό της επίδρασης τέτοιων υλικών στην καλλιέργεια είναι απαραίτητη η χρήση παραμέτρων που έχουν σχέση με τη φυσιολογία και τη φυτοπροστασία των καλλιεργειών [6].

Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι με τη χρήση τέτοιων υλικών σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια τριανταφυλλιάς επιτεύχθηκε μείωση του μαυρίσματος των πετάλων των τριαντάφυλλων, μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, βελτίωση της ποιότητας και παραγωγή ευθυτενέστερων βλαστών [7, 8]. Παράλληλα, άλλοι ερευνητές [9, 10, 11, 12, 13] μελέτησαν την επίδραση της UV ακτινοβολίας στην ανάπτυξη και φωτομορφογένεση διαφόρων φυτών. Παρόλα αυτά και παρά την ολοένα και μεγαλύτερη χρήση των UV-απορροφητικών υλικών για την κάλυψη των θερμοκηπίων, δεν υπάρχουν ακόμη επαρκή στοιχεία σχετικά με την επίδραση των υλικών αυτών στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της μείωσης της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο UV-ακτινοβολίας, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη καλλιέργειας τομάτας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 3 υλικά κάλυψης με διαφορετική διαπερατότητα στην UV-ακτινοβολία ήτοι διαπερατότητα: α) 5% (κοινό πλαστικό), β) 3% και γ) 0%.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα έγιναν κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού του 2002, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε τρία όμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια έκτασης 160 m^2 το καθένα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θερμοκηπίων ήταν: μήκος 20 m, πλάτος 8 m, ύψος ορθοστάτη 2.9 m, ύψος κορφιά 4.1 m. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό. Το ένα από τα τρία θερμοκήπια χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας και καλύφθηκε με κοινό πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου, με διαπερατότητα στην UV ακτινοβολία 5% (*θερμοκήπιο* $UV_{5\%}$). Τα άλλα δύο θερμοκήπια καλύφθηκαν με πλαστικά φύλλα απορροφητικά της UV ακτινοβολίας με διαπερατότητα στην UV ακτινοβολία 3% (*θερμοκήπιο* $UV_{3\%}$) και 0% (*θερμοκήπιο* $UV_{0\%}$) Το πάχος των φύλλων ήταν 0.18 mm της βιομηχανίας «Πλαστικά Κρήτης».

Η θέρμανση των θερμοκηπίων γινόταν με αερόθερμα (θερμοκρασία θερμοστάτη 16ºC κατά τη διάρκεια της νύχτας και 19ºC κατά τη διάρκεια της ημέρας). Ο αερισμός των θερμοκηπίων γινόταν με τη βοήθεια παραθύρων τοποθετημένων στα πλάγια και την οροφή του θερμοκηπίου τα οποία άνοιγαν αυτόματα όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 23ºC.

Στο θερμοκήπιο υπήρχε εγκατεστημένη, από το Φεβρουάριο του 2002, υδροπονική καλλιέργεια τομάτας (cv. Belladonna) σε υπόστρωμα περλίτη. Η καλλιέργεια είχε εγκατασταθεί σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0.33 m επί της γραμμής και 0.75 m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, με πυκνότητα 2.4 φυτά/m^2. Η άρδευση και λίπανση της καλλιέργειας γινόταν αυτόματα με σύστημα ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το κλάδεμα και η διαμόρφωση της καλλιέργειας γινόταν σύμφωνα με την τεχνική που ακολουθείται από τους παραγωγούς. Για την υποβοήθηση της γονιμοποίησης των ανθέων έγινε εισαγωγή, με την έναρξη εμφάνισης των ανθέων, του *Bombus terrestris* (L.), (Hymenoptera: Apidae) σε μορφή αποικίας μέσα σε ειδική κυψέλη, μία για κάθε θερμοκήπιο.

2.2 Οι μετρήσεις

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν:

- Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία του ξηρού και υγρού αέρα (από τις τιμές των οποίων υπολογιζόταν η σχετική υγρασία), η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η UV-A (315- 380 nm) και η UV-B (290-315 nm) ακτινοβολία.
- Μέσα στα θερμοκήπια: η θερμοκρασία του ξηρού και υγρού αέρα (από τις τιμές των οποίων υπολογιζόταν η σχετική υγρασία), η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η UV-A και η UV-B ακτινοβολία.

Επιπλέον, κάθε εβδομάδα, από συνολικό αριθμό 25 φυτών (επιλεγμένων τυχαία) ανά θερμοκήπιο, καταγραφόταν το ύψος των φυτών, ο αριθμός των κόμβων, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, η φυλλική επιφάνεια καθώς

επίσης και το βάρος της ξηρής ουσίας των βλαστών, των φύλλων και των καρπών. Παράλληλα, γινόταν καταγραφή του αριθμού των ανθέων που εξελίσσονταν σε καρπούς σε σύνολο 15 φυτών (επιλεγμένων τυχαία) ανά θερμοκήπιο.

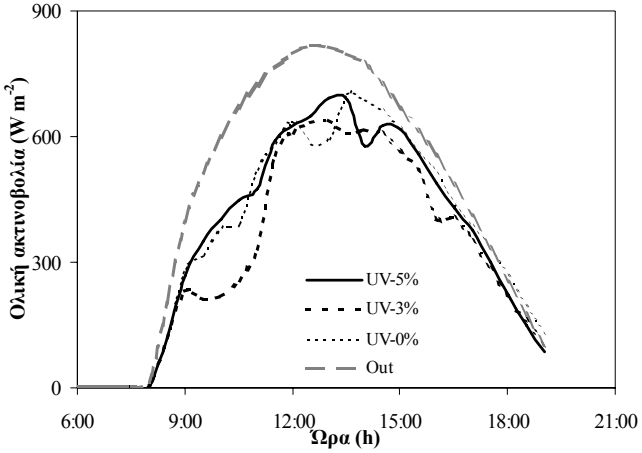
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι μετρήσεις που έγιναν κατά το διάστημα της άνοιξης και του καλοκαιριού του 2002 επέτρεψαν τη μελέτη και το χαρακτηρισμό των τριών θερμοκηπίων από πλευράς συνθηκών ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς επίσης και τη μελέτη της επίδρασης της UV ακτινοβολίας στην ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας τομάτας.

3.1 Επίδραση στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια αφορούν μία ηλιόλουστη, χαρακτηριστική ημέρα της περιόδου (2 Μαΐου 2002).

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της τιμής της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια.

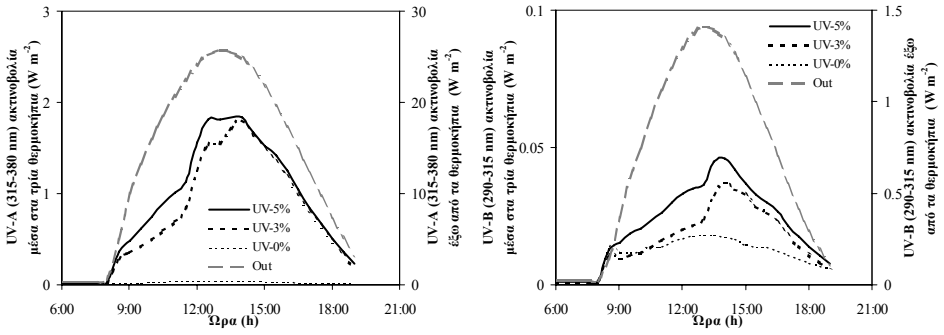


Σχήμα 1. Ολική ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια.

Φαίνεται ότι τα επίπεδα της ολικής ακτινοβολίας ήταν παρόμοια και στα τρία θερμοκήπια, με μικρές διαφορές που οφείλονταν στην περιοδική σκίαση του αισθητήρα μέτρησης της ακτινοβολίας (πυρανόμετρο) από το σκελετό του θερμοκηπίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μέγιστες τιμές της ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο την περίοδο αυτή άγγιζαν τα 700 W m^{-2}.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της α) UV-A και β) UV-B ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια. Μπορούμε να δούμε ότι τα επίπεδα της UV-A ακτινοβολίας ήταν παρόμοια στα θερμοκήπια με 5% και 3% διαπερατότητα, ενώ φαίνεται ότι η

τιμή της UV-A ακτινοβολίας ήταν κοντά στο 0 στο θερμοκήπιο με 0% διαπερατότητα.



(α) (β)

Σχήμα 2. (α) UV-A και (β) UV-B ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ακτινοβολίας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια επέτρεψαν τον υπολογισμό της πραγματικής διαπερατότητας των θερμοκηπίων στην ολική, τη UV-A και τη UV-B ακτινοβολία. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η μέση τιμή της διαπερατότητας των θερμοκηπίων στην ολική και τις UV ακτινοβολίες κατά την περίοδο των μετρήσεων. Οι τιμές υπολογίστηκαν για το διάστημα από 08:00 έως 19:00.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές της διαπερατότητας των τριών θερμοκηπίων στην ολική, τη UV-A και UV-B ακτινοβολία.

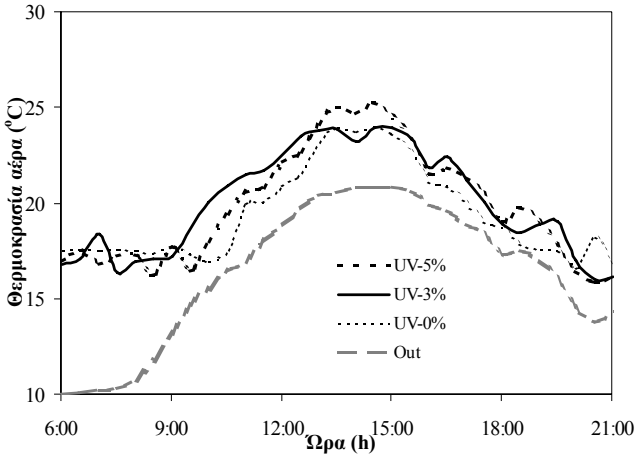
	Ολική ακτινοβολία %	UV-A %	UV-B %
Θερμοκήπιο $UV_{5\%}$	78.0	6.8	2.9
Θερμοκήπιο $UV_{3\%}$	78.0	5.9	2.0
Θερμοκήπιο $UV_{0\%}$	78.0	0.6	1.5

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της τιμής της θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια. Φαίνεται ότι η τιμή της θερμοκρασίας του αέρα δεν επηρεάσθηκε από τον τύπο του υλικού κάλυψης και ότι η θερμοκρασία του αέρα βρίσκονταν σε παρόμοια επίπεδα και στα τρία θερμοκήπια. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας του αέρα των τριών θερμοκηπίων (κατά το διάστημα 08:00 έως 19:00) ήταν 20.9ºC, ενώ η μέση τιμή της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα ήταν 18.1ºC Η υγρασία του αέρα των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της ημέρας κυμαίνονταν σε παρόμοια επίπεδα (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).

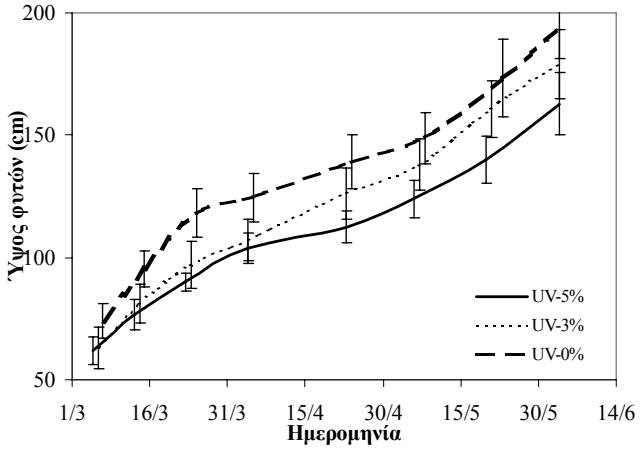
3.2 Επίδραση στην καλλιέργεια

Η πορεία της τιμής του συνολικού ύψους των φυτών παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Φαίνεται ότι υπάρχει μια θετική επίδραση της μείωσης της

εισερχόμενης UV ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών. Παρατηρήθηκε ότι η μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας οδήγησε τόσο σε αύξηση του μήκους των μεσογονατίων διαστημάτων όσο και σε αύξηση του αριθμού των κόμβων των φυτών του $UV_{0\%}$ θερμοκηπίου.



Σχήμα 3. Θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια.



Σχήμα 4. Ύψος φυτών τομάτας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου στα τρία θερμοκήπια.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συνολική παραγόμενη ξηρή ουσία των φυτών μεταξύ των τριών θερμοκηπίων. Παρόλα αυτά και παρά το γεγονός ότι και η παραγόμενη από τους καρπούς ξηρή ουσία, δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά στα τρία θερμοκήπια, η φυλλική επιφάνεια και κατά συνέπεια και η παραγόμενη ξηρή ουσία ήταν μεγαλύτερη στα $UV_{3\%}$ και $UV_{0\%}$ θερμοκήπια από ότι στο $UV_{5\%}$ θερμοκήπιο (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Μέσες τιμές της συνολικής ξηρής ουσίας που παράχθηκε από τους καρπούς και τα φύλλα των φυτών τομάτας στα τρία θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

	Ξηρή ουσία καρπών $kg\ m^{-2}$	Ξηρή ουσία φύλλων $kg\ m^{-2}$
Θερμοκήπιο $UV_{5\%}$	1.69	0.44
Θερμοκήπιο $UV_{3\%}$	1.63	0.59
Θερμοκήπιο $UV_{0\%}$	1.66	0.58

Επανάληψη των μετρήσεων και περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων, αναμένεται να βοηθήσει στη λεπτομερέστερη μελέτη της επίδρασης της UV ακτινοβολίας στην παραγωγή, στο ύψος των φυτών, στον αριθμό και το μήκος των μεσογονατίων, στη φυλλική επιφάνεια, στην κατανομή της ξηράς ουσίας σε βλαστούς, καρπούς, φύλλα κ.α.

Τέλος, η χρησιμοποίηση διαφορετικού τύπου πλαστικού κάλυψης δεν επηρέασε το ποσοστό γονιμοποίησης που βρέθηκε 86%, 87% και 85% στο $UV_{5\%}$, στο $UV_{3\%}$ και στο $UV_{0\%}$ θερμοκήπιο, αντίστοιχα. Αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών [3], οι οποίοι αναφέρουν ότι η κίνηση των βομβύνων δεν επηρεάζεται από τη μείωση της UV ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η επίδραση τριών νέων, απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας, υλικών κάλυψης θερμοκηπίων, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και την ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι:

- η διαφορετική διαπερατότητα (5%, 3% και 0%) των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας δεν επηρέασε σημαντικά τη διαπερατότητα των θερμοκηπίων στην ολική ακτινοβολία αφού η ακτινοβολία ήταν σε παρόμοια επίπεδα και στα τρία θερμοκήπια.
- Η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα των θερμοκηπίων δεν επηρεάσθηκαν στατιστικώς σημαντικά από τον τύπο του υλικού κάλυψης.
- Παρά το γεγονός ότι η μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο προκάλεσε αύξηση του ύψους των φυτών και της συνολικά παραγόμενης ξηρής ουσίας, οι διαφορές μεταξύ των μεγεθών αυτών στα τρία θερμοκήπια δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές.
- Παρόλα αυτά φάνηκε ότι η μείωση της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο υπεριώδους ακτινοβολίας προκάλεσε αύξηση της φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας.
- Τέλος, η μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο δεν επηρέασε την κίνηση των βομβύνων, καθώς το ποσοστό

γονιμοποίησης των ανθέων βρέθηκε να έχει παρόμοιες τιμές και στα τρία θερμοκήπια.

Περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων και επανάληψη των μετρήσεων για μία ακόμη τουλάχιστον καλλιεργητική περίοδο, αναμένεται να βοηθήσουν στην καλύτερη μελέτη της επίδρασης της υπεριώδους ακτινοβολίας στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Halevy, A., 1997. Is there an ideal cover for protected cultivation *Proc. of Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Tel Aviv, Israel- March 1997. 3-7
2. Antigus, Y., Lapidot, M., Mor, N., Masika, Y., Cohen, S., 1997. The use of UV-absorbing plastic sheets to protect crops against insects and spread of virus diseases. *Proc. of Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Tel Aviv, Israel- March 1997, 23-33.
3. Secker-Esquira, I., 2000. Effect of UV absorbing plastic covers on bumblebees in tomato greenhouses. *Proc. of 15th Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Pennsylvania, USA - September 2000, 150.
4. Reuveni, R., Raviv, M., 1997. Manipulation of light for the management of foliar pathogens of greenhouse crops. The story of the establishment of a new discipline *Proc. of Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Tel Aviv, Israel- March 1997, 269-281.
5. Steinberg, I., 1997. The effect of ultraviolet-absorbing plastic sheets on pollination of greenhouse tomatoes by bumblebees. *Proc. of Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Tel Aviv, Israel- March 1997.
6. Kittas, C., Baille, A., 1998. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials. Evaluation of specific parameters related to plant response. *J. Agr. Eng. Res.* 71, 193-202.
7. Glaser, A., Daponte, T., Krokel, F., 2000. Behavior of Photo-selective greenhouse films in world-wide tests on different crop. *Proc. of 15th Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Pennsylvania, USA - September 2000, 101-109.
8. Jafrin, A., 2002. Rose blackening under various types of greenhouse covers. *Plasticulture*. 121. 12-21.
9. Bertram, L., Lecrari, B., 1996. The use of UV radiation to control the architecture of *Salvia splendens* plants. II Relationships between PAR levels and UV radiation in the photoregulation of stem elongation. *Photochem. Photobiol.* 64. 131-136.
10. Ballare, C. L., Barnes, P. W., Flint, D. S., 1995. Inhibition of hypocotyl elongation by ultraviolet-B radiation in de-etiolating tomato seedlings. I. The photoreceptor. *Physiol. Plant*. 93. 584-592.
11. Del Corso, G., Lercari, B., 1997. Use of UV radiation for control of height and conditioning of tomato transplants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scient. Hort.* 71. 27-34.
12. Bertram, L., Lercari, B., 2002. Time-dependent effectiveness of UV-treatment on the control of the elongation growth of tomato transplants. *Acta Hort.*. 580. 157-162.
13. Lercari, B., Bertram, L., Nieri, A., Bigonciari, M., 2002. Use of UV radiation for control of height and conditioning of greenhouse transplants. *Act Hort.* 580. 113-116.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΣΤΗ UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΕΝΤΟΜΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ.

Α. Βατσανίδου, [1], Ι.Τ. Μαργαριτόπουλος[2], Χ. Παπαϊωάννου[1], Ι.Α. Τσιτσιπής[2] και Κ. Κίττας[1]

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας , Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,[1] Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, [2]Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας, .Οδός Φυτόκου, 384 46, Ν. Ιωνία Μαγνησίας,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε τρία όμοια θερμοκήπια με υδροπονική καλλιέργεια τομάτας στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο Μαγνησίας, μελετήθηκε η επίδραση πλαστικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων, με διαφορετική διαπερατότητα (7%, 3% και 0%) στην υπεριώδη ακτινοβολία, στη δραστηριότητα επιζήμιων εντόμων κατά το έτος 2002. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων που απορροφούν πλήρως την UV ακτινοβολία αποτρέπουν την είσοδο των θριπών και σε μικρότερο βαθμό των αφίδων στο θερμοκήπιο. Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμος επιπλέον πειραματισμός για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, υλικά κάλυψης, UV ακτινοβολία, αφίδες, θρίπες

EFFECTS OF UV-ABSORBING PLASTIC FILMS ON INSECT BEHAVIOR IN GREENHOUSE TOMATO CROPS

A. Vatsanidou, [1], J.T. Margaritopoulos[2], C. Papaioanou[1], J.A. Tsitsipis[2] and C. Kittas[1]

University of Thessaly, Department of Crop Production and Agricultural Environment, [1]Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, 2Laboratory of Entomology and Agricultural Zoology, Fytokou Str., 384 46, N. Ionia, Magnesia

ABSTRACT

The effects of different UV-absorbing plastic films on aphid and thrip populations were evaluated in three greenhouses with tomato crops at Velestino, central eastern Greece during 2002. The results revealed that the films absorbing totally the UV radiation reduced the number of thrips and at a less extent of aphids invading into the greenhouse. It is worth mentioning, however, that additional experimentation both in greenhouse and in laboratory is needed for a better understanding of this phenomenon.

Keywords: greehouse, covering materials, UV-absodbing, aphids, thrips

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χημική καταπολέμηση των εντόμων αποτέλεσε για πολλά χρόνια την κύρια μέθοδο αντιμετώπισης των εντόμων εχθρών των καλλιεργειών. Ωστόσο, η συχνή και συνεχής εφαρμογή εντομοκτόνων οδήγησε σε ανάπτυξη ανθεκτικότητας των εντόμων και ταυτόχρονα επιβάρυνε το περιβάλλον με χημικές τοξικές ουσίες [1]. Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Εχθρών (Ο.Δ.Ε.) αποτελεί σήμερα την καλύτερη εναλλακτική λύση για τον έλεγχο των εντόμων, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που προσβάλουν θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η Ο.Δ.Ε περιλαμβάνει συνδυασμό πολλών μεθόδων αντιμετώπισης, όπως βιολογικών, καλλιεργητικών, φυσικών και χρήση εκλεκτικών εντομοκτόνων για τον περιορισμό των πληθυσμών των επιζήμιων εντόμων σε επίπεδα κατώτερα της οικονομικής ζημίας [2].

Την τελευταία δεκαετία υιοθετήθηκε η χρήση των διχτύων εντομοστεγανότητας στα ανοίγματα αερισμού των θερμοκηπίων για την αποτροπή της εισόδου των εντόμων στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες [3]. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς όπως είναι η τροποποίηση του μικροκλίματος, καθώς ο περιορισμός των ανανεώσεων του αέρα αυξάνει τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου [4]. Τα τελευταία έτη έχει αναπτυχθεί μία νέα φυσική μέθοδος που αφορά στη χρήση φωτοεκλεκτικών πλαστικών κάλυψης (UV filters) θερμοκηπίων, που απορροφούν όλη ή μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, για την παρεμπόδιση εισόδου εντομολογικών εχθρών στα θερμοκήπια [5, 6, 7].

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση της επίδρασης των πλαστικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων, απορροφητικών στο υπεριώδες φως, στους πληθυσμούς των θριπών και των αφίδων σε θερμοκηπιακή υδροπονική καλλιέργεια τομάτας, στις κλιματικές συνθήκες της Κεντρικής Ελλάδας και συγκεκριμένα του Νομού Μαγνησίας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο Μαγνησίας μελετήθηκε σε θερμοκηπιακή υδροπονική καλλιέργεια τομάτας της ποικιλίας BELLADONA η επίδραση πλαστικών κάλυψης θερμοκηπίων που απορροφούν την UV ακτινοβολία (<400nm) στη δραστηριότητα επιζήμιων εντόμων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο Μαρτίου-Ιουνίου 2002 σε τρία θερμοκήπια τύπου απλού τροποποιημένου τοξωτού με διαστάσεις 20x8x4m και με δύο πλαϊνά ανοίγματα διαστάσεων 0,90x15m. Τα τρία θερμοκήπια ήταν καλυμμένα ως ακολούθως: το πρώτο με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (μάρτυρας, UV_7), το δεύτερο και τρίτο με φύλλα διαπερατότητας στην UV ακτινοβολία 3% (UV_3) και 0% (UV_0), αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκαν 56 κίτρινες και μπλε κολλητικές παγίδες διαστάσεων 25x10cm της εταιρείας HORIVER® για την παρακολούθηση των

θριπών. Οι πληθυσμοί των αφίδων καταγράφηκαν με τη χρήση 17 κίτρινων παγίδων τύπου Moericke. Συγκεκριμένα, στο εσωτερικό κάθε θερμοκηπίου τοποθετήθηκαν έξι κίτρινες και έξι μπλε κολλητικές παγίδες, εναλλάξ, σε τρεις σειρές των τεσσάρων παγίδων και τρεις παγίδες Moericke στον μεσαίο διάδρομο. Εξωτερικά των θερμοκηπίων τοποθετήθηκαν δύο κίτρινες και δύο μπλε κολλητικές παγίδες σε ένα μέτρο απόσταση από τα παράθυρα και στο μέσο του ύψους των ανοιγμάτων των παραθύρων και από δύο παγίδες Moericke σε τρία μέτρα απόσταση από τα πλαϊνά ανοίγματα των θερμοκηπίων και τέσσερα μέτρα απόσταση μεταξύ τους. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες φυτών για την καταγραφή θριπών και αφίδων. Επιλέχθηκαν τυχαία έξι φυτά σε κάθε γραμμή φύτευσης. Η φύτευση των φυτών έγινε σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0,33m επί της γραμμής και 0,75m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς. Ο συνολικός αριθμός των φυτών στο κάθε θερμοκήπιο ήταν 384 με πυκνότητα φύτευσης 2,4 φυτά/m^2.

Η παρακολούθηση του θρίπα και των αφίδων με παγίδες άρχισε στις 21 Μαρτίου 2002 ($12^{η}$ εβδομάδα του έτους) και συνεχίστηκε ως τις 13 Ιουνίου 2002 ($24^{η}$ εβδομάδα του έτους), ενώ η καταγραφή των εντόμων στα φυτά διάρκεσε από τις 8 Απριλίου 2002 ($15^{η}$ εβδομάδα του έτους) ως τις 3 Ιουνίου 2002 ($23^{η}$ εβδομάδα του έτους). Για την υποβοήθηση της γονιμοποίησης των ανθέων έγινε εισαγωγή του *Bombus terestris* (L.), (Hymenoptera: Apidae) σε μορφή αποικίας μέσα σε ειδική κυψέλη, μία και για τα τρία θερμοκήπια. Η εγκατάστασή της έγινε με την έναρξη εμφάνισης των ανθέων στις 22 Φεβρουαρίου 2002. Στο διάστημα από τις 8 Μαρτίου 2002 ως και τις 12 Μαίου 2002, γινόταν καταγραφή του αριθμού των ανθέων που εξελίσσονταν σε καρπούς σε σύνολο 15 φυτών ανά θερμοκήπιο.

Η ανάλυση των δεδομένων των συλλήψεων θριπών και αφίδων στις παγίδες και των δειγματοληψιών στα φυτά έγινε με τη χρήση της Ανάλυσης Παραλλακτικότητας με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS. Η σύγκριση των ποσοστών έγινε με το X^2 κριτήριο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παραλλακτικότητας έδειξαν σημαντικές διαφορές στις συλλήψεις των θριπών στις κολλητικές παγίδες μεταξύ των διαφόρων μεταχειρίσεων. Σημαντικά μικρότερος αριθμός θριπών συλλήφθηκε στις παγίδες που τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο με πλαστικό που απορροφά εξολοκλήρου την UV ακτινοβολία (Πίνακας 1). Συνολικά παρατηρήθηκε μεγαλύτερος αριθμός θριπών στις κίτρινες (1167,6 ±226,5) από τις μπλε παγίδες(884,7 ±154,4). Ωστόσο, οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές (df=1,44, F=0,21, P<0,65). Επίσης, η αλληλεπίδραση των παραγόντων «μεταχείριση» και «τύπος παγίδας» δεν ήταν στατιστικώς σημαντική (df=3,44, F=0,33, P=0,804). Οι συλλήψεις στις αφίδες ήταν σημαντικά μεγαλύτερες στον εξωτερικό χώρο από ότι στο εσωτερικό των τριών θερμοκηπίων (Πίνακας 1). Ωστόσο, δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκηπίων αν και ο μικρότερος αριθμός συλληφθέντων αφίδων

παρατηρήθηκε στο θερμοκήπιο με το πλαστικό κάλυψης που αποτρέπει την διέλευση της UV ακτινοβολίας. Στην περίπτωση που αφαιρεθούν από την ανάλυση οι συλλήψεις των αφίδων στο εξωτερικό χώρο αναδεικνύονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (P<0,05). Στο Σχήμα 1 φαίνεται η πορεία που ακολούθησαν οι μετρήσεις των θριπών και των αφίδων αντίστοιχα εσωτερικά και εξωτερικά των θερμοκηπίων. Όσο αναφορά το θρίπα υπάρχει μία σταδιακή αύξηση των συλλήψεων στις παγίδες και το μέγιστο των συλλήψεων τόσο στον εξωτερικό χώρο όσο και στο εσωτερικό των θερμοκηπίων παρατηρείται τις τελευταίες εβδομάδες των παρατηρήσεων (μέσα Ιουνίου). Το μέγιστο των συλλήψεων στις αφίδες παρατηρήθηκε την $20^{η}$–$23^{η}$ εβδομάδα του έτους, ανάλογα με τη μεταχείριση. Στο θερμοκήπιο με πλαστικό κάλυψης με διαπερατότητα 3% στη UV ακτινοβολία παρουσιάσθηκε και δεύτερο μέγιστο την $17^{η}$ εβδομάδα του έτους.

Ο αριθμός των ατόμων του θρίπα που παρατηρήθηκαν στα φυτά δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκηπίων (P<0,184) (Πίνακας 2). Επίσης, ο αριθμός αφίδων που παρατηρήθηκε στα φυτά στο θερμοκήπιο με το πλαστικό κάλυψης που αποτρέπει την διέλευση της UV ακτινοβολίας ήταν σημαντικά μικρότερος από ότι στα θερμοκήπια με πλαστικά κάλυψης που επιτρέπουν τη διέλευση 3% ή 7% της ακτινοβολίας (Πίνακας 2). Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται ο αριθμός των θριπών και των αφίδων αντίστοιχα που παρατηρήθηκαν στα φυτά. Γενικά σε όλα τα θερμοκήπια ο αριθμός των θριπών και των αφίδων στα φυτά ακολούθησε την εξέλιξη των εντόμων που καταγράφηκε με τη χρήση παγίδων.

Πίνακας 1. Μέσος αριθμός (±SE) συλληφθέντων θριπών και αφίδων σε χρωματικές κολλητικές παγίδες και παγίδες τύπου Moericke, αντίστοιχα στο εξωτερικό και εσωτερικό χώρο τριών θερμοκηπίων καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (Μάρτυρας-UV_7) και φύλλα διαπερατότητας 3% (UV_3) και 0% στην UV ακτινοβολία (UV_0).

Μεταχείριση	N	Μέσος αριθμός θριπών	N	Μέσος αριθμός αφίδων
Εξωτερικός χώρος	16	1568,5 (±119,5) a[1]	8	415,9 (±21,9) a[2]
Μάρτυρας-UV_7	12	1033,8 (±327,6) b	3	25,3 (± 2,1) b
UV_3	12	967,9 (±406,5) bc	3	53,3 (±14,5) b
UV_0	12	353,8 (± 49,7) c	3	6,6 (± 1,7) b

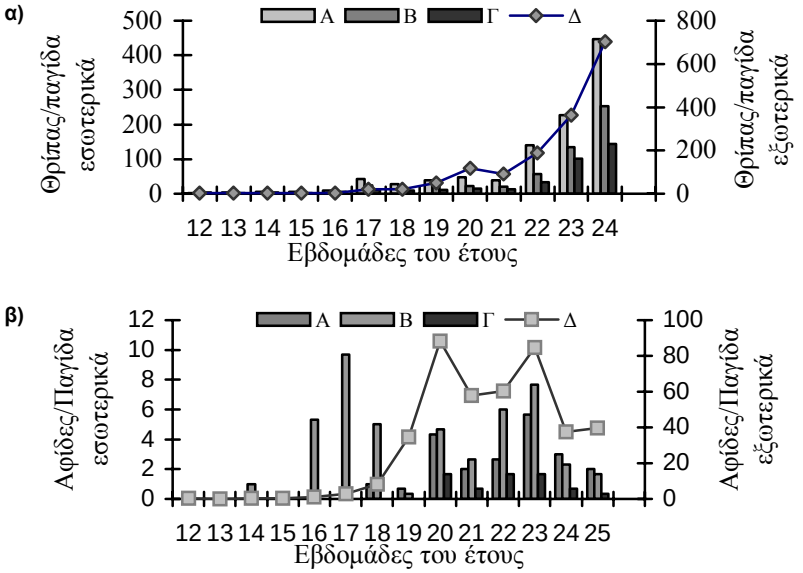
N=αριθμός παγίδων. Οι αριθμοί που ακολουθούνται από διαφορετικό λατινικό γράμμα διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με το κριτήριο της Ε.Σ.Δ.. [1]P<0,001, df=3,44, F=13,8. [2]P<0,001, df=3,13, F=97,9.

Τέλος, η χρησιμοποίηση διαφορετικών τύπων πλαστικού κάλυψης δεν επηρέασε την γονιμοποίηση από τους βομβύνους καθώς το ποσοστό γονιμοποίησης που βρέθηκε στο μάρτυρα (UV_7), στο UV_3 και στο UV_0 ήταν 86%, 87% και 85% αντίστοιχα τα οποία όμως δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά (P<0,93, X^2=0,15).

Πίνακας 2. Μέσος αριθμός (±SE) θριπών και αφίδων που καταγράφηκαν σε φυτά τομάτα σε θερμοκήπια καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (Μάρτυρας-UV_7) και φύλλα διαπερατότητας 3% (UV_3) και 0% στην UV ακτινοβολία (UV_0).

Μεταχείριση	N	Μέσος αριθμός θριπών	N	Μέσος αριθμός αφίδων
Μάρτυρας-UV_7	48	40,3 (±10,1) a[1]	48	5,4 (±1,2) a[2]
UV_3	48	16,3 (± 3,7) a	48	5,2 (±1,4) a
UV_0	48	22,0 (± 6,4) a	48	2,1 (±0,6) b

N=αριθμός φυτών. Οι αριθμοί που ακολουθούνται από το ίδιο λατινικό γράμμα δεν δια φέρουν στατιστικώς σημαντικά με το κριτήριο της Ε.Σ.Δ.. [1]P<0,184, df=2,141, F=1,714. [2]P<0,007, df =2,141 και F=5,119.



Σχήμα 1. Αριθμός συλληφθέντων θριπών σε χρωματικές κολλητικές παγίδες (α) και αφίδων (β) σε παγίδες Moericke σε τρία θερμοκήπια απλού καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (Α), με φύλλα διαπερατότητας 3% (Β) και 0% στην UV ακτινοβολία (Γ) και στο εξωτερικό περιβάλλον πλησίον των θερμοκηπίων (Δ).

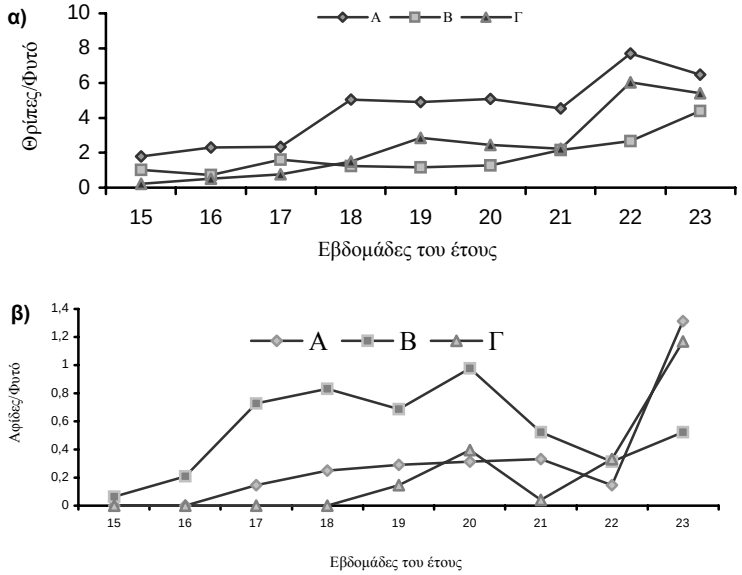
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι τα φωτοεκλεκτικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων επηρεάζουν την δραστηριότητα επιζήμιων εντόμων. Ο αριθμός των συλληφθέντων θριπών σε χρωματικές κολλητικές παγίδες ήταν σημαντικά μικρότερος στο θερμοκήπιο με το πλαστικό που απορροφούσε πλήρως την UV ακτινοβολία σε σχέση με αυτά που επέτρεπαν

την διέλευση ενός ποσοστού της (3% και 7%). Σύμφωνα με τους Matteson et al. [8] υπάρχουν δύο περιοχές του φάσματος στις οποίες παρουσιάζουν μέγιστη απορρόφηση οι σύνθετοι οφθαλμοί των θριπών, η UV (365nm) και η πράσινη-κίτρινη (540nm) ακτινοβολία. Οι θρίπες χρησιμοποιούν την πράσινη-κίτρινη ακτινοβολία για τον προσανατολισμό τους προς τα φυτά από μακριά και έπειτα με τη βοήθεια της ανακλώμενης UV ακτινοβολίας από αυτά βρίσκουν άνθη ή άλλα μέρη του φυτού. Τα φωτοεκλεκτικά φύλλα κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν αποτρέπουν την διέλευση της UV ακτινοβολίας <380nm με συνέπεια οι θρίπες να αντιμετωπίζουν δυσκολία στον εντοπισμό των φυτών. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν με προηγούμενες έρευνες που διεξήχθησαν από τους Costa [6, 7] και Antignus [5] οι οποίοι βρήκαν μικρότερο αριθμό συλληφθέντων θριπών και αφίδων σε θερμοκήπια που ήταν καλυμμένα με πλαστικά που απορροφούσαν μέρος ή όλη την UV ακτινοβολία. Οι παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα φυτά δεν ανέδειξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στον αριθμό των θριπών μεταξύ των τριών θερμοκηπίων πιθανώς γιατί ο μεγάλος αριθμός των παγίδων που χρησιμοποιήθηκε οδήγησε σε μαζική παγίδευσή τους με αποτέλεσμα μικρός αριθμός ενηλίκων να εγκαταστάθηκαν στα φυτά.

Ο αριθμός των συλληφθέντων πτερωτών αφίδων ήταν σημαντικά μεγαλύτερος στον εξωτερικό χώρο των θερμοκηπίων σε σχέση με τον αριθμό που βρέθηκε στο εσωτερικό σε κάθε θερμοκήπιο. Στο θερμοκήπιο με το πλαστικό κάλυψης που αποτρέπει πλήρως τη διέλευση της UV ακτινοβολίας συλλήφθηκε μικρότερος αριθμός πτερωτών αφίδων από ότι στα άλλα δύο, αλλά οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές. Ο αριθμός των παρατηρούμενων αφίδων στα φυτά ήταν σχετικά μικρός σε όλες τις μεταχειρίσεις, που πιθανώς οφείλεται στον μικρό αριθμό θηλυκών πτερωτών που εισήλθε στα θερμοκήπια. Ωστόσο, ο μικρότερος αριθμός αφίδων παρατηρήθηκε στο θερμοκήπιο με πλαστικό κάλυψης που εμποδίζει πλήρως τη διέλευση της UV ακτινοβολίας. Το ανώτερο εξηγείται από το γεγονός ότι στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο εισήλθαν λιγότερα πτερωτά και επομένως ο αρχικός πληθυσμός που εγκαταστάθηκε ήταν μικρότερος.

Η συμπεριφορά των πτερωτών αφίδων κατά την επιλογή ενός ξενιστή χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα στάδια. Όταν οι αφίδες απογειώνονται από τον ξενιστή τους (στάδιο πτήσης, flight mood).ελκύονται από μπλε-υπεριώδη ακτινοβολία του ουρανού. Η πτήση αυτή είναι απαραίτητη για να εισέλθει η αφίδα στην φάση αναζήτησης τροφής (attack mood) και διαρκεί για αρκετό διάστημα μέχρι να καταναλώσει το πλείστο των ενεργειακών της αποθεμάτων. Στη φάση αναζήτησης τροφής αυξάνει η ευαισθησία των αφίδων στις μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίες (κίτρινη, πορτοκαλί, κίτρινη-πράσινη) που αντανακλώνται από το έδαφος και τα φυτά [9, 10]. Επομένως η UV ακτινοβολία δε φαίνεται ότι εμπλέκεται στον εντοπισμό του φυτού-ξενιστή από τις αφίδες. Τίθεται λοιπόν το ερώτημα κατά πόσο τα πλαστικά κάλυψης που αποτρέπουν τη διέλευση της UV ακτινοβολίας μπορούν να παρεμποδίσουν ικανοποιητικά τις αφίδες κατά την επιλογή του ξενιστή.



Σχήμα 2. Αριθμός θριπών (α) και αφίδων (β) σε φυτά τομάτας σε τρία θερμοκήπια καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (Α) και με φύλλα διαπερατότητας 3% (Β) και 0% στην UV ακτινοβολία (Γ).

Σε άλλες εργασίες [5, 7] που εξετάσθηκε η επίδραση των πλαστικών που απορροφούν μέρος της UV ακτινοβολίας σε πληθυσμούς επιζήμιων εντόμων, βρέθηκε ότι υπήρχαν σημαντικές διαφορές στον αριθμό των αφίδων μεταξύ θερμοκηπίων που χρησιμοποιούσαν τα συγκεκριμένα πλαστικά σε σχέση με τα εμπορικά πλαστικά. Ωστόσο, δεν εξηγείται από τους ανωτέρω συγγραφείς πώς τα συγκεκριμένα πλαστικά επιδρούν στην όραση των αφίδων ή αν εμπλέκεται κάποιος άλλος παράγοντας. Κρίνεται επομένως απαραίτητη η επανάληψη του πειράματος, αλλά και η μελέτη της επίδρασης των πλαστικών που απορροφούν την UV ακτινοβολία στη συμπεριφορά των αφίδων σε συνθήκες εργαστηρίου για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

Από τις παρατηρήσεις που έγιναν και αφορούσαν την δραστηριότητα των βομβύνων, βρέθηκε ότι τα πλαστικά που απορροφούν το φάσμα της UV ακτινοβολίας δεν επηρέασαν την επικονίαση. Οι σύνθετοι οφθαλμοί των βομβύνων παρουσιάζουν τρία μέγιστα απορρόφησης, στα 320nm (UV ακτινοβολία), στα 440nm (μπλε) και στα 540nm (πράσινο). Πιθανόν ο τύπος του θερμοκηπίου που επέτρεπε τη διέλευση αφιλτράριστου φωτός από τα ανοίγματα των θερμοκηπίων να βοήθησε τους βομβύνους να εντοπίσουν τους "οδηγούς νέκταρος και γύρης" ακόμα και στο θερμοκήπιο που το πλαστικό κάλυψης απορροφούσε εξολοκλήρου την UV ακτινοβολία. Στη εκδοχή αυτή μπορεί να

συμβάλει το γεγονός ότι η UV ακτινοβολία είναι δραστική ακόμη και σε μικρή ποσότητα ενέργειας σε σχέση με την ακτινοβολία σε άλλα μήκη κύματος [11].

Συμπερασματικά φαίνεται ότι τα απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων επηρεάζουν την είσοδο των θριπών και σε μικρότερο βαθμό των αφίδων σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Ωστόσο για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων κρίνεται σκόπιμη η συνέχιση των πειραματικών εργασιών τόσο στο περιβάλλον θερμοκηπίου όσο και στο εργαστήριο.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Dent, R.D., 1995. Introduction *In* "Integrated Pest Management" (D. Dent, eds.), pp. 1-8. Chapman and Hal.l, London.
2. Baker, J.R., Bethke, J.A. and Shearin. E.A., 1996. Insect Screening. *In* W. Banner and M. Klopmeyer (eds). New Guinea Impatiens.
3. Berlinger, M.J., Lebiush-Mordechi, S. and Rosenfeild, J., 1996. State of the art and the future of IPM in greenhouse vegetables in Israel. IOBC/WPRS Bull. 19, 11-14.
4. Kittas, C., Boulard, T., Bartzanas, Th., Katsoulas, N. and Mermier, M., 2002. Influence of an insect screen on greenhouse ventilation. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1083-1090.
5. Antignus, Y., Mor, N., Ben-Joseph, R., Lapitop, M. and Cohen, S., 1996. UV-absorbing plastic sheets protect crops from insects and from virus diseases vectored by insects. *Environ. Entomol.* 25, 919-924.
6. Costa, H.S. and Robb, K.L., 1999. Effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on flight behavior of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Al.eyrodidae) and *Frankliniella occidental.is* (Thysanoptera: Tripidae). *.J. Econ. Entomol.* 92, 557-562.
7. Costa, H.S., Robb, K.L. and Wilen, C.A., 2002. Fields trial.s measuring the effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on insect populations. *J. Econ. Entomol.* 95, 113-120.
8. Matteson, N., Terry, I., Ascoli, C.A. and Gilbert, C., 1992. Spectral. efficiency of the western flower thrips, *Frankliniella occidenta.is*. *J. Insect Physiol.* 38, 453-459.
9. Moericke, V. (1955) Über die Lebensgewohnheiten der geflügelten Blattläuse (Aphidina) unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens beim Landen. *Z. Angew. Entomol.* 37, 29-91.
10. Kring, J.B., 1967. Al.ighting of aphids on coloured cards in flight champer. *J. Econ. Entomol.* 60, 1207-1210.
11. Seliger, H.H.,Lal.l, A.B. and Biggley, W.H., 1994. Blue through UV polarization sensitivities in insects. Optimizations for the range of atmospheric polarization conditions. *J.Comp.Physiol.* 175, 475-486.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ελέγχεται με πειραματικές μετρήσεις η ικανότητα ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) να προσομοιώνει τη ροή αερισμού σε θερμοκήπιο. Οι πειραματικές μετρήσεις αφορούσαν τις εναλλαγές αέρα του θερμοκηπίου καθώς και τη μέτρηση του μέτρου της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συγκεκριμένος κώδικας προσομοιώνει με ικανοποιητική ακρίβεια το φυσικό αερισμό των θερμοκηπίων. Μετά την επιβεβαίωση του ο κώδικας χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστεί η επίδραση άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.
Λέξεις κλειδιά: Φυσικός αερισμός, αριθμητικό προσομοίωμα, υπολογιστική ρευστοδυναμική.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF GREENHOUSE NATURAL VENTILATION

T. Bartzanas and C. Kittas
University of Thessaly,Department of Agriculture Crop Production and Agricultural Environment, Fytokou St., N. Ionia Magnisias, 38334 Volos

ABSTRACT

The validity of a commercial fluid dynamics code (CFD) to simulate the airflow in a greenhouse was tested against experimental data. Measurements were taken out in a tunnel greenhouse and were concerned the airflow patterns inside the greenhouse and the greenhouse overall ventilation rate. A good agreement was found between simulated and measured values. After its verification the code was used to study the influence of different ventilation openings on airflow inside a tunnel greenhouse.
Keywords: Natural ventilation, numerical model, CFD.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ρόλος του φυσικού αερισμού στη διαμόρφωση του μικροκλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπίων είναι ιδιαίτερα σημαντικός αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις ανταλλαγές θερμότητας και μάζας μεταξύ του εσωτερικού του θερμοκηπίου και του εξωτερικού του περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα σε θερμοκήπια τα οποία δεν χρησιμοποιούν εναλλακτικούς τρόπους εξαερισμού (δυναμικός αερισμός) ο σωστός σχεδιασμός των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού είναι αναγκαίος.

Στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε για μέσες κλιματικές τιμές των διαφόρων μεταβλητών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα αέρα, κ.λ.π) αρκεί ο προσδιορισμός των εναλλαγών αέρα χρησιμοποιώντας είτε τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη [1, 2], είτε τη μέθοδο του ενεργειακού ισοζυγίου [3, 4]. Πρόσφατες έρευνες όμως, έχουν δείξει ότι η υιοθέτηση μέσων τιμών για τον χαρακτηρισμό του θερμοκηπιακού μικροκλίματος δεν είναι σωστή, καθόσον αυτό χαρακτηρίζεται από έντονη ετερογένεια [5, 6].

Η πρόσφατη πρόοδος στη προσομοίωση των ροών χρησιμοποιώντας μεθόδους υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, διευκόλυνε την ανάλυση της κατανομής του θερμοκηπιακού μικροκλίματος σε κλειστά [7] και σε αεριζόμενα θερμοκήπια [8, 9]. Η αριθμητική αυτή προσέγγιση απαιτεί πειραματική επιβεβαίωση πριν την γενίκευση των αποτελεσμάτων της.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν ο έλεγχος, με πειραματικές μετρήσεις, της αξιοπιστίας ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) να προσομοιώνει τον φυσικό αερισμό θερμοκηπίων. Στη συνέχεια το αριθμητικό προσομοίωμα χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της επίδρασης άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικές μετρήσεις

Οι μετρήσεις έγιναν τον Ιούνιο του 2000 σε ένα τροποποιημένο τοξωτό πλαστικό θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οποίου ήταν: μήκος 25m, πλάτος 8m, ύψος κορφιά 4.1m, ύψος ορθοστάτη 2.8m. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με δύο συνεχόμενα πλαϊνά ανοίγματα αερισμού (roll –up type) τα οποία ήταν τοποθετημένα σε απόσταση 0.6m από την επιφάνεια του εδάφους και είχαν μέγιστο άνοιγμα 0.9 m. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν τόσο την καταγραφή των τριών συνιστωσών της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όσο και τον προσδιορισμό των συνολικών εναλλαγών του αέρα.

2.1.1 Μέτρηση των τριών συνιστωσών της ταχύτητας του αέρα.

Οι τρεις συνιστώσες της ταχύτητας του αέρα μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο ηχητικό ανεμόμετρο (R3, research ultrasonic anemometer, Gill R&D). Οι τρεις συνιστώσες (u, v, w) μετρήθηκαν σε 15 διαφορετικά σημεία

σε διάφορα κάθετα επίπεδα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η συνολική διάρκεια της κάθε μέτρησης ήταν 5min ενώ η συχνότητα καταγραφής ήταν 5 Hz. Παράλληλα κάθε δευτερόλεπτο καταγράφονταν και αποθηκεύονταν σε σύστημα καταγραφής δεδομένων (Data Logger, Delta T Devices, UK): η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, η διεύθυνση και η ταχύτητα του, η εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα στο μέσο του θερμοκηπίου και οι θερμοκρασίες των τοιχωμάτων.

2.1.2 Προσδιορισμός των εναλλαγών αέρα

Ο προσδιορισμός των εναλλαγών αέρα του θερμοκηπίου έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωση αερίου δείκτη. Το αέριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το N_2O. Αναλυτική περιγραφή της μεθόδου καθώς και των εξισώσεων που την περιγράφουν μπορεί να βρεθεί στους Boulard and Draoui, 1995, [4].

2.2 Μαθηματικό προσομοίωμα

Η αριθμητική μέθοδος CFD 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 [10] 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 k – ε προσομοίωμα τύρβης [11]. Η καλλιέργεια προσομοιώθηκε ως πορώδες υλικό χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Darcy – Forcheimer [12].

Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα υπολογίστηκε με τρόπο ανάλογο με αυτόν που εφαρμόστηκε και στην πειραματική διαδικασία, χρησιμοποιώντας την εξίσωση της συνέχειας για κάθε κελί του υπολογιστικού πεδίου χωριστά:

$$\frac{dC}{dt}=-\phi F dS \qquad (2)$$

όπου C είναι η συγκέντρωση του αερίου στο κελί, S είναι η επιφάνεια του κάθε κελιού, και F είναι το ολοκλήρωμα της συγκέντρωσης του αερίου. Αρχικά όλα τα κελιά στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θεωρείται ότι έχουν συγκέντρωση ίση με τη μονάδα και όλα τα εξωτερικά έχουν μηδενική συγκέντρωση του αερίου. Αφού εξαχθεί μια λύση του προβλήματος σε σταθερές συνθήκες (steady – state) η λύση μετατρέπεται σε χρονικά μεταβαλλόμενη (unsteady) και ορίζεται ένα χρονικό βήμα (1 sec). Με τον τρόπο αυτό η εξίσωση της συνέχειας λύνεται

ως διαφορική εξίσωση συναρτήσει του χρονικού βήματος που επιλέχτηκε. Η συγκέντρωση του αερίου στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μειώνεται ανάλογα με την «τοπική» τιμή της ταχύτητας του αέρα σε κάθε κελί. Η μέση τιμή της φθίνουσας συγκέντρωσης του αερίου συναρτήσει του χρόνου ακολουθεί μια εκθετική συνάρτηση της μορφής:

$$\overline{C}(t) = \overline{C}(0)e^{-Rt} \qquad (3)$$

όπου R είναι ο ρυθμός με τον οποίο μειώνεται η συγκέντρωση του αερίου και περιγράφει τις εναλλαγές αέρα του θερμοκηπίου.

2.2.1 Οριακές συνθήκες

Τα όρια του υπολογιστικού πεδίου ήταν μεγαλύτερα από τις διαστάσεις του θερμοκηπίου σε κάθε περίπτωση, έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα παρεμπόδισης της ροής. Χρησιμοποιήθηκε ανομοιόμορφο αριθμητικό πλέγμα, με πολλά σημεία συγκεντρωμένα κοντά στα τοιχώματα του θερμοκηπίου όπου και αναμένεται να εμφανιστούν στρόβιλοι. Για την επιβεβαίωση του αριθμητικού προσομοιώματος χρησιμοποιήθηκε ένα τρισδιάστατο προσομοίωμα (καθώς η επικρατούσα ταχύτητα του εξωτερικού αέρα ήταν παράλληλη στα ανοίγματα αερισμού) ενώ οι υπόλοιπες προσομοιώσεις εκτελέστηκαν στις δύο διαστάσεις (ταχύτητα του εξωτερικού αέρα κάθετη στα ανοίγματα αερισμού). Οι πλευρές του θερμοκηπίου θεωρήθηκαν αδιαβατικές ενώ η οροφή και το έδαφος του θερμοκηπίου προσομοιώθηκαν ως επιφάνειες σταθερής θερμοροής. Οι οριακές αυτές συνθήκες (Πίνακας 1) προέρχονται από τον μέσο όρο πειραματικών μετρήσεων για ένα χρονικό διάστημα δύο μηνών (Ιούνιος - Ιούλιος 2000) οι οποίες ελήφθησαν στο πειραματικό θερμοκήπιο. Καθώς οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν σε σταθερές συνθήκες (steady – state) οι τιμές των οριακών συνθηκών προήλθαν από τον μέσο όρο πειραματικών τιμών που αντιστοιχούσαν σε σταθερές εξωτερικές κλιματικές συνθήκες (σταθερή διεύθυνση και ταχύτητα του αέρα και σταθερή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας).

Πίνακας 1. Οριακές συνθήκες.

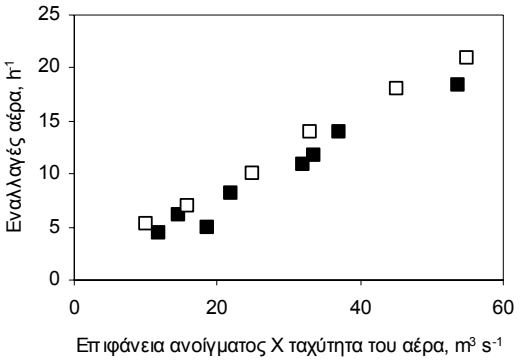
Παράμετρος	Αριθμητική τιμή	Μονάδα
Θερμοκρασία αέρα	27	°C
Ταχύτητα του εξωτερικού αέρα	3	ms^{-1}
Θερμοκρασία οροφής θερμοκηπίου	32	°C
Θερμοκρασία εδάφους του θερμοκηπίου	45	Wm^{-2}
Θερμοκρασία εξωτερικού εδάφους	33	°C
Θερμοκρασία οροφής θερμοκηπίου	32	°C
Διαπερατότητα καλλιέργειας	0.395	
Συντελεστής απώλειας ορμής καλλιέργειας	0.2	

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Πιστοποίηση του αριθμητικού προσομοιώματος.

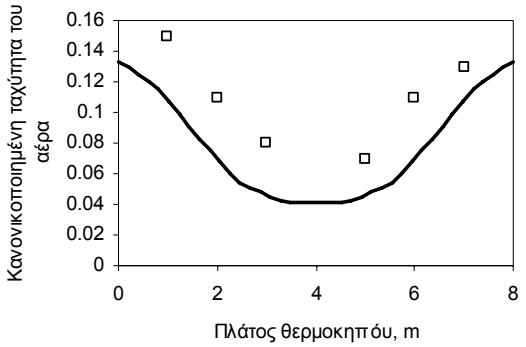
Το Σχήμα 1 παρουσιάζει τις υπολογισμένες και μετρημένες τιμές των εναλλαγών αέρα του θερμοκηπίου. Οι διαφορές μεταξύ υπολογισμένων και μετρημένων τιμών κυμαίνονται μεταξύ 12 – 15% και σε όλες τις περιπτώσεις οι

εναλλαγές αέρα που υπολογίζονται αριθμητικά ήταν μεγαλύτερες. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται σε δύο λόγους: α) οι μετρημένες τιμές δεν συμπεριλαμβάνουν το τυρβώδες μέρος της ταχύτητας του αέρα και β) ενώ το αριθμητικό προσομοίωμα υιοθετεί μια τέλεια ομογενοποίηση του αερίου δείκτη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κάτι τέτοιο είναι αδύνατο να συμβεί στο πείραμα.



Σχήμα 1. Μετρημένες (■) και υπολογισμένες (□) τιμές των εναλλαγών αέρα του θερμοκηπίου.

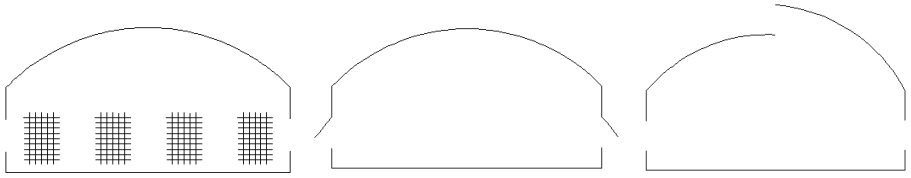
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι μετρημένες και οι υπολογισμένες τιμές της ταχύτητας του αέρα κατά πλάτος του θερμοκηπίου και σε απόσταση 1.1m από το έδαφος του θερμοκηπίου. Τόσο οι υπολογισμένες όσο και οι μετρημένες τιμές της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δείχνουν ότι η ταχύτητα του αέρα έχει υψηλές τιμές κοντά στα ανοίγματα αερισμού ενώ το μέτρο της μειώνεται στο κέντρο του θερμοκηπίου. Στην περίπτωση που ο εξωτερικός αέρα είναι παράλληλος στα ανοίγματα αερισμού, η είσοδος και η έξοδος του αέρα γίνεται ταυτόχρονα και από τα δύο ανοίγματα. Ο εξωτερικός αέρα εισέρχεται στο θερμοκήπιο από το υπήνεμο τμήμα του και εξέρχεται από το προσήνεμο τμήμα αυτού. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο είναι γνωστό ως «φαινόμενο ακραίου τοίχου» (side wall effect), έχει επιβεβαιωθεί και με πειραματικές μετρήσεις [13].



Σχήμα 2. Μετρημένες (—) και υπολογισμένες (□) τιμές της κανονικοποιημένης (U / U_{out}) ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

3.2 Διερεύνηση της επίδρασης άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού.

Μετά την πειραματική του επιβεβαίωση το αριθμητικό προσομοίωμα χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστεί η επίδραση δύο άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Σχηματικά οι δύο νέοι τύποι ανοιγμάτων αερισμού καθώς και ο τύπος ανοιγμάτων που ελέγχθηκε πειραματικά παρουσιάζονται στο σχήμα 3.

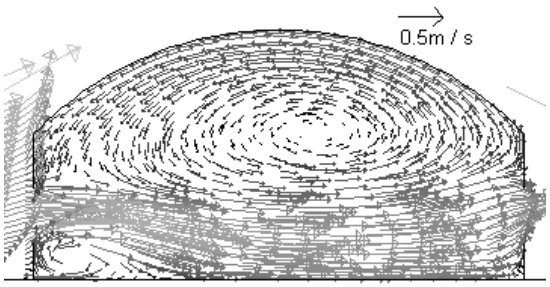


Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση των δύο άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού που μελετήθηκαν. Το πρώτο σχήμα αντιστοιχεί στο θερμοκήπιο που ελέγχθηκε πειραματικά όπου φαίνεται και η θέση της καλλιέργειας.

Στη συνέχεια του κειμένου οι τρεις τύποι ανοιγμάτων αερισμού που φαίνονται στο Σχήμα 3 θα αναφέρονται ως εξής: (α) για την περίπτωση που αντιστοιχεί στον τύπο που ελέγχθηκε πειραματικά, (β) στον τύπο που τα ανοίγματα αερισμού σχηματίζουν γωνία με τον ορθοστάτη κατά το άνοιγμα τους και (γ) για τον συνδυασμό πλευρικών ανοιγμάτων και ανοίγματος οροφής.

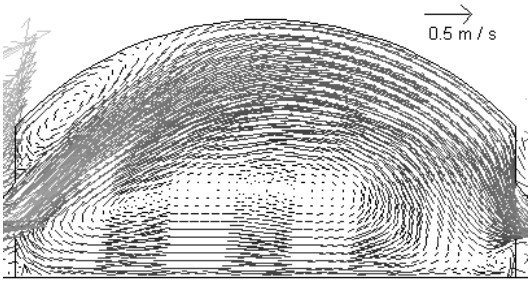
Τα διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την περίπτωση (α) παρουσιάζονται στο Σχήμα 4. Στην περίπτωση αυτή το κύριο ρεύμα του αέρα διασχίζει το χώρο του θερμοκηπίου εισερχόμενο από το προσήνεμο άνοιγμα αερισμού και εξέρχεται από το απέναντι, με μια μικρή ανακυκλοφορία του αέρα στην οροφή του θερμοκηπίου. Το μέτρο της ταχύτητας του αέρα είναι ιδιαίτερα μεγάλο στην περιοχή στην οποία βρίσκεται η καλλιέργεια (0. 3 – 1.2 m/s) ενώ αντιθέτως μειώνεται σημαντικά στο χώρο του θερμοκηπίου πάνω από τα

ανοίγματα αερισμού. Οι εναλλαγές του αέρα που επιτυγχάνονταν με αυτό τον τύπο ανοιγμάτων αερισμού ήταν 45 εναλλαγές αέρα ανά ώρα.



Σχήμα 4. Διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την περίπτωση (α)

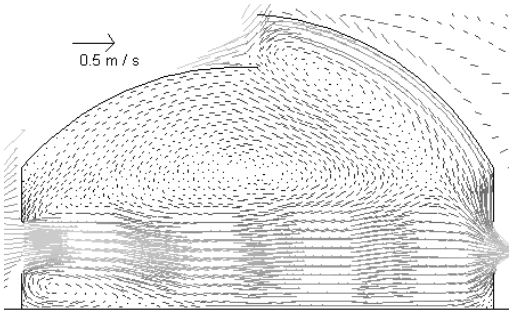
Τα διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την περίπτωση (β) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5, όπου φαίνεται ότι η ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι διαφορετική. Ο εισερχόμενος αέρας από το προσήνεμο άνοιγμα μετακινείται απευθείας προς την οροφή του θερμοκηπίου οδηγούμενος από το άνοιγμα αερισμού, και ακολουθεί κυρίως την εσωτερική πλευρά του τοιχώματος 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. Οι εναλλαγές του αέρα που επιτυγχάνονταν με αυτό τον τύπο ανοιγμάτων αερισμού ήταν 34 εναλλαγές αέρα ανά ώρα.



Σχήμα 5. Διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την περίπτωση (β)

Ο συνδυασμός πλαϊνών με ανοίγματα οροφής, περίπτωση (γ), δεν τροποποιεί σημαντικά την ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Σχήμα 6), αφού το άνοιγμα στην οροφή του θερμοκηπίου συμμετέχει ελάχιστα στην ροή του αέρα καθόσον το μεγαλύτερο μέρος αυτής προκαλείται από τα πλαϊνά

ανοίγματα αερισμού. Οι εναλλαγές του αέρα που επιτυγχάνονταν με αυτό τον τύπο ανοιγμάτων αερισμού ήταν 54 εναλλαγές αέρα ανά ώρα.



Σχήμα 6. Διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την τρίτη περίπτωση (γ)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επιχειρήθηκε η επιβεβαίωση, με πειραματικές μετρήσεις, ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής στην προσομοίωση του φυσικού αερισμού θερμοκηπίων. Μετά την καλή συμφωνία μεταξύ υπολογισμένων και μετρημένων τιμών το αριθμητικό προσομοίωμα χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση της επίδρασης διαφορετικών τύπων ανοιγμάτων αερισμού στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα δηλώνουν την ανάγκη του σωστού σχεδιασμού των ανοιγμάτων αερισμού καθώς αυτά τροποποιούν σημαντικά την ροή του αέρα, καθορίζοντας έτσι και το σύνολο των ενεργειακών ροών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

5. Βιβλιογραφία.

1. Bot, G. P. A., 1993. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. *Ph.D Dissertation.* Agricultural University of Wageningen, Netherlands, 240 pp.
2. Kittas, C., Draoui, B., and Boulard, T., 1995. Quantification of the ventilation of a greenhouse with a roof opening., 77: 95-111.
3. Fernandez, J, E., and Bailey, B., J., 1992. Measurements and prediction of greenhouse ventilation rates, *Agric. For. Meteorol*, 58, 229-245.
4. Boulard, T. and Draoui, B., 1995. Natural ventilation of a greenhouse with continuous roof vents: Measurements and data analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61, 27-36.
5. Wang, S., 1998. Measurement and modeling of natural ventilation in a large venlo-type greenhouse. *PhD Dissertation* 193pp
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. Lamrani, M., A., Boulard, T., Roy, J., C. and Jaffrin, A., 2001. Airflows and temperature patterns induced in a confined greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 75-88.

8. Mistriotis, A., Bot, G., P., A., Picuno, P. and Scarascia, Mugnozza, G., 1997a Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computanional fluid dynamics. *Agric. For. Meteorol,* 85, 317-328.
9. Mistriotis, A., Arcidianoco, C., Picuno, P., Bot, G., P., A. and Scarascia, Mugnozza, G., 1997b. Computational analysis of the natural ventilation in greenhouses at low wind speed. *Agric. For. Meteorol*, 88, 121-135.
10. Patankar, S., V., 1980. Numerical heat transfer. *Hemisphere*, Washington.
11. Launder, B., E. and Spalding, D., B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Comp. Meth. App. Mech Eng.* 3, 269-289.
12. Fluent, 1998. *FLUENT, v.5*. Fluent Europe Ltd, Sheffield, UK.
13. 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.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΜΕΡΙΚΑ ΣΚΙΑΣΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΡΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ

Κ. Κίττας, Α. Κοντές, Θ. Μπαρτζάνας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38334 Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνώνται πειραματικά οι κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος ενός θερμοκηπίου σκιασμένου στο δεύτερο μισό και εξοπλισμένου με σύστημα υγρής παρειάς. Λόγω του εξωτερικού ξηροθερμικού περιβάλλοντος η απόδοση του συστήματος διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα (85%) διατηρώντας τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου χαμηλή καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Παρατηρήθηκαν έντονες διακυμάνσεις στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα, αν και ενθαρρυντικά όσο αφορά την αποτελεσματικότητα του συστήματος, επισημαίνουν την ανάγκη για ορθολογικότερο σχεδιασμό και διαχείριση του.

Λέξεις κλειδιά: Ψύξη θερμοκηπίου, κατανομές θερμοκρασίας – υγρασίας, διαπνοή.

TEMPERATURE AND HUMIDITY GRADIENTS IN A PARTIALLY SHADED EVAPORATIVE COOLED GREENHOUSE

C. Kittas, A. Kontes, T. Bartzanas
University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Agricultural Environment, Fytokou St., N. Ionia Magnisias, 38334 Volos

ABSTRACT

Temperature and humidity gradients were investigated during summer in a commercial greenhouse producing cut roses, equipped with a ventilated cooling-pad system and a half shaded plastic roof. In a steady regime, the cooling process reached 85% efficiency and succeeded in maintaining the greenhouse temperatures cooler than outside. However, due to the important length of the greenhouse large temperature and humidity gradients were observed from pads to fans.

Keywords: Evaporative cooling, temperature – humidity gradients, transpiration.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά την θερινή περίοδο είναι ένα πρόβλημα που γίνεται όλο και πιο σοβαρό στις χώρες της μεσογειακής λεκάνης

Οι περιοχές αυτές γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών χάρη, κυρίως, στις ευνοϊκότερες συνθήκες που επικρατούν τον χειμώνα σε σχέση με τις βόρειες χώρες. Το πρόβλημα αυτών των θερμοκηπίων εντοπίζεται κατά τη θερμή περίοδο του έτους η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και ανεπαρκή υγρασία, γεγονός που αναγκάζει τους παραγωγούς να διακόψουν την καλλιέργεια από τις πρώτες κιόλας θερμές ημέρες ή να τις συνεχίσουν κάτω από όχι ευνοϊκές συνθήκες για την παραγωγή προϊόντων ποιότητας. Γίνεται λοιπόν κατανοητό, ότι για την παραγωγή προϊόντων ποιότητας, ένας καλός κλιματισμός κατά την θερινή περίοδο είναι απαραίτητος [1].

Ο φυσικός αερισμός και η σκίαση είναι δύο από τα πλέον διαδεδομένα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, η αποτελεσματικότητα των οποίων όμως είναι περιορισμένη [2], [3]. Η ψύξη με εξάτμιση είναι ένα από τα πλέον αποτελεσματικά συστήματα δροσισμού των θερμοκηπίων [4]. Η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει είτε ψεκάζοντας νερό στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με χαμηλής ή υψηλής πίεσης συστήματα ομίχλης, είτε αναγκάζοντας τον αέρα να περάσει μέσα από ένα υγρό τοίχωμα πριν εισέλθει στο θερμοκήπιο. Και τα δύο συστήματα έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας με ταυτόχρονη αύξηση της απόλυτης υγρασίας του αέρα

Η απόδοση των συστημάτων τεχνητής ομίχλης περιορίζεται συνήθως από την ποιότητα του διαθέσιμου νερού ενώ το κυριότερο μειονέκτημα των συστημάτων υγρής παρειάς είναι η δημιουργία μεγάλων θερμοβαθμίδων κατά μήκος της κίνησης του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Στο παρελθόν διάφοροι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη διερεύνηση των συστημάτων ψύξης [5], [6], [7]. Η πλειονότητα των εργασιών αυτών ασχολήθηκε με την ανάλυση της θερμοδυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος και τη διερεύνηση της επίδρασής του στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Οι Landsberg et al [8], πρότειναν ένα θεωρητικό προσομοίωμα για την απόδοση ενός συστήματος υγρής παρειάς για διάφορες κλιματικές συνθήκες, χωρίς όμως να το επιβεβαιώσει με πειραματικές μετρήσεις. Πιο πρόσφατα ο Willits [9] πρότεινε ένα προσομοίωμα πρόβλεψης της θερμοκρασίας του αέρα και της καλλιέργειας συναρτήσει του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και της εξωτερικής θερμοκρασίας. Τα συστήματα ψύξης με υγρή παρειά, όταν χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, συχνά συνδυάζονται με προοδευτική σκίαση με σκοπό τον έλεγχο των θερμοβαθμίδων κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της διακύμανσης της θερμοκρασίας και της υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου εξοπλισμένου με σύστημα υγρής παρειάς και σκίαση.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το θερμοκήπιο στο οποίο έγινε το πείραμα ήταν ένα πολλαπλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο. Κατασκευάστηκε το 1990 και είχε συνολική έκταση 2,88 στρέμματα. Αποτελούνταν από 6 βάσεις με 8 m πλάτος η κάθε μία. Το συνολικό του μήκος ήταν 60 m και το πλάτος του 48 m. Ο ορθοστάτης του θερμοκηπίου είχε 2,5 m ύψος και ο κορφιάς 4 m.

Το θερμοκήπιο ήταν καλυμμένο με φύλλο πολυαιθυλενίου πάχους 180μm, διπλό στην οροφή κι απλό στα πλάγια.. Ο σκελετός του θερμοκηπίου ήταν μεταλλικός, από γαλβανισμένο χάλυβα.

Ο αερισμός του θερμοκηπίου κατά τις πρωινές ώρες γινόταν με φυσικό αερισμό με ανοίγματα στην οροφή του θερμοκηπίου. Αργότερα όταν η θερμοκρασία ανέβαινε (>28 °C) και οι απαιτήσεις σε αερισμό δεν μπορούσαν να καλυφθούν από τον φυσικό αερισμό, έμπαιναν σε λειτουργία οι ανεμιστήρες. Η είσοδος του αέρα γινόταν από την απέναντι πλευρά από αυτή που βρίσκονταν οι ανεμιστήρες δια μέσου της υγρή παρειάς.

Το θερμοκήπιο ήταν σκιασμένο με λευκό δίχτυ σκίασης στο δεύτερο μισό. Μέσα στο θερμοκήπιο όπου έγινε το πείραμα υπήρχε καλλιέργεια τριαντάφυλλου (cv First Red), τα οποία καλλιεργούνταν σε απλές γραμμές και τα φυτά στηρίζονταν από σύρμα που βρίσκονταν κατά μήκος στα πλάγια των φυτών.

Οι μετρήσεις του πειράματος έγιναν κατά το καλοκαίρι του 2001 και αφορούσαν:

- Τη θερμοκρασία ξηρού ($T_{d,out}$)και υγρού βολβού ($T_{w,out}$) του εξωτερικού αέρα, σε °C.
- Τη θερμοκρασία ξηρού ($T_{d,pad}$) και υγρού βολβού ($T_{w,pad}$) του εσωτερικού αέρα αμέσως μετά τη διέλευση του από την υγρή παρειά, °C.
- Τη θερμοκρασία ξηρού ($T_{d,15}$) και υγρού βολβού ($T_{w,15}$) του εσωτερικού αέρα σε απόσταση 15m από την υγρή παρειά σε °C.
- Τη θερμοκρασία ξηρού ($T_{d,45}$) και υγρού βολβού ($T_{w,45}$) του εσωτερικού αέρα σε απόσταση 45m από την υγρή παρειά, σε °C.
- Τη θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους (T_g) και της καλλιέργειας (T_c) σε °C, σε αποστάσεις 15m και 45m από την υγρή παρειά
- Την ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό περιβάλλον ($R_{g,out}$), στο μη σκιασμένο τμήμα του θερμοκηπίου και στο σκιασμένο τμήμα του ($R_{g,45}$), σε Wm^{-2}.

Όλες οι τιμές αποθηκευόντουσαν κάθε 10 sec σε ένα σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (DL3000, Delta-T devices, UK) και στην συνέχεια εξαγόταν ο μέσος όρος κάθε 10 λεπτά.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το αποτελέσματα τα οποία παρατίθενται πιο κάτω είναι ενδεικτικά και προέρχονται από τέσσερις διαδοχικές ημέρες, κατά την διάρκεια

λειτουργίας του συστήματος δροσισμού. Η επιλογή των ημερών έγινε με βάση την συνεχή λειτουργία του συστήματος της υγρής παρειάς καθόλη τη διάρκεια της ημέρας καθώς και των παρόμοιων κλιματικών συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος.

3.1 Απόδοση του συστήματος

Η απόδοση, η, του συστήματος της υγρής παρειάς (σχήμα 1) υπολογίστηκε ως ακολούθως[10]:

$$\eta = (T_{d,out} - T_{d,pad}) / (T_{d,out} - T_{w,out}) \times 100\% \quad (1)$$

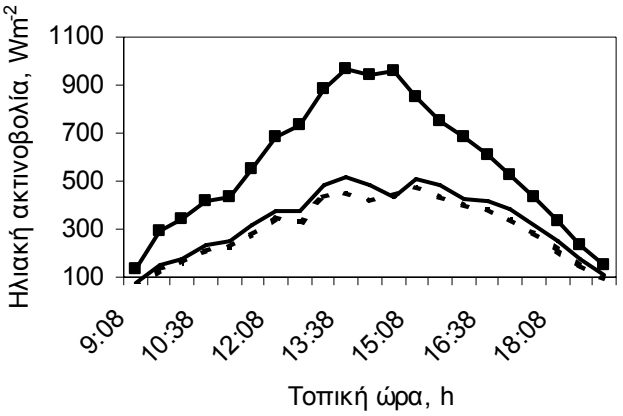
Σχήμα 1. Απόδοση του συστήματος.

Λόγω των ξηροθερμικών συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος (μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα 32 °C και μέση σχετική υγρασία 40%) η απόδοση του συστήματος κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (85%) αναγκάζοντας έτσι, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, τον εξωτερικό αέρα να εισέρχεται στο θερμοκήπιο αρκετά πιο ψυχρός αλλά και πιο υγρός.

3.2 Ηλιακή ακτινοβολία.

Λόγω της σκίασης που υπήρχε στο δεύτερο μισό του θερμοκηπίου υπήρχε ανομοιομορφία στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στο δεύτερο μισό του θερμοκηπίου να είναι μικρότερη από αυτή στο πρώτο (Σχήμα 2). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2, στο οποίο παρουσιάζεται η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας για μία ημέρα έτσι ώστε να είναι εμφανείς οι διαφορές στην ένταση της εισερχόμενης ακτινοβολίας στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου, η διαπερατότητα στο πρώτο μισό του θερμοκηπίου ήταν 51%, ενώ στο δεύτερο μισό ήταν 46%. Η διαφορά στη διαπερατότητα, ήταν της τάξης του 10% και κατά συνέπεια δεν ήταν σημαντική, τουλάχιστον τέτοια που να δικαιολογεί την ύπαρξη ενός διχτύου σκίασης στο δεύτερο τμήμα του θερμοκηπίου. Αυτό

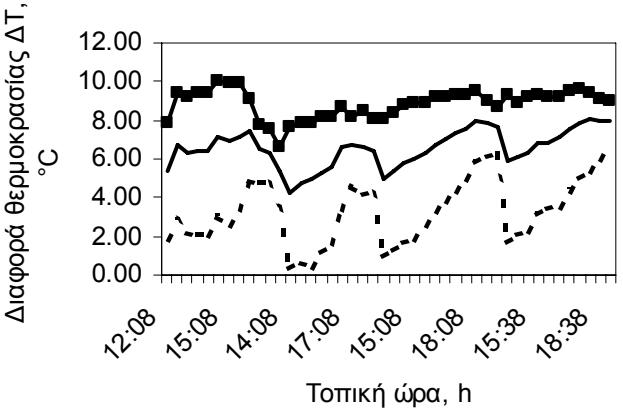
μπορεί να οφείλεται στην τροποποίηση των ιδιοτήτων του διχτύου σκίασης με το πέρασμα του χρόνου (το δίχτυ είχε τοποθετηθεί το 1996).



Σχήμα 2 Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας ($R_{g,out}$ ■■■, $R_{g,15}$ ———, $R_{g,45}$ — — —)

3.2 Θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα

Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας σε τρία σημεία (αμέσως μετά την υγρή παρειά, ΔT_{pad}, 15m μετά την παρειά ΔT_{15} και 45m μετά την παρειά ΔT_{45}).στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα



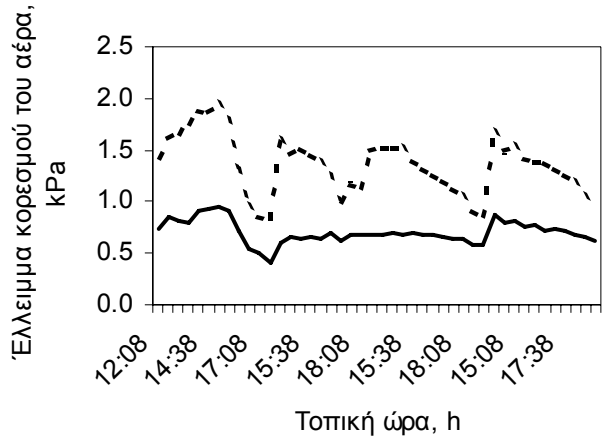
Σχήμα 3. Διαφορά θερμοκρασίας εξωτερικού - εσωτερικού αέρα για τρία σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (ΔT_{pad} ■■■, ΔT_{15} ———, ΔT_{45} - - - -)

Λόγω της υψηλής απόδοσης του συστήματος της υγρής παρειάς ο θερμός αέρας εισέρχεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (ΔT_{pad}) κατά 8 – 10 °C

ψυχρότερος του εξωτερικού αέρα. Κατά την κίνηση του όμως στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θερμαίνεται με αποτέλεσμα σε απόσταση 15m από την υγρή παρειά (ΔT_{15}) να είναι ψυχρότερος του εξωτερικού αέρα 4 – 6 °C και μόλις 2 – 4 °C σε απόσταση 45m από την υγρή παρειά (ΔT_{45}), υποδεικνύοντας έτσι το πρόβλημα των συστημάτων ψύξης με υγρή παρειά σε θερμοκήπια με μήκος μεγαλύτερο των 40m.

3.3 Έλλειμμα κορεσμού του αέρα

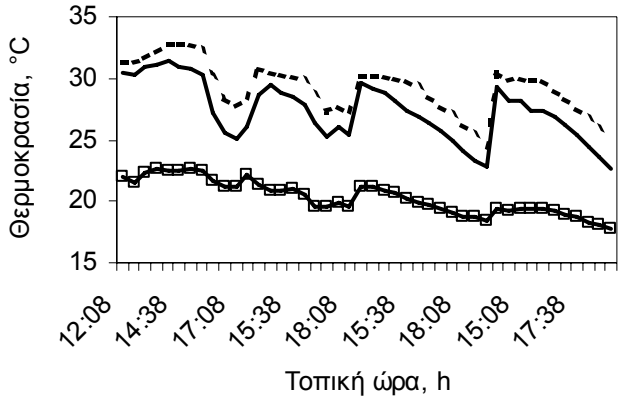
Καθώς ο θερμός και ξηρός εξωτερικός αέρας εισέρχεται στο τοίχωμα της υγρής παρειάς αυξάνει την περιεκτικότητα του σε υγρασία και λόγω της υψηλής απόδοσης του συστήματος εξέρχεται από την υγρή παρειά και μπαίνει στο θερμοκήπιο σχεδόν κορεσμένος σε υδρατμούς. Έτσι το έλλειμμα κορεσμού του αέρα είναι ιδιαίτερα χαμηλό στο πρώτο τμήμα του θερμοκηπίου ($VPD_{15} \approx 0.5$ – 1 kPa). Κατά την κίνηση του κατά μήκος του θερμοκηπίου ο αέρας χάνει μέρος της υγρασίας του λόγω μετατροπής της σε αισθητή θερμότητα με αποτέλεσμα στο δεύτερο τμήμα του θερμοκηπίου (VPD_{45}) το έλλειμμα κορεσμού να αποκτά μεγαλύτερες τιμές (σχήμα 4). Σημειώνεται, πάντως, ότι οι τιμές του VPD ήταν μικρότερες των 2 kPa, και κατά συνέπεια δεν υπήρχαν συνθήκες καταπόνησης (sress) της καλλιέργειας κατά μήκος του θερμοκηπίου.



Σχήμα 4. Μεταβολή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα, VPD, κατά μήκος του θερμοκηπίου (VPD_{15} ———, VPD_{45} - - -)

Λόγω των ιδιαίτερα χαμηλών τιμών του ελλείμματος κορεσμού στο πρώτο τμήμα του θερμοκηπίου εξετάστηκε η πιθανότητα δημιουργίας υγροποιήσεων στις επιφάνειες του εδάφους και της καλλιέργειας συγκρίνοντας τις θερμοκρασίες τους με το σημείο δρόσου του αέρα. Στο Σχήμα 5 φαίνεται η πορεία της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του αέρα ($T_{dew,15}$), της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους ($T_{g,15}$) και της θερμοκρασίας της

καλλιέργειας ($T_{c,15}$), σε απόσταση 15m από την υγρή παρειά. Από το Σχήμα 5 προκύπτει ότι, παρά τις χαμηλές τιμές του ελλείμματος κορεσμού, δεν παρατηρήθηκαν υγροποιήσεις.



Σχήμα 5. Θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα, της επιφάνειας του εδάφους και της καλλιέργειας ($T_{dew,15}$ —□— ,$T_{c,15}$ ———, ,$T_{g,15}$ - - -)

Η μεταβολή αυτή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου είχε επίδραση στην διαπνοή των φυτών. Έτσι, ενώ κανείς θα ανέμενε ότι στο σκιασμένο τμήμα του θερμοκηπίου η διαπνοή των φυτών θα ήταν μικρότερη, λόγω της μικρότερης εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, αυτό δεν συνέβαινε. Η διαπνοή των φυτών στο σκιασμένο τμήμα του θερμοκηπίου (σκιασμένο) ήταν μεγαλύτερη. Οι τιμές της διαπνοής των φυτών στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου συσχετίστηκαν με την εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία και το αντίστοιχο έλλειμμα κορεσμού με σκοπό την εξαγωγή μιας απλοποιημένης σχέσης που να συνδέει την διαπνοή των φυτών με τις δύο αυτές παραμέτρους (ακτινοβολία και έλλειμμα κορεσμού). Οι εξισώσεις οι οποίες προέκυψαν ήταν:

- $TR_{15} = 0.16\ Rg_{out} + 13\ VPD_{15}$ Wm^{-2}
- $TR_{45} = 0.23\ Rg_{out} + 5.8\ VPD_{45}$ Wm^{-2}

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διερευνήθηκε πειραματικά η απόδοση ενός συνδυασμένου συστήματος ψύξης με βρεγμένη παρειά και μερική σκίαση σε ένα εμπορικό θερμοκήπιο παραγωγής τριαντάφυλλων και εξετάστηκε η επίδραση του στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και ειδικότερα στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου. Λόγω των ξηροθερμικών εξωτερικών κλιματικών συνθηκών η απόδοση του συστήματος κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (85%) διατηρώντας τη θερμοκρασία στο μεγαλύτερο τμήμα του θερμοκηπίου σε αποδεκτά επίπεδα. Παρόλο αυτά παρατηρήθηκαν έντονες διαβαθμίσεις στις

κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου. Έτσι, ενώ ο εξωτερικός αέρας εισερχόταν στο θερμοκήπιο μέχρι και 10 °C ψυχρότερος του εξωτερικού κατά την κίνηση του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θερμαινόταν με αποτέλεσμα να είναι μόνο 2 – 3 °C ψυχρότερος του εξωτερικού στα τελευταία μέτρα του θερμοκηπίου. Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα ήταν ιδιαίτερα χαμηλό στο πρώτο τμήμα του θερμοκηπίου, ενώ αποκτούσε κανονικές τιμές στο δεύτερο τμήμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hanan J J; Holley W L; Goldberry K L (1978). Greenhouse Management. *Advances Series in Agricultural Sciences* 5; Springer-Verlag, Berlin
2. Kittas C; Katsoulas N; Baille A (2001a). Influence of greenhouse ventilation regime on the microclimate and energy portioning of a rose canopy during summer conditions. *J. Agr. Engin. Res*, 79 (3), 349-360
3. Willits D H; Peet M M (1993). The effect of evaporative cooling on the efficiency of external greenhouse shade cloths. *ASAE Paper* no.93-4042
4. Carpenter W J; Willis W W (1957). Comparison of low pressure mist atomised fog and evaporation fan and pad systems for greenhouse cooling and plant response. *Journal of American Society for Horticultre Science*, 70, 490-500
5. Montero J I; Short T; Curry R B Bauerle WL (1981). Influence of evaporative cooling systems on greenhouse environments. *ASAE Paper* no 81-4027
6. Montero J I; Anton A; Biel C; Franquet A (1990). Cooling of greenhouse with compressed air fogging nozzles. *Acta Horticulturae*, 281, 199-209
7. Giacomelli G A; Ginigers M S; Krass A E; Mears D R (1985). Improved methods of greenhouse evaporative cooling. *Acta Horticulturae*, 174, 49-55
8. Landsberg J I; White B; Thorpe M R (1979). Computer analysis of the efficciency of evaporative cooling for glasshouses in a high-energy environments. *J. Agr. Engin. Res*, 24, 29-39
9. Willits D H (2000). Constraints and limitation in greenhouse cooling. Challenges for the next decade. *Acta Horticulturae*, 534, 57-66
10. ASHRAE. 1983 Evaporative air-cooling equipment. Chapter 4. In: *Equipment handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, Inc., Atlanta, GA 30329

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΕΩΝ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Κ. Κίττας και Ν. Κατσούλας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία, Μαγνησία, ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται η επίδραση των συστημάτων ρύθμισης του κλίματος του θερμοκηπίου κατά τη θερμή περίοδο, στο μικροκλίμα υπό κάλυψη και ιδιαίτερα στη θερμοκρασία T_i και στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα D_i και στη θερμοκρασία της καλλιέργειας T_c. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο φυσικός αερισμός από μόνος του δεν ήταν επαρκής για την ψύξη του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η σκίαση μείωσε το φορτίο ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο και σε συνδυασμό με το φυσικό αερισμό οδήγησε σε μείωση της T_i και του D_i. Τέλος ο δροσισμός με σύστημα τεχνητής ομίχλης προκάλεσε ταυτόχρονη σημαντική πτώση της T_i και του D_i.

Λέξεις κλειδιά: αερισμός, σκίαση, δροσισμός, θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα, θερμοκρασία καλλιέργειας.

INFLUENCE OF GREENHOUSE COOLING TECHNIQUES ON GREENHOUSE MICROCLIMATE

C. Kittas and N. Katsoulas
University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Agricultural Environment, Fytokou St., N. Ionia, GR-38446, Magnisia, Greece, ckittas@uth.gr

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the influence of greenhouse ventilation, shading and misting on greenhouse air temperature T_i and vapour pressure deficit D_i and on crop temperature T_c. The results showed that natural ventilation was inadequate in cooling the greenhouse environment during Mediterranean summer conditions. Greenhouse roof whitening reduced the radiation load inside the greenhouse and in combination with natural ventilation lead to greenhouse T_i and D_i reduction. In addition, the use of the mist system lead to significant T_i, D_i and T_c decrease.

Key words: ventilation, shading, misting, air temperature, crop temperature, air vapour pressure deficit.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τους καλλιεργητές των μεσογειακών χωρών. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος των θερμοκηπίων των χωρών αυτών είναι η υψηλή θερμοκρασία (T_i>35^{o}C) και το μεγάλο έλλειμμα κορεσμού (D_i>3 kPa), συνθήκες οι οποίες προκαλούν μείωση της παραγωγής και της ποιότητας των θερμοκηπιακών προϊόντων. Διάφοροι μέθοδοι ψύξης του αέρα του θερμοκηπίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθούν κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών. Ο φυσικός αερισμός είναι συνήθως το πρώτο βήμα λόγω της απλότητας της μεθόδου, αλλά γενικά δεν είναι επαρκής για να εξάγει από το θερμοκήπιο την υπερβολική ενέργεια κατά τη διάρκεια θερμών ηλιόλουστων καλοκαιρινών ημερών [1]. Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλοι μέθοδοι ψύξης, σε συνδυασμό με τον αερισμό.

Εκτός από το φυσικό αερισμό χρησιμοποιείται και ο δυναμικός αερισμός ο οποίος γίνεται με ανεμιστήρες. Το κυριότερο μειονέκτημα του δυναμικού αερισμού, όταν συγκρίνεται με το φυσικό αερισμό, είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας και οι διαβαθμίσεις της θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος της πορείας του αέρα από την είσοδο προς την έξοδό του από το θερμοκήπιο.

Η σκίαση αναφέρεται συνήθως ως η έσχατη λύση ελέγχου του κλίματος του θερμοκηπίου, λόγω της ενδεχόμενης επίδρασής της στην παραγωγή εξαιτίας της μείωσης της διαπερατότητας του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία, αλλά βρίσκει ευρεία εφαρμογή, κυρίως με άσπρισμα της οροφής, λόγω του χαμηλού κόστους της. Παρά την ευρεία εφαρμογή της μεθόδου αυτής, οι εργασίες που αναφέρονται στην μελέτη της επίδρασής της στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην καλλιέργεια είναι σπάνιες [2, 3, 4], αφού οι περισσότερες εργασίες σχετίζονται με τη συγκριτική μελέτη διάφορων μεθόδων σκίασης, όπως οι εξωτερικές ή εσωτερικές κουρτίνες σκίασης και τις τροποποιήσεις που προκαλούν στην ακτινοβολία που εισέρχεται στο θερμοκήπιο [5, 6].

Τέλος, ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για τη μείωση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι η ψύξη με εξάτμιση. Τα συστήματα ψύξης με εξάτμιση βασίζονται στη μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα, μέσω της απευθείας παροχής νερού στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου (τεχνητή ομίχλη) ή μέσω της ψύξης του εισερχόμενου αέρα μέσα από βρεγμένη παρειά και επιτρέπουν την παράλληλη πτώση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα [7, 8].

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η συγκριτική μελέτη της επίδρασης των κυριοτέρων συστημάτων κλιματισμού των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και πιο συγκεκριμένα του αερισμού (φυσικού και δυναμικού), της σκίασης (με άσπρισμα της οροφής του θερμοκηπίου) και του δροσισμού (με σύστημα τεχνητής ομίχλης), στο μικροκλίμα υπό κάλυψη και ιδιαίτερα στη θερμοκρασία και στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα και στη θερμοκρασία της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα έγιναν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού των ετών 1998 και 1999 σε γυάλινο θερμοκήπιο (200 m^2), του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου ήταν: μήκος 31 m, πλάτος 6.5 m, ύψος ορθοστάτη 2.9 m, ύψος κορφιά 4 m. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν πλήρως καλυμμένο με τσιμέντο.

Ο αερισμός του θερμοκηπίου ήταν φυσικός ή/και δυναμικός. Ο φυσικός αερισμός γινόταν με τη βοήθεια ενός συνεχόμενου παραθύρου οροφής με μέγιστη επιφάνεια ανοίγματος περίπου 26 m^2. Ο δυναμικός αερισμός γινόταν με τη βοήθεια τεσσάρων ανεμιστήρων (συνολικής παροχής ≈ 16000 m^3 h^{-1}) τοποθετημένων ανά δύο στις μετώπες του θερμοκηπίου και του παράθυρου οροφής. Με τη λειτουργία του συστήματος δυναμικού αερισμού, ήταν δυνατό να επιτευχθούν 50 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα, ενώ με το φυσικό αερισμό επιτυγχάνονταν, ανάλογα με την ταχύτητα και τη διεύθυνση του εξωτερικού ανέμου, από 5 έως 30 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα.

Για το δροσισμό του θερμοκηπίου υπήρχε εγκατεστημένο σύστημα τεχνητής ομίχλης υψηλής πίεσης το οποίο περιελάμβανε δύο μονάδες με ανεμιστήρες και σύστημα ψεκασμού του νερού με κάλυψη 100 m^2 η κάθε μία και συνολική παροχή νερού 10^{-4} lit s^{-1} m^{-2} εδάφους του θερμοκηπίου.

Η σκίαση του θερμοκηπίου έγινε με άσπρισμα της οροφής του θερμοκηπίου με διάλυμα ασβέστη (πυκνότητα περίπου 8 kg CaO ανά 100 kg νερό). Η μέση τιμή του συντελεστή διαπερατότητας του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία (κατά το διάστημα 9:00-19:00) ήταν 0.62 πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου, ενώ μετά το άσπρισμα ήταν περίπου 0.31.

Στο θερμοκήπιο υπήρχε εγκατεστημένη, από το 1997, υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς με πυκνότητα 6 φυτά/m^2. Η άρδευση και λίπανση της καλλιέργειας [9] γινόταν αυτόματα με σύστημα ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το κλάδεμα και η διαμόρφωση της καλλιέργειας γινόταν σύμφωνα με την τεχνική του λυγίσματος των βλαστών (bending technique).

2.2 Οι μετρήσεις

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν:

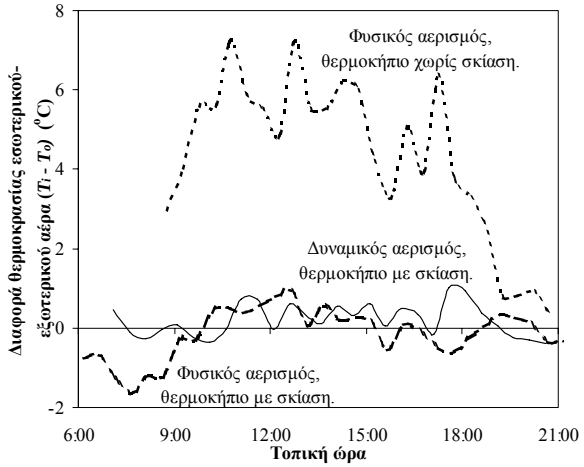
- Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία (T_o, ºC) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα(D_o, kPa), η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου.
- Μέσα στο θερμοκήπιο: η θερμοκρασία (T_i, ºC) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (D_i, kPa) σε τρία επίπεδα (0.3 m, 0.8 m και 1.8 m), η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία της καλλιέργειας (T_c, ºC) υπολογισμένη ως η μέση τιμή της θερμοκρασίας 7 φύλλων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή αφορούν τέσσερις αντιπροσωπευτικές ημέρες (με παρόμοιες εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας), περιόδων κατά τις οποίες ο κλιματισμός του θερμοκηπίου γινόταν: 1) με φυσικό αερισμό χωρίς σκίαση, 2) με φυσικό αερισμό και σκίαση, 3) με δυναμικό αερισμό και σκίαση και 4) με τεχνητή ομίχλη και σκίαση.

3.1 Επίδραση στη θερμοκρασία του αέρα

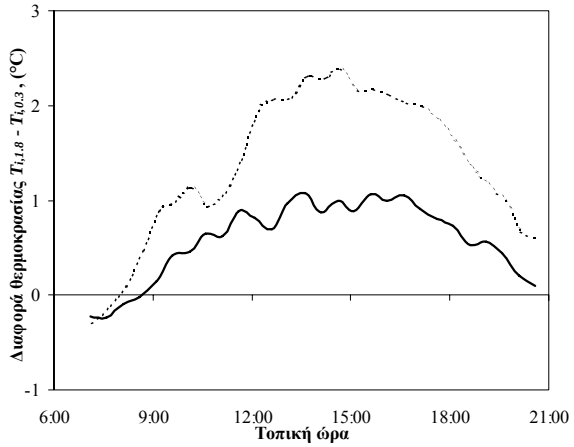
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατά τη διάρκεια των τεσσάρων περιόδων, συνέβαλαν στη διερεύνηση της επίδρασης της σκίασης, του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και του δροσισμού, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Η T_i επηρεάστηκε από τη μέθοδο αερισμού, τη σκίαση (Σχήμα 1) και το δροσισμό του θερμοκηπίου. Παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα $\Delta T_{i\text{-}o}$ (= $T_i - T_o$) μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου, η μέση τιμή (διάστημα 9:00-19:00) της οποίας ήταν περίπου 5ºC, την ημέρα με φυσικό αερισμό, χωρίς σκίαση και μόνο 0.6ºC την ημέρα με φυσικό αερισμό και σκίαση. Υπό συνθήκες σκίασης ο δυναμικός αερισμός δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την T_i, η μέση τιμή της οποίας ήταν κοντά στην T_o (Σχήμα 1). Η μέση τιμή της T_i στο θερμοκήπιο με σκίαση και δροσισμό ήταν περίπου 2.5ºC μικρότερη από αυτή με σκίαση και φυσικό αερισμό.



Σχήμα 1. Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του θερμοκηπίου και του εξωτερικού αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας

Υπό συνθήκες σκίασης παρατηρήθηκε κατακόρυφη διαβάθμιση της T_i. Η διαφορά μεταξύ της τιμής της T_i στα 1.8 m ($T_{i,1.8}$) και της τιμής της στα 0.3 m ($T_{i,0.3}$), (Σχήμα 2) ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση του φυσικού αερισμού (πάνω από 2.5°C), συγκρινόμενη με την περίπτωση του δυναμικού αερισμού. Παράλληλα, βρέθηκε κατακόρυφη διαβάθμιση στην τιμή του D_i και στις δύο περιπτώσεις αερισμού. Μεγαλύτερη, όμως διαβάθμιση παρατηρήθηκε στην

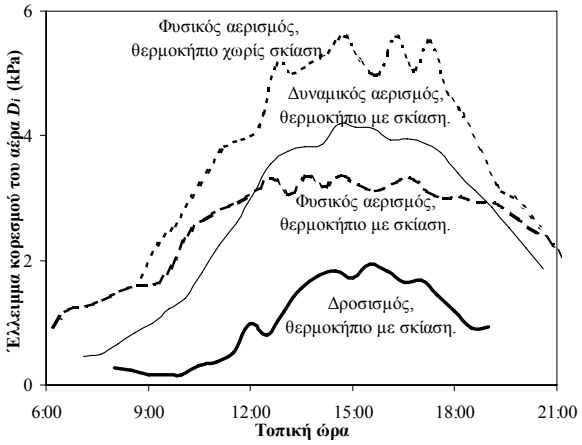
περίπτωση του φυσικού αερισμού με τον αέρα να είναι σημαντικά πιο υγρός στα χαμηλότερα στρώματα παρά σε ύψος 1.8 m.



Σχήμα 2. Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του θερμοκηπίου σε ύψος 1.8 και 0.3 m, κατά τη διάρκεια των ημερών με φυσικό και δυναμικό αερισμό.

3.2 Επίδραση στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα

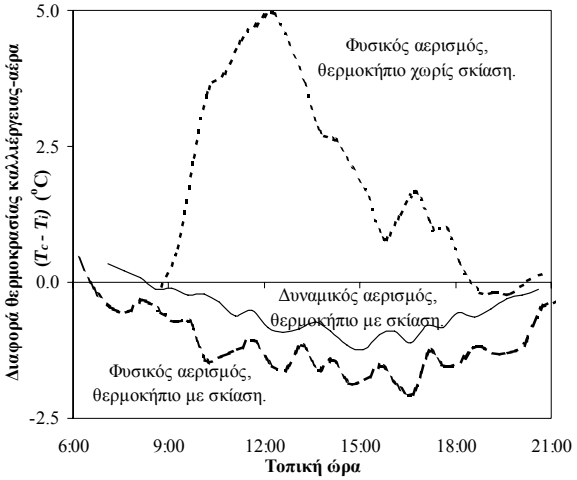
Με φυσικό αερισμό, κατά την περίοδο πριν από το άσπρισμα του θερμοκηπίου, η μέγιστη τιμή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα D_i ήταν κοντά στα 6 kPa και σημειωνόταν κατά τη διάρκεια του απογεύματος, ενώ μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου η τιμή του D_i δεν ξεπερνούσε τα 4 kPa (Σχήμα 3). Κατά τη διάρκεια των περιόδων με δυναμικό αερισμό, η είσοδος θερμού και ξηρού αέρα στο θερμοκήπιο προκάλεσε μικρή αύξηση στην τιμή του D_i κυρίως κατά τη θερμότερη περίοδο της ημέρας. Τέλος η χρήση του συστήματος δροσισμού προκάλεσε σημαντική μείωση στην τιμή του D_i, προκαλώντας τη διατήρηση των τιμών του κάτω από τα 2 kPa (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Έλλειμμα κορεσμού του αέρα D_i (kPa) κατά τη διάρκεια της ημέρας.

3.3 Επίδραση στη θερμοκρασία της καλλιέργειας

Η θερμοκρασία της καλλιέργειας T_c υπό συνθήκες φυσικού αερισμού και πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου ήταν σημαντικά υψηλότερη από αυτή του αέρα, (μέγιστη θετική διαφορά $\Delta T_c = T_c - T_i \approx 5$ºC), ενώ μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου ήταν ελαφρώς χαμηλότερη από αυτή του αέρα, (μέγιστη αρνητική διαφορά $\Delta T_c \approx -2$ºC) (Σχήμα 4). Επιπλέον, υπό συνθήκες σκίασης, βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην τιμή της ΔT_c μεταξύ των μεταχειρίσεων με φυσικό και δυναμικό αερισμό. Οι τιμές της ΔT_c ήταν περισσότερο αρνητικές, όταν ο αερισμός ήταν φυσικός (Σχήμα 4). Τέλος, ο δροσισμός του θερμοκηπίου δεν επηρέασε την τιμή της ΔT_c σε σχέση με τις συνθήκες σκίασης και φυσικού αερισμού, αλλά προκάλεσε ταυτόχρονη σημαντική πτώση στην τιμή της T_i και της T_c (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).



Σχήμα 4. Διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η σχέση της ΔT_c, και του D_i (Σχήμα 5), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας [10].

Υπό συνθήκες σκίασης, με γραμμική παλινδρόμηση βρέθηκαν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\Delta T_c = 0.30 - 0.38\ D_i \quad (1)$$

για δυναμικό αερισμό, με τιμή για το συντελεστή προσδιορισμού R^2 0.95

$$\Delta T_c = 0.63 - 0.91\ D_i \quad (2)$$

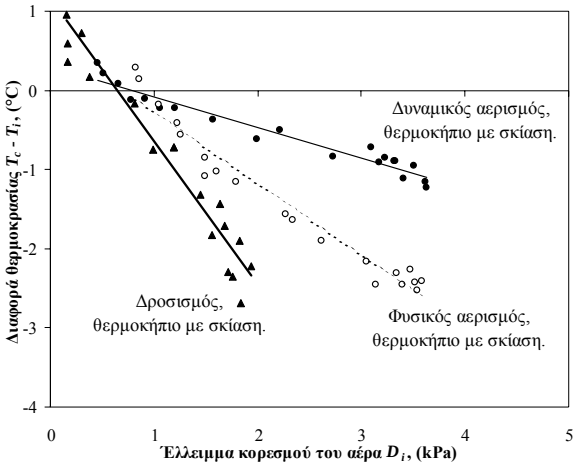
για φυσικό αερισμό, με τιμή για το συντελεστή προσδιορισμού R^2 0.96 και

$$\Delta T_c = 1.17 - 1.81\ D_i \quad (3)$$

για δροσισμό, με τιμή για το συντελεστή προσδιορισμού R^2 0.92.

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των παραπάνω συστημάτων σχετικά με την επίδρασή τους στην υδατική

καταπόνηση της καλλιέργειας, αν ληφθεί υπόψη ότι η μεγαλύτερη κλίση αντιστοιχεί σε καλύτερη συμπεριφορά της καλλιέργειας.



Σχήμα 5. Διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα συναρτήσει του ελλείμματος κορεσμού του αέρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά την επίδραση του αερισμού, της σκίασης και του δροσισμού στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρήθηκε ότι:

- Ο φυσικός αερισμός δεν ήταν επαρκής για την ψύξη του θερμοκηπίου αφού κατά τη διάρκεια των περιόδων που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο, χωρίς άλλο σύστημα κλιματισμού, επικρατούσαν υψηλές τιμές θερμοκρασίας και χαμηλές τιμές υγρασίας.
- Η σκίαση μείωσε το φορτίο ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο και σε συνδυασμό με το φυσικό αερισμό οδήγησε σε μείωση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα.
- Η χρήση διαφορετικού τύπου αερισμού (φυσικός-δυναμικός) προκάλεσε σημαντικές διαφορές στο μικροκλίμα, αφού ο δυναμικός αερισμός είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός περισσότερο ομογενούς κλίματος σε κατακόρυφο επίπεδο ενώ επιπλέον, σε αντίθεση με το φυσικό αερισμό, ήταν δυνατό να προκαλεί αρκετά καλή ανάμιξη του αέρα στο θερμοκήπιο. Από την άλλη πλευρά, ο αέρας που περιέβαλε το κατώτερο στρώμα της καλλιέργειας ήταν ψυχρότερος και περισσότερο υγρός υπό συνθήκες φυσικού αερισμού.
- Ο δροσισμός του θερμοκηπίου με σύστημα τεχνητής ομίχλης προκάλεσε ταυτόχρονα σημαντική πτώση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα.

Συγκριτικά, ο αποτελεσματικότερος συνδυασμός για τη μείωση των ακραίων συνθηκών στο θερμοκήπιο ήταν το σύστημα δροσισμού σε συνδυασμό με τη σκίαση, ενώ ακολουθούν ο φυσικός αερισμός σε συνδυασμό με τη σκίαση και ο δυναμικός αερισμός σε συνδυασμό με τη σκίαση.

Τέλος, έγινε φανερό ότι ένας υψηλός ρυθμός αερισμού δεν είναι και υποχρεωτικά η καλύτερη λύση για την ανακούφιση του θερμοκηπίου και της καλλιέργειας από τις συνθήκες καταπόνησης κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών συνθηκών. Ο φυσικός αερισμός, όταν δεν περιορίζεται εξαιτίας των πολύ χαμηλών ταχυτήτων του εξωτερικού ανέμου, ίσως είναι πιο κατάλληλος για την αποφυγή συνθηκών καταπόνησης, καθόσον δημιουργεί ένα περισσότερο υγρό και ψυχρό περιβάλλον γύρω από την καλλιέργεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Baille, A., 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Hortic*. 491. 37-47.
2. Baille, M., Mermier, M., Laury, J. C., Delmon, D., 1980. Le point sur les systèmes d'ombrage sous serre. *Internal Report M/801*. INRA, Station de Bioclimatologie d'Avignon, Montfavet, France.
3. Abreu, P. E., Meneses, J. F., 2000. Influence of soil covering, plastic ageing and roof whitening on climate and tomato crop response in an unheated plastic Mediterranean greenhouse. *Acta Hortic*. 534. 343-350.
4. Baille, A., Kittas, C., Katsoulas, N., 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agr. For. Meteorol*. 107 (4). 293-306.
5. Francescangeli, N., Ferratto, J., Rosania, A., Levit, C. H., 1994. Effect of bleaching, shading and water sprinkling on the cover in the temperature and other climatic parameters of greenhouse, in summer. *Acta Hortic*. 357. 268-268.
6. Miguel, A. F., Silva, A. M., Rosa, R., 1994. Solar irradiation inside a single span greenhouse with shading screens. *J. Agr. Engin. Res*. 59. 61-72.
7. Cohen, Y., Stanhill, G., Fuchs, M., 1983. An experimental comparison of evaporative cooling in a naturally ventilated greenhouse due to wetting the outer roof and inner crop soil surfaces. *Agr. Meteorol.* 28. 239-251.
8. Arbel, A., Yekutieli, O., Barak, M., 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouse. *J. Agr. Engin. Res.* 72. 129-136.
9. Κατσούλας, Ν., Λύκας, Χ., Γιαγλάρας, Π., Κίττας, Κ., 2000. Διαχείριση θρεπτικού διαλύματος σε κλειστό υδροπονικό σύστημα με καλλιέργεια τριανταφυλλιάς στη Μαγνησία. *Γεωργ. και Κτηνοτρ.* 6. 42-50.
10. Idso, S. B., Pinter, P. J., Reginato, R. J., 1990. Non-water-stressed baselines: the importance of site selection for air temperature and air vapour pressure deficit measurements. *Agr. For. Meteorol*. 53. 73-80.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ, ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ

Ν. Κατσούλας και Κ. Κίττας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία, Μαγνησία, nkatsoul@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η συγκριτική μελέτη της επίδρασης των διαφόρων συστημάτων ρύθμισης του κλίματος του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς και ιδιαίτερα στη διαπνοή, τη στοματική αγωγιμότητα και το δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας. Από τα αποτελέσματα έγινε φανερό ότι η χρήση του συστήματος τεχνητής ομίχλης μείωσε δραστικά το δείκτη υδατικής καταπόνησης και αύξησε σημαντικά τη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας.

Λέξεις κλειδιά: αερισμός, σκίαση, δροσισμός, διαπνοή, στοματική αγωγιμότητα.

COMPARATIVE STUDY OF THE INFLUENCE OF GREENHOUSE COOLING TECHNIQUES ON A GREENHOUSE ROSE CROP

N. Katsoulas and C. Kittas
University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Agricultural Environment, Fytokou St., N. Ionia, GR-38446, Magnisia, Greece, nkatsoul@uth.gr

ABSTRACT

The aim of this work was to study the influence of greenhouse climate control systems on a rose crop during Mediterranean summer conditions. Special attention was devoted on crop transpiration rate, stomatal conductance and crop water stress index. The results showed that the use of the mist system reduced significantly the crop water stress index, increased the crop stomatal conductance while did not influenced significantly the crop transpiration rate.

Key words: ventilation, shading, misting, transpiration, crop water stress index.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαπνοή της καλλιέργειας, μέσα από τη διαδικασία της ψύξης με εξάτμιση, παίζει κυρίαρχο ρόλο στη δημιουργία του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Ο ρόλος αυτός της διαπνοής είναι ιδιαίτερα σημαντικός κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στις μεσογειακές χώρες, όπου τα φορτία ενέργειας που πρέπει να αφαιρεθούν από το θερμοκήπιο είναι πολύ μεγάλα. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα-τεχνικές που χρησιμοποιούνται προκειμένου να απομακρυνθούν τα επιπλέον φορτία ενέργειας από τα θερμοκήπια είναι ο αερισμός, ο δροσισμός και η σκίαση.

Ο φυσικός αερισμός είναι η συνήθης πρακτική, καθώς τα περισσότερα θερμοκήπια σήμερα διαθέτουν κάποιο σύστημα αερισμού [1], αλλά δεν είναι επαρκής. Ο δυναμικός αερισμός αποτελεί ένα από τα κυρίαρχα μέσα που διαθέτουν οι παραγωγοί των μεσογειακών χωρών προκειμένου να ελέγξουν το κλίμα του θερμοκηπίου, κάτι που εξηγεί και το αυξημένο ενδιαφέρον των ερευνητών για το θέμα αυτό [2, 3, 4, 5, 6].

Παρόλα αυτά και παρά τη σημαντική επίδραση του αερισμού στο θερμοκήπιο, λίγα είναι γνωστά σχετικά με την επίδραση του ρυθμού ανανέωσης του αέρα στη φυσιολογική συμπεριφορά της καλλιέργειας. Δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο με ποιο τρόπο επηρεάζεται και αντιδρά η καλλιέργεια στις αλλαγές της υγρασίας του αέρα, καθώς αυτή μεταβάλλεται από τον υψηλό ρυθμό ανανέωσης του αέρα. Όταν ο εξωτερικός αέρας είναι πολύ ξηρός, η είσοδός του στο θερμοκήπιο μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις υδατικής καταπόνησης, καθόσον η αύξηση της ξηρότητας του αέρα γύρω από την καλλιέργεια ίσως να μην μπορεί να αντισταθμιστεί με την απελευθέρωση ισόποσης λανθάνουσας ενέργειας από την καλλιέργεια, μέσω της διαπνοής. Αυτή η κατάσταση μπορεί να συμβεί ιδιαίτερα, όταν η καλλιέργεια διαπνέει ήδη με το μέγιστο ρυθμό, είτε λόγω μικρής φυλλικής επιφάνειας, είτε λόγω περιορισμένης ανάπτυξης του ριζικού συστήματος και μη ικανοποιητικής τροφοδοσίας σε νερό.

Μία άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται από τους παραγωγούς για τον έλεγχο του κλίματος του θερμοκηπίου είναι η σκίαση η οποία βρίσκει ευρεία εφαρμογή λόγω χαμηλού κόστους. Γενικά, οι περισσότεροι ερευνητές [7, 8, 9] αναφέρουν ότι η σκίαση κατά τη διάρκεια των περιόδων με υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας προκαλεί αύξηση και βελτίωση της παραγωγής. Παρά το γεγονός όμως της ευρείας χρήσης της σκίασης, πολύ λίγα είναι γνωστά σχετικά με την επίδραση της σκίασης στη φυσιολογική αντίδραση της καλλιέργειας και ειδικότερα στη στοματική της αγωγιμότητα.

Τέλος, ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για τη μείωση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι η χρήση των συστημάτων ψύξης με εξάτμιση με τεχνητή ομίχλη ή με βρεγμένη παρειά [10]. Παρόλα αυτά, λίγα είναι γνωστά σχετικά με την επίδραση του συστήματος δροσισμού στη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η συγκριτική μελέτη της επίδρασης των πιο διαδεδομένων συστημάτων ρύθμισης του κλίματος του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στη συμπεριφορά καλλιέργειας τριανταφυλλιάς και ιδιαίτερα στη διαπνοή, στη στοματική αγωγιμότητα και στο δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα έγιναν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού των ετών 1998 και 1999 σε γυάλινο θερμοκήπιο έκτασης 200 m^2, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο:

- με συστήματα φυσικού (παράθυρο οροφής ανοίγματος 26 m^2) και δυναμικού (συνδυασμός 4 ανεμιστήρων συνολικής παροχής 16000 m^3 h^{-1} και παράθυρου οροφής) αερισμού Με παράλληλη λειτουργία των ανεμιστήρων και του παραθύρου οροφής, ήταν δυνατό να επιτευχθούν 50 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα, ενώ με φυσικό αερισμό επιτυγχάνονταν, ανάλογα με την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, από 5 έως 30 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα.
- Με σύστημα δροσισμού τεχνητής ομίχλης υψηλής πίεσης με παροχή νερού 10^{-4} lit s^{-1} m^{-2} εδάφους του θερμοκηπίου.

Στο μέσο, περίπου, της περιόδου μετρήσεων κάθε έτους γινόταν σκίαση του θερμοκηπίου με άσπρισμα της οροφής του με διάλυμα ασβέστη πυκνότητας 8 kg CaO ανά 100 kg νερό.

Στο θερμοκήπιο υπήρχε υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς με πυκνότητα 6 φυτά/m^2, διαμορφωμένη με τη τεχνική του λυγίσματος των βλαστών.

2.2 Οι μετρήσεις

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν:

- Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου.
- Μέσα στο θερμοκήπιο: η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, η καθαρή ακτινοβολία πάνω ($R_{n,a}$, W m^{-2}) και κάτω ($R_{n,b}$, W m^{-2}) από την καλλιέργεια (από τη διαφορά $R_{n,a} - R_{n,b}$ υπολογιζόταν η απορροφούμενη από την καλλιέργεια καθαρή ενέργεια $R_{n,int}$, W m^{-2}), η θερμοκρασία της καλλιέργειας (T_c, ºC) υπολογισμένη ως η μέση τιμή της θερμοκρασίας 7 φύλλων και η διαπνοή της καλλιέργειας (λE_c, W m^{-2}).

2.3 Υπολογισμοί

Η στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας g_c (m s^{-1}) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$g_c = \frac{g_a g_t}{g_a - g_t} \quad (1)$$

όπου g_t και g_a η συνολική και η αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας, αντίστοιχα, οι οποίες υπολογίστηκαν από τις σχέσεις:

$$g_t = \frac{\lambda E_c \gamma}{\rho C_p D_c} \quad (2) \qquad g_a = \frac{H_c}{\rho C_p \Delta T_c} \quad (3)$$

όπου: γ η ψυχρομετρική σταθερά (kPa K^{-1}), ρ η πυκνότητα (kg m^{-3}) και C_p η ειδική θερμότητα του αέρα (J kg^{-1} K^{-1}), D_c το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα (kPa), ΔT_c η διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα και H_c η ροή αισθητής ενέργειας μεταξύ της καλλιέργειας και του αέρα και η οποία υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$H_c = R_{n,int} - \lambda E_c \quad (4)$$

Ο δείκτης υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας I_{CWS} υπολογίστηκε από τη σχέση [11]:

$$I_{CWS} = \frac{T_c - T_m}{T_M - T_m} \quad (5)$$

όπου: T_M και T_m είναι μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία αντίστοιχα που μπορεί να επιτευχθεί από την καλλιέργεια [12]. Ο δείκτης αυτός παίρνει τιμές από 0 έως 1, με την καλλιέργεια να βρίσκεται στη μέγιστη υδατική καταπόνηση όταν ο δείκτης παίρνει την τιμή 1.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή αφορούν τέσσερις αντιπροσωπευτικές ημέρες (με παρόμοιες εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας), περιόδων κατά τις οποίες ο κλιματισμός του θερμοκηπίου γινόταν: 1) με φυσικό αερισμό χωρίς σκίαση, 2) με φυσικό αερισμό και σκίαση, 3) με δυναμικό αερισμό και σκίαση και 4) με τεχνητή ομίχλη και σκίαση.

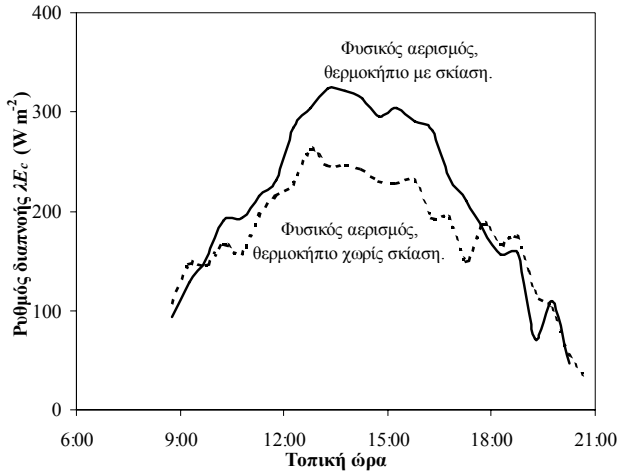
Οι μετρήσεις, έδωσαν τη δυνατότητα να διερευνηθεί η επίδραση της σκίασης, του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και του δροσισμού, στη διαπνοή λE_c, τη στοματική αγωγιμότητα g_c και το δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας I_{CWS}.

3.1 Επίδραση στη διαπνοή

Υπό συνθήκες φυσικού αερισμού, μετά το άσπρισμα της οροφής του θερμοκηπίου, παρατηρήθηκε αύξηση στο ρυθμό διαπνοής της καλλιέργειας περίπου 18%. Οι σημαντικότερες διαφορές παρατηρήθηκαν κυρίως κατά το θερμότερο διάστημα της ημέρας, από 10:00 έως 17:00 (Σχήμα 1).

Κατά την περίοδο όπου το θερμοκήπιο ήταν σκιασμένο, βρέθηκε ότι ο τρόπος αερισμού του θερμοκηπίου (φυσικός ή δυναμικός) δεν προκάλεσε διαφορές στο ρυθμό διαπνοής μεταξύ των δύο περιπτώσεων (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).

Τέλος, η χρήση του συστήματος δροσισμού προκάλεσε μία σχετικά μικρή μείωση της λE_c, περίπου 10 έως 15% σε ημερήσια βάση, σε σχέση με την περίπτωση του θερμοκηπίου με φυσικό αερισμό και σκίαση (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).



Σχήμα 1. Διαπνοή της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

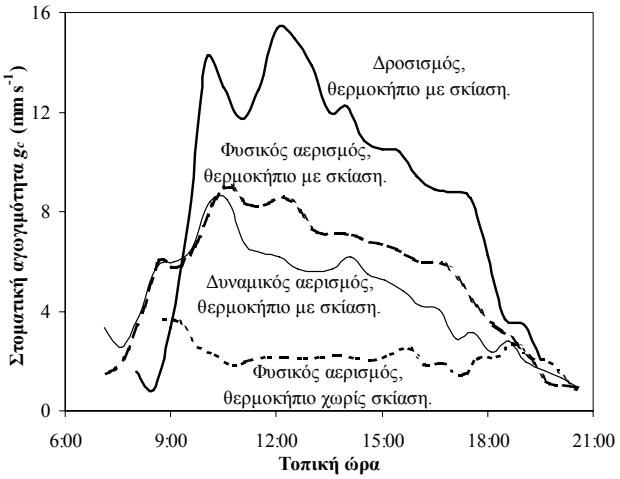
3.2 Επίδραση στη στοματική αγωγιμότητα

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της στοματικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας g_c κατά τη διάρκεια των τεσσάρων χαρακτηριστικών ημερών. Υπό συνθήκες φυσικού αερισμού και πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου η g_c έπαιρνε τη μέγιστη τιμή της νωρίς το πρωί (4 mm s^{-1} στις 9:00) και στη συνέχεια μειώνονταν απότομα, μέχρι να πάρει δύο ώρες αργότερα, την τιμή των 2.5 mm s^{-1}. Μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου, η αρχική τιμή της αγωγιμότητας στις 9:00 το πρωί ήταν μεγαλύτερη (6 mm s^{-1}), ενώ το απόγευμα συνέχισε να κινείται στο όριο των 7 mm s^{-1}, παίρνοντας έτσι τιμές υπερδιπλάσιες σε σχέση με την περίοδο πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου.

Υπό συνθήκες σκίασης η g_c ήταν ελαφρά μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της περιόδου με φυσικό αερισμό από ότι την περίοδο με δυναμικό αερισμό. Και στις δύο περιπτώσεις, η μέγιστη τιμή της g_c (περίπου 9 mm s^{-1}) επιτυγχανόταν την ίδια ώρα, περίπου στις 10 το πρωί (Σχήμα 2).

Οι μεγαλύτερες τιμές της g_c παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου το σύστημα δροσισμού βρισκόταν σε λειτουργία (Σχήμα 2). Από τα

αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι η φυσιολογική κατάσταση της καλλιέργειας βελτιώθηκε σημαντικά.



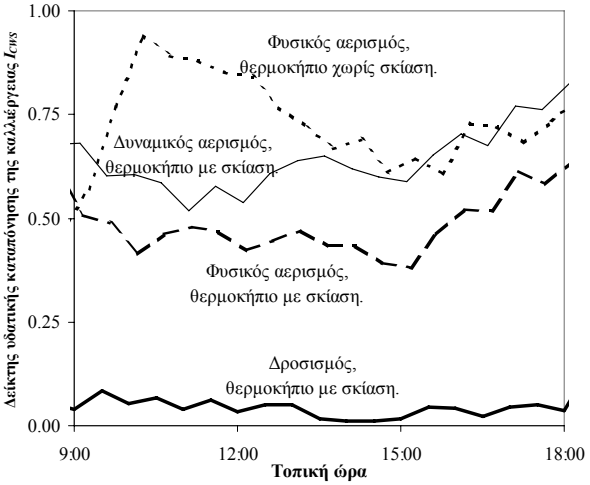
Σχήμα 2. Στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

3.3 Επίδραση στο δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία του δείκτη υδατικής καταπόνησης I_{CWS} στις περιπτώσεις των τεσσάρων τεχνικών ρύθμισης του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Φαίνεται ότι η καλλιέργεια καταπονούνταν σημαντικά πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου, με τιμές του I_{CWS} κοντά ή και μεγαλύτερες από 0.9, κατά τη διάρκεια του πρωινού και μικρότερες, κοντά στο 0.7, κατά τη διάρκεια του απογεύματος. Μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στο I_{CWS}, ο οποίος έπαιρνε τιμές από 0.4 έως 0.5.

Υπό συνθήκες σκίασης, σύμφωνα με τις τιμές του I_{CWS}, η καλλιέργεια καταπονούνταν περισσότερο υδατικά όταν ο αερισμός του θερμοκηπίου ήταν δυναμικός (I_{CWS} περίπου 0.6) και λιγότερο όταν ο αερισμός ήταν φυσικός.

Τέλος, η καλλιέργεια δε βρισκόταν υπό συνθήκες καταπόνησης όταν λειτουργούσε το σύστημα δροσισμού (I_{CWS} κοντά στο 0.1). Τα παραπάνω αποτελέσματα, όσον αφορά την υδατική καταπόνηση της καλλιέργειας, επιβεβαιώνονται και από τις τιμές της στοματικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας η οποία έπαιρνε, για τις αντίστοιχες περιόδους, ανάλογες τιμές.



Σχήμα 3. Δείκτης υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά στην επίδραση του αερισμού, της σκίασης και του δροσισμού στο δείκτη υδατικής καταπόνησης I_{CWS} και τη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας g_c, παρατηρήθηκε ότι:

- Η χρήση του συστήματος τεχνητής ομίχλης μείωσε δραστικά το I_{CWS} και αύξησε σημαντικά τη g_c. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέγιστη g_c παρατηρήθηκε κατά την περίοδο με το θερμοκήπιο σκιασμένο και το σύστημα δροσισμού σε λειτουργία.
- Η χρήση διαφορετικού τύπου αερισμού δεν προκάλεσε μεταβολή στο I_{CWS} αλλά ο υψηλός ρυθμός ανανέωσης του αέρα (δυναμικός αερισμός) συνετέλεσε στη μείωση της g_c.
- Η σκίαση του θερμοκηπίου οδήγησε σε μείωση του I_{CWS} και αύξηση της g_c.

Επιπλέον, η σημαντική αύξηση της g_c η οποία επιτεύχθηκε με τη χρήση του συστήματος τεχνητής ομίχλης επέτρεψε στη διαπνοή να παραμείνει σε παρόμοια επίπεδα σε σχέση με την περίπτωση του θερμοκηπίου με σκίαση και φυσικό αερισμό.

Οι τιμές της διαπνοής που επιτεύχθηκαν υπό συνθήκες σκίασης με φυσικό ή δυναμικό αερισμό, ήταν σχετικά κοντά. Αντίθετα, η σκίαση του θερμοκηπίου οδήγησε, σε αύξηση του ρυθμού διαπνοής της καλλιέργειας, σε σχέση με την περίπτωση του θερμοκηπίου χωρίς σκίαση με φυσικό αερισμό, αυξάνοντας έτσι τη διαδικασία της ψύξης στο θερμοκήπιο.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Boulard, T., Baille, A., 1995. Modelling of air exchange rate in a greenhouse equipped with continuous roof vents. *J. Agr. Engin. Res.* 61(1). 37-48.
2. Boulard, T., Meneses, J. F., Mermier, M., Papadakis, G., 1995. The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. *Agr. For. Meteorol*. 79. 61-77.
3. Wang, S., Deltour, J., 1996. An experimental ventilation function for large greenhouses based on a dynamic energy balance model. *J. Agr. Engin. Res.* 5(3&4). 103-112.
4. 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.
5. Mistriotis, A., Bot, G. P. A., Picuno, P., Scarascia-Mugnozza, G., 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics. *Agr. For. Meteorol*. 85. 217-228.
6. Wang, S., 1998. Measurement and modeling of natural ventilation in a large Venlo-type greenhouse. *PhD Thesis*, Gembloux Agricultural Faculty, Belgium, 194 pp.
7. Smith, I. E., Savage, M. J., Mills, P. 1984. Shading effects on greenhouse tomatoes and cucumbers. *Acta Hortic.* 148. 491-500.
8. Cockshull, K. E., Graves, C. J., Cave, C. R. J., 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. of Hort. Sc.* 67. 1-24.
9. El Gizawy, A. M., Abdallah, M. M. F., Gomaa, H. M., Mohamed, S. S., 1993a. Effect of different shading levels on tomato plants. 2. Yield and fruit quality. *Acta Hortic.* 323. 349-354.
10. Cohen, Y., Stanhill, G., Fuchs, M., 1983. An experimental comparison of evaporative cooling in a naturally ventilated greenhouse due to wetting the outer roof and inner crop soil surfaces. *Agr. Meteorol.* 28. 239-251.
11. Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., Pinter, J. R., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Res.* 17. 1133-1138.
12. Katsoulas, N., A. Baille, Kittas, C., 2002. Influence of leaf area index on canopy energy partitioning and greenhouse cooling requirements. *Bios. Engin.* 83(3). 349-359.

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Ι.Χοτζακιάνης[1], Γ.Μαρτζόπουλος[2], Χ.Νικήτα-Μαρτζοπούλου[3]

[1]Γεωπόνος , MSc, Διεύθυνση Γεωργίας Ν.Α.Ξάνθης
[2]Καθηγητής Τμ. Γεωπονίας Α.Π.Θ, Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
[3]Καθηγήτρια Τμ. Γεωπονίας Α.Π.Θ, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Εξοπλισμού

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ενεργειακό δυναμικό των γεωθερμικών ρευστών χρήζει μεγάλης σημασίας τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα. Στην εργασία που ακολουθεί παρουσιάζονται τρία συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (40ºC) και μελετάται η θερμική απόδοσή τους. Τα συστήματα αυτά συνίστανται από ένα δίκτυο μαύρων σπιράλ αγωγών πολυπροπυλενίου Φ28. Η διαφορά των συστημάτων βρίσκεται στον τρόπο διάταξης των αγωγών PP (ενδοδαπέδια, επιδαπέδια, θέρμανση πάγκων). Τα αποτελέσματα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι με την ενδοδαπέδια τοποθέτηση των αγωγών επιτυγχάνεται η μέγιστη θερμική απόδοση του συστήματος θέρμανσης.

Λέξεις κλειδιά: γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας, συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων, θερμική απόδοση

HEATING GREENHOUSES WITH GEOTHERMAL ENERGY: CHOICE OF THE MOST APPROPRIATE HEATING SYSTEM

I. Hotzakianis[1], G.Martzopoulos[2], Ch.Nikita-Martzopoulou[3]

[1]Agronomist, MSc, Department of Agriculture, Perfecture of Xanthi
[2]Professor in School of Agriculture A.U.TH., Lab. of Renewable Energy Sources
[3]Professor in School of Agriculture A.U.TH., Lab. of Agricultural Structures and Equipment

ABSTRACT

The energy potential of geothermal fluids is of most significance in Greece during the last years. In the following paper there is a presentation of three greenhouse heating systems with geothermal energy of low enthalpy (40ºC) and the study of their thermal efficiency. These systems are composed of a net of black corrugated polypropylene tubes Φ28. The difference between them is on the way the PP tubes are arranged into the greenhouse (under ground, on the ground, on benches). The results show that the maximum thermal efficiency is gained by using the "under ground" heating system.

Keywords: geothermal energy of low enthalpy, greenhouse heating system, thermal efficiency

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί θεαματική αύξηση στην καλλιέργεια λαχανικών και ανθοκομικών ειδών σε θερμοκήπια στην Ελλάδα αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Αιτία της προοδευτικής αυτής αύξησης των εκτάσεων που καλύπτονται από θερμοκηπιακές καλλιέργειες είναι η τάση προς εντατικοποίηση της γεωργικής παραγωγής και η προσπάθεια εκσυγχρονισμού της ώστε να καταστεί περισσότερο ανταγωνιστική και αποδοτική. Φυσικό επακόλουθο αυτής της τάσης είναι η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Ο σπουδαιότερος παράγοντας σε ό,τι αφορά την κατανάλωση ενέργειας σε ένα θερμοκήπιο είναι η θέρμανσή του. Το σχετικό ενεργειακό κόστος αντιστοιχεί στο 10–30% του συνολικού κόστους παραγωγής ετησίως. Το γεγονός αυτό έστρεψε το ενδιαφέρον των επιστημόνων στην εύρεση και χρήση άλλων μέσων θέρμανσης πλην των συμβατικών. Ως εναλλακτικά μέσα θέρμανσης των θερμοκηπίων θεωρούνται αυτά που προέρχονται από την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι η γεωθερμική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια και η βιομάζα [1,2].

2. Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ

Οι δυνατές χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών είναι πολλαπλές, καθοριστικός δε παράγοντας για την επιλογή των κατάλληλων χρήσεων κάθε γεωθερμικού ρευστού είναι η θερμοκρασία του [3].

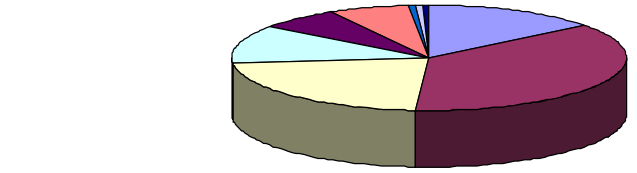
Σε ό,τι αφορά τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας , η συνηθέστερη μορφή εκμετάλλευσής τους είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αντίθεση με τα ρευστά μέσης και χαμηλής ενθαλπίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια σειρά διαφορετικών χρήσεων. Οι κατηγορίες χρήσης και το δυναμικό κάθε μιας από αυτές δίνονται παρακάτω (Σχ.1,2) [1].

Όπως προκύπτει από τις σχετικές έρευνες και μελέτες, η Ελλάδα εμφανίζεται ιδιαίτερα ευνοημένη στον τομέα της γεωθερμικής ενέργειας. Πολλές είναι οι περιοχές στις οποίες ο ορυκτός αυτός πλούτος αφθονεί. Μερικές από αυτές είναι η Ν.Απολλωνία, η Νιγρίτα, η Ν.Κεσσάνη, ο Λαγκαδάς, τα Ελαιοχώρια, το Εράσμιο κ.α. [4,5].

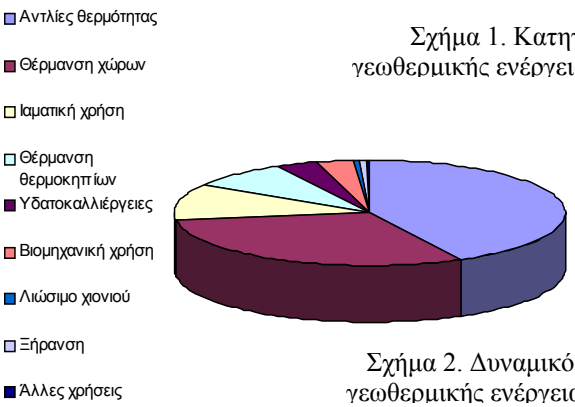
Μία από τις πλέον παραγωγικές κατευθύνσεις αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών είναι η θέρμανση θερμοκηπιακών μονάδων με κατάλληλα συστήματα διανομής του θερμού νερού και μετάδοσης της αποδιδόμενης θερμότητας. Αναλυτικότερα, η επιλογή του συστήματος θέρμανσης καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω παράγοντες [6,7]:

- **I.** Τον τύπο της θερμοκηπιακής καλλιέργειας–παραγωγής, εάν δηλαδή τα φυτά απαιτούν υψηλή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ή μόνο για κάποιους μήνες της χειμερινής περιόδου
- **II.** Το ρόλο του συστήματος θέρμανσης, εάν δηλαδή πρόκειται απλώς να βελτιώνει ή να ελέγχει πλήρως τη θερμοκρασία

III. Τον τύπο της γεώτρησης-πηγής, εάν δηλαδή πρόκειται για αρτεσιανή ή το θερμό νερό αντλείται με τη βοήθεια ηλεκτροκίνητης αντλίας και
IV. Τη χημική σύσταση του γεωθερμικού ρευστού.



Σχήμα 1. Κατηγορίες χρήσης γεωθερμικής ενέργειας (%) παγκοσμίως



Σχήμα 2. Δυναμικό κατηγοριών χρήσης γεωθερμικής ενέργειας (%) παγκοσμίως το

3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται πολύ εκτεταμένα στη γεωργική παραγωγή κατά τη θέρμανση θερμοκηπίων. Κάποιοι από τους λόγους που καθιστούν τη χρήση αυτή συμφέρουσα είναι οι εξής [7,8] :

I. Υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των γεωθερμικών πεδίων και των περιοχών που μπορούν να εγκατασταθούν τα θερμοκήπια
II. Τα θερμοκήπια είναι ένας από τους σημαντικότερους «καταναλωτές» της ενέργειας που προέρχεται από τα χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικά ρευστά
III. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι σχετικά απλά
IV. Τα «γεωθερμικά» θερμοκήπια αποτελούν ανταγωνιστικά καλλιεργητικά συστήματα από οικονομικής απόψεως .

Από τα μέχρι πρόσφατα καταγεγραμμένα στοιχεία, ο αριθμός των στρεμμάτων των θερμοκηπίων που θερμαίνονται με γεωθερμική ενέργεια στην Ευρώπη ξεπερνά τις 3500. Στην Ελλάδα οι κυριότερες περιοχές που διαθέτουν θερμοκήπια που θερμαίνονται με γεωθερμική ενέργεια είναι η Νιγρίτα, το Σιδηρόκαστρο, ο Λαγκαδάς, η Νέα Απολλωνία, η Νέα Κεσσάνη, τα Ελαιοχώρια και άλλες [9].

4. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ Ν. ΑΠΟΛΛΩΝΙΑΣ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η Ν. Απολλωνία είναι μία αξιόλογη γεωθερμική περιοχή μεταξύ των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης, στην οποία έχουν εντοπιστεί σημαντικά «ρηχά» γεωθερμικά ρεζερβουάρ με νερά θερμοκρασίας 35-50 ^{o}C που έχουν πολύ καλή χημική σύσταση ώστε μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πόσιμα (Πίν.2). Τα γεωθερμικά πεδία που υπάρχουν στην περιοχή (Νέας Απολλωνίας, Λαγκαδά και Νυμφόπετρας) αξιοποιούνται ήδη στην καλλιέργεια ανθοκομικών και λαχανοκομικών ειδών εντός θερμοκηπίων [10,11].

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πεδίου Νέας Απολλωνίας

Θερμοκρασία (^{o}C)	*45 – 50*
Παροχή (m^3/h)	*Βεβαιωμένη 200 Πιθανή*
TDS (gr/l)	*0.7 – 1.0*

Στην περιοχή αυτή εκπονήθηκε μία μελέτη σχετικά με τη θερμική απόδοση των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων. Η μελέτη διεξήχθη κατά την περίοδο Ιανουαρίου–Φεβρουαρίου του έτους 2000. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ήδη εγκατεστημένα ανθοκομικά θερμοκήπια.

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τρία απλά συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων με γεωθερμικό νερό χαμηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία 36–42ºC, TDS ≈ 0.7–1gr/l). Το κοινό στοιχείο των τριών αυτών συστημάτων είναι το μέσο διανομής του θερμού νερού στο περιβάλλον του θερμοκηπίου που είναι μαύροι σωλήνες πολυπροπυλενίου (PP) κυματοειδούς επιφάνειας (σπιράλ) με εξωτερική διάμετρο 0.028m (Φ28). Τα συστήματα αυτά είναι τα εξής:

- **I.** Επιδαπέδια θέρμανση: αγωγοί PP,*Φ28*, κυματοειδούς επιφάνειας που τοποθετούνται κατά μήκος των σειρών καλλιέργειας των φυτών σε ελαφρώς υπερυψωμένη θέση (θερμοκήπιο τριαντάφυλλων).
- **II.** Ενδοδαπέδια θέρμανση: αγωγοί PP ίδιου τύπου επιφάνειας και ίσης διατομής με αυτούς του παραπάνω συστήματος που είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του δαπέδου σε βάθος 0.05m (θερμοκήπιο γλαστρικών ειδών στο δάπεδο).
- **III.** Θέρμανση πάγκων: σωλήνες ίδιοι με αυτούς των δύο παραπάνω συστημάτων οι οποίοι τοποθετούνται επάνω σε μεταλλικούς πάγκους καλλιέργειας φυτών (θερμοκήπιο γλαστρικών ειδών σε πάγκους).

Τα συστήματα αυτά είναι εγκατεστημένα σε ισάριθμα θερμοκήπια ανθοκομικών ειδών στην περιοχή της Νέας Απολλωνίας και αποτελούν τα συστήματα θέρμανσής τους. Οι διαστάσεις των θερμοκηπίων του πειράματος δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν.3) [12].

Ο σκοπός της εργασίας είναι ο υπολογισμός της θερμικής απόδοσης των τριών συστημάτων και η εκτίμηση του ποσοστού κάλυψης των θερμικών απαιτήσεων του κάθε θερμοκηπίου από το σύστημα θέρμανσής του. Με τον τρόπο αυτό

μελετάται η καταλληλότητα και η αποδοτικότητα των συστημάτων προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τους ερευνητές αλλά και για τους παραγωγούς που τα χρησιμοποιούν για τη θέρμανση των θερμοκηπίων τους .

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά μεγέθη των πειραματικών θερμοκηπίων

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΩΝ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΓΑΛΑΣΤΡΙΚΩΝ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΠΑΓΚΟΥΣ
Μήκος , (m)	48	75	50
Πλάτος , (m)	52	39	39
Ύψος ορθοστάτη , (m)	2.60	2.60	2.60
Ύψος κορφιά , (m)	4.60	4.60	4.60
Έκταση καλυμμένου εδάφους , (m^2)	2496	2925	1950
Επιφάνεια καλύμματος , (m^2)	3235.2	3731	2581
Μήκος αγωγού θέρμανσης , (m)	11155 *(PP)* 432 *(MET)*	12168 *(PP)* 150 *(PE)*	18892 $(PP)_{ΔΑΠ}$ 1995.5 $(PP)_{ΠΑΓΚ}$

5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Οι παράμετροι που κρίθηκε ότι σχετίζονται με την παρούσα πειραματική εργασία και ο τρόπος μέτρησης και καταγραφής των τιμών τους δίνονται παρακάτω :

I. Εξωτερική θερμοκρασία
II. Εσωτερική θερμοκρασία
III. Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού από το θερμοκήπιο
IV. Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του θερμού νερού από τους αγωγούς PP
V. Θερμοκρασία δαπέδου

5.1. Θερμοκήπιο τριαντάφυλλων

Η ενέργεια που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο με μεταφορά και ακτινοβολία υπολογίζεται από την εξίσωση [13,14]:

$$\mathbf{Q_{ΣT} = U.\ A_{cv}\ .\ (\ T_M - T_{ΕΣ}\ )\ +\ σ.ε.\ A_r\ .\ (\ T_M{}^4 - T_{ΕΣ}{}^4\ )}$$

όπου, $Q_{ΣT}$: αποδιδόμενη από το σύστημα θερμότητα , (W)
U : συντελεστής θερμικής μεταφοράς του αγωγού , (W/m^2K)
A_{cv} : επιφάνεια του αγωγού που συμμετέχει στη μετάδοση θερμότητας με μεταφορά , (m^2) . Υπολογίζεται από τον τύπο $2\pi rL$.
T_M : μέση θερμοκρασία του αγωγού θέρμανσης , (K)
$T_{ΕΣ}$: θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου , (K)
σ : συντελεστής Stefan - Boltzman , $5.67x10^{-8}$ W/m^2K^4
ε :εκπεμπτικότητα του αγωγού. Λαμβάνεται ίση με 1.00 επειδή πρόκειται για μαύρη επιφάνεια
A_r : επιφάνεια του αγωγού που συμμετέχει στη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία , (m^2).

Σημειώνεται ότι η κυματοειδής μορφή του αγωγού τού προσδίδει μεγαλύτερη ενεργό επιφάνεια (κατά τη μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά) κατά 83% σε σχέση με αγωγό λείας επιφάνειας. Οπότε ισχύει $1.83xA_{cv}$ [15].

Οι θερμικές απαιτήσεις ενός θερμοκηπίου υπολογίζονται από τις θερμικές απώλειες μέσω του υλικού κάλυψής του που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Η εκτίμηση των απωλειών γίνεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$\mathbf{Q_{ΑΠ} = U.\ A_c.\ (\ T_{ΕΣ} - T_{ΕΞ}\ )}$$

όπου, $Q_{ΑΠ}$: θερμικές απώλειες (απαιτήσεις) του θερμοκηπίου , (W)

U : συντελεστής θερμικής μεταφοράς του υλικού κάλυψης , (W/m^2K)

Για το γυαλί λαμβάνεται U = 5.5 W/m^2K

A_c : συνολική επιφάνεια του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου , (m^2)

$T_{ΕΣ}$: θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου , (K)

$T_{ΕΞ}$: εξωτερική θερμοκρασία , (K)

Στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με τους εξής τρόπους:

1. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που είναι τοποθετημένοι επί της επιφάνειας του δαπέδου προς τον εσωτερικό αέρα του θερμοκηπίου , $\mathbf{Q_{PP}}$.
2. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους μεταλλικούς αγωγούς που τοποθετούνται κατά μήκος της μιας πλευράς του θερμοκηπίου προς τον αέρα του θερμοκηπίου, $\mathbf{Q_{ΜΕΤ}}$.

Ακολουθεί εκτίμηση των παραπάνω μεγεθών .

1. $\mathbf{Q_{PP}} = U.\ A_{cv}\ .\ (\ T_M - T_{ΕΣ}\ ) + \sigma.\varepsilon.\ A_r\ .\ (\ T_M{}^4 - T_{ΕΣ}{}^4\ )$

2. Για τους 6 μεταλλικούς αγωγούς που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της μιας πλευράς του θερμοκηπίου συνολικού μήκους 432m (6x72m) ισχύουν τα εξής:

$$\mathbf{Q_{ΜΕΤ}} = U.\ A_{cv}\ .\ (\ T_M - T_{ΕΣ}\ ) + \sigma.\varepsilon.\ A_r\ .\ (\ T_M{}^4 - T_{ΕΣ}{}^4\ )$$

Τελικά η θερμότητα που παρέχεται στο θερμοκήπιο δίνεται από το άθροισμα

$$\mathbf{Q_{ΣΤ} = Q_{TOTAL} = Q_{PP} + Q_{ΜΕΤ}}$$

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου, $\mathbf{Q_{ΑΠ}}$ γίνεται ως εξής:

$$\mathbf{Q_{ΑΠ}} = U.\ A_c.\ (\ T_{ΕΣ} - T_{ΕΞ}\ )$$

5.2. Θερμοκήπιο γλαστρικών

Στο θερμοκήπιο αυτό υπάρχουν αγωγοί πολυπροπυλενίου που είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του δαπέδου σε βάθος 5cm . Το δάπεδο είναι ένα μίγμα από άμμο και χαλίκι με ανώτερο στρώμα το χαλίκι. Κατά την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων θεωρήθηκε ότι πρόκειται μόνο για στρώμα χαλικιού πάχους 5cm ώστε K = 0.95 W/mK , U = K/L = 0.95/0.05 = $19W/m^2K$ και ε = 0.94 [16,17] .

Στο θερμοκήπιο υπάρχουν 78 βρόγχοι των 4 διαδρομών μήκους 159 m έκαστος , δηλαδή το συνολικό δίκτυο αγωγών PP έχει μήκος 12402 m . Επίσης υπάρχουν και δύο αγωγοί PE (Φ90) που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της μιας πλευράς του θερμοκηπίου και αποτελούν τους αγωγούς εισόδου και εξόδου του νερού στο θερμοκήπιο . Για τους αγωγούς αυτούς ισχύουν τα εξής : U=$10.3W/m^2K$ και ε=1 [16,17]. Η μετάδοση της θερμότητας στο θερμοκήπιο αυτό γίνεται με τους εξής τρόπους:

2. Με αγωγή από τους σωλήνες PP που είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του δαπέδου σε βάθος 5 cm προς αυτό , $\mathbf{Q_{ΑΓ}}$.
3. Με μεταφορά και ακτινοβολία από το θερμαινόμενο δάπεδο προς τον εσωτερικό αέρα του θερμοκηπίου , $\mathbf{Q_{ΔΑΠ}}$.
4. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους αγωγούς PE προς τον αέρα του θερμοκηπίου , $\mathbf{Q_{PE}}$.

Ακολουθεί εκτίμηση των παραπάνω μεγεθών.

5. Κατά τη μετάδοση της θερμότητας με αγωγιμότητα ισχύει ο νόμος του Fourier: Q = A.K.ΔT/L ,

$$\mathbf{Q_{ΑΓ}} = A_{δαπ} \text{ x } K_{δαπ} \text{ x } (T_M - T_{δαπ}) / L_{δαπ}$$

6. Για τον υπολογισμό της θερμότητας που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία από το θερμαινόμενο δάπεδο , $\mathbf{Q_{ΔΑΠ}}$, ισχύουν τα εξής:

$$\mathbf{Q_{ΔΑΠ}} = U_{δαπ} . A_{δαπ} . (T_{δαπ} - T_{ΕΣ}) + σ. ε_{δαπ} . A_{δαπ} . (T_{δαπ}^4 - T_{ΕΣ}^4)$$

7. Σχετικά με τη θερμότητα που αποδίδεται στον αέρα του θερμοκηπίου από τους 2 αγωγούς PE (Φ90) μήκους 75m έκαστος με ακτινοβολία και μεταφορά , $\mathbf{Q_{PE}}$, ισχύουν τα εξής:

$$\mathbf{Q_{PE}} = U. A_{cv} . (T_{PE} - T_{ΕΣ}) + σ.ε. A_r . (T_{PE}^4 - T_{ΕΣ}^4)$$

Τελικά η θερμότητα που παρέχεται στο θερμοκήπιο ,$\mathbf{Q_{ΣΤ}}$, δίνεται από το άθροισμα:

$$\mathbf{Q_{ΣΤ}} = \mathbf{Q_{TOTAL}} = \mathbf{Q_{ΑΓ}} + \mathbf{Q_{PE}}$$

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου ,$\mathbf{Q_{ΑΠ}}$, γίνεται ως εξής:

$$\mathbf{Q_{ΑΠ}} = U.A_c.(T_{ΕΣ} - T_{ΕΞ})$$

5.3 Θερμοκήπιο γλαστρικών σε πάγκους

Στο θερμοκήπιο αυτό η κυκλοφορία του θερμού νερού γίνεται με δύο συστήματα σωληνώσεων διανομής νερού. Και στα δύο συστήματα οι σωλήνες είναι μαύροι σωλήνες πολυπροπυλενίου PP κυματοειδούς επιφάνειας με εξωτερική διάμετρο 28mm (Φ28) Η μετάδοση της θερμότητας στο θερμοκήπιο γίνεται με τους εξής τρόπους:

1. Με αγωγή από τους σωλήνες PP που είναι τοποθετημένοι υπό της επιφάνειας του εδάφους προς αυτό (1η κυκλοφορία του νερού) , $\mathbf{Q_{ΑΓ}}$
2. Με μεταφορά και ακτινοβολία από το θερμαινόμενο δάπεδο προς τον αέρα του θερμοκηπίου (1η κυκλοφορία του νερού) , $\mathbf{Q_{ΔΑΠ}}$
3. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που τοποθετούνται επί της επιφάνειας του εδάφους προς τον αέρα του θερμοκηπίου (2η κυκλοφορία του νερού) , $\mathbf{Q_{PP(ΔΑΠ)}}$
4. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που τοποθετούνται επί της επιφάνειας των πάγκων προς τον αέρα του θερμοκηπίου (1η κυκλοφορία του νερού) , $\mathbf{Q_{PP(ΠΑΓΚ)}}$

Για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο, η συνολικά αποδιδόμενη θερμότητα από το σύστημα θέρμανσής του , $\mathbf{Q_{ΣΤ}}$, είναι:

$$\mathbf{Q_{ΣΤ}} = \mathbf{Q_{TOTAL}} = \mathbf{Q_{ΑΓ}} + \mathbf{Q_{PP(ΔΑΠ)}} + \mathbf{Q_{PP(ΠΑΓΚ)}}$$

Για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου , $\mathbf{Q_{ΑΠ}}$, ισχύουν τα εξής:

$$\mathbf{Q_{ΑΠ}} = U. A_c. (T_{ΕΣ} - T_{ΕΞ})$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών:

1. Κατά τη μετάδοση της θερμότητας με αγωγιμότητα ισχύει ο νόμος του Fourier: Q = Α.Κ.ΔΤ/L . Για τον υπολογισμό του $\mathbf{Q_{ΑΓ}}$ που είναι το ποσό της θερμότητας που αποδίδεται με αγωγιμότητα από τους σωλήνες PP στο δάπεδο, ισχύουν τα εξής:

$$\mathbf{Q_{ΑΓ}} = A_{δαπ} \times K_{δαπ} \times (T_M - T_{δαπ}) / L_{δαπ}$$

2. Για τον υπολογισμό της θερμότητας που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία από το θερμαινόμενο δάπεδο προς τον αέρα του θερμοκηπίου, $\mathbf{Q_{ΑΑΠ}}$, ισχύουν τα εξής:

$$\mathbf{Q_{ΑΑΠ}} = U_{δαπ} . A_{δαπ} . (T_{δαπ} - T_{ΕΣ}) + σ. ε_{δαπ} . A_{δαπ} . (T_{δαπ}^4 - T_{ΕΣ}^4)$$

Το ποσό της θερμότητας που υπολογίζεται με αυτό τον τρόπο εμπεριέχεται στο $Q_{ΑΓ}$ και δεν λαμβάνεται ξανά στην εκτίμηση του $\mathbf{Q_{TOTAL}}$.

3. Για τον υπολογισμό της θερμότητας που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που τοποθετούνται επί της επιφάνειας του δαπέδου προς τον αέρα του θερμοκηπίου , $\mathbf{Q_{PP(ΔΑΠ)}}$, ισχύουν τα εξής:

$$\mathbf{Q_{PP(ΔΑΠ)}} = U . A_{cv} . (T_M - T_{ΕΣ}) + σ. ε . A_r . (T_M^4 - T_{ΕΣ}^4)$$

4. Σχετικά με τη θερμότητα που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που βρίσκονται επάνω στους πάγκους προς τον αέρα του θερμοκηπίου επάνω από αυτούς , $\mathbf{Q_{PP(ΠΑΓΚ)}}$, ισχύουν τα εξής:

$$\mathbf{Q_{PP(ΠΑΓΚ)}} = U . A_{cv} . (T_M - T_{ΕΣ}) + σ. ε . A_r . (T_M^4 - T_{ΕΣ}^4)$$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

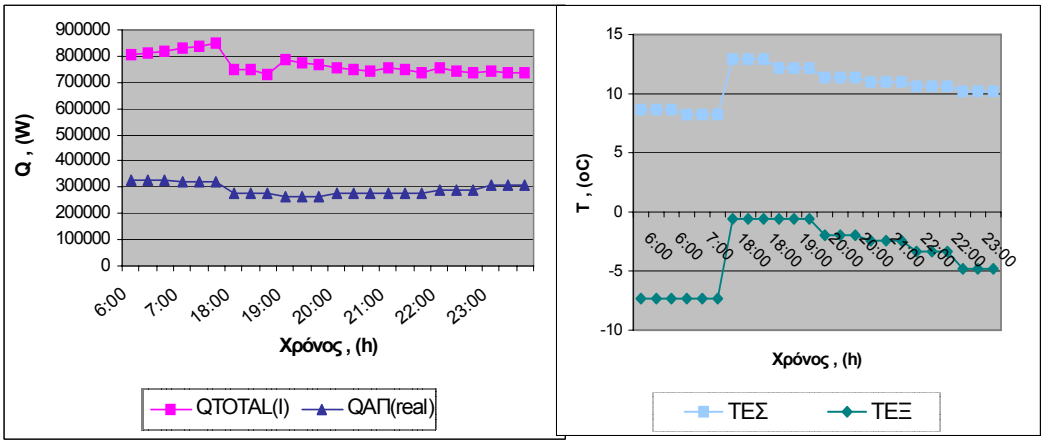
Τα τρία συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της θερμότητας στα θερμοκήπια χαρακτηρίζονται από ορισμένα στοιχεία ενώ ο τρόπος μετάδοσης της θερμότητας από αυτά διέπεται από κάποιους νόμους που έχουν αναφερθεί νωρίτερα.

Εξετάζοντας τα δεδομένα και τα αποτελέσματα από τη μελέτη της μετάδοσης θερμότητας από το σύστημα θέρμανσης του κάθε θερμοκηπίου προς το εσωτερικό του, προκύπτουν κάποια αριθμητικά στοιχεία που δίδονται και παριστάνονται γραφικά στα σχήματα που ακολουθούν [12,16]:

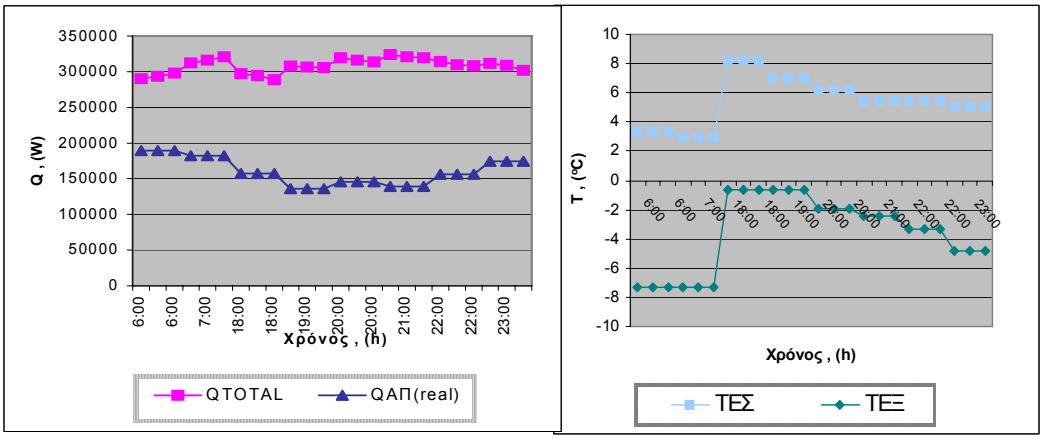
Τα στοιχεία που προκύπτουν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων οδηγούν στην εξαγωγή των παρακάτω σχέσεων [16,17]:

	Ιανουάριος	*Φεβρουάριος*
$\mathbf{Q_{ΑΠ}}$	$[Q_{ΓΛ}] > [Q_{ΠΑΓΚ}] > [Q_{ΤΡ}]$	$[Q_{ΓΛ}] > [Q_{ΠΑΓΚ}] > [Q_{ΤΡ}]$
$\mathbf{Q_{TOTAL}}$	$[Q_{ΓΛ}] > [Q_{ΠΑΓΚ}] > [Q_{ΤΡ}]$	$[Q_{ΓΛ}] > [Q_{ΠΑΓΚ}] > [Q_{ΤΡ}]$
$\mathbf{T_{ΕΣ}}$	$[T_{ΠΑΓΚ}] > [T_{ΓΛ}] > [T_{ΤΡ}]$	$[T_{ΠΑΓΚ}] > [T_{ΓΛ}] > [T_{ΤΡ}]$
$\mathbf{T_{ΕΞ}}$	$[T_{ΓΛ}] = [T_{ΤΡ}] < [T_{ΠΑΓΚ}]$	$[T_{ΓΛ}] = [T_{ΤΡ}] < [T_{ΠΑΓΚ}]$

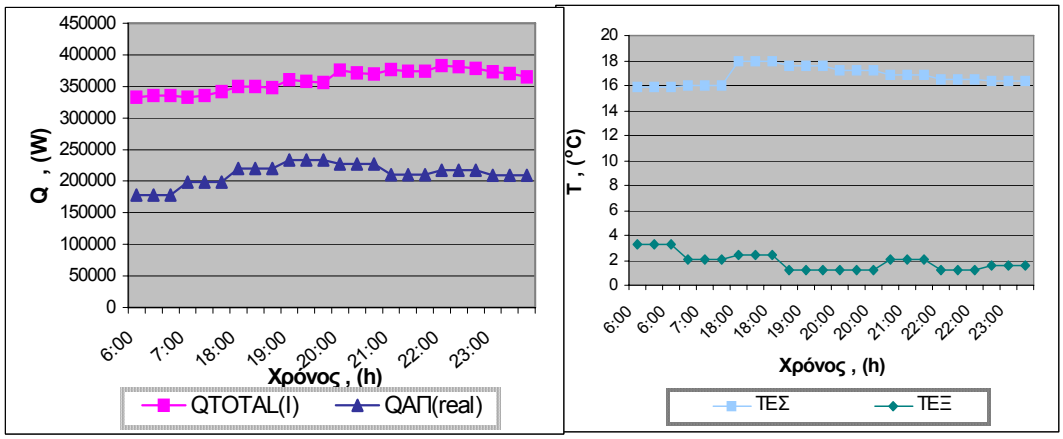
Από τις παραπάνω σχέσεις διαπιστώνεται ότι η αποδιδόμενη θερμότητα από το σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου γλαστρικών ειδών στο δάπεδο υπερτερεί έναντι των συστημάτων θέρμανσης στα άλλα δύο θερμοκήπια. Η ίδια σχέση ισχύει και για τις θερμικές απώλειες των τριών θερμοκηπίων.Επιπλέον, είναι εμφανές ότι η κατάσταση που επικρατεί στο θερμοκήπιο γλαστρικών στο δάπεδο είναι σαφώς καλύτερη από αυτήν του θερμοκηπίου τριαντάφυλλων. Όπως έχει αναφερθεί, τα δύο θερμοκήπια θερμαίνονται με γεωθερμικό νερό της ίδιας γεώτρησης το οποίο περνά πρώτα από το θερμοκήπιο γλαστρικών και μετά από το θερμοκήπιο τριαντάφυλλων. Κατά το πέρασμά του όμως παρατηρείται θερμική απώλεια της



Σχήμα 3. Διακύμανση του ποσού θερμότητας που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης και των απωλειών του θερμοκηπίου γλαστρικών



Σχήμα 4. Διακύμανση του ποσού θερμότητας που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης και των απωλειών του θερμοκηπίου τριαντάφυλλων



Σχήμα 5. Διακύμανση του ποσού θερμότητας που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης και των απωλειών του θερμοκηπίου γλαστρικών σε πάγκους

τάξης των 4 –5^{o} C. Αύξηση του μήκους του αγωγού θέρμανσης στο θερμοκήπιο τριαντάφυλλων ίσως να επέφερε σημαντική αύξηση της θερμικής απόδοσης του συστήματος θέρμανσης και της εσωτερικής θερμοκρασίας του θερμοκηπίου τριαντάφυλλων. Σε ό,τι αφορά το θερμοκήπιο γλαστρικών στους μεταλλικούς πάγκους , η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι ιδιαίτερα δύσκολη λόγω του μικρού μήκους αγωγού θέρμανσης που χρησιμοποιείται καθώς και της μικρής επιφάνειας καλλιέργειας συγκριτικά με τα άλλα δύο θερμοκήπια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Nikita–Martzopoulou, C., 2002. Agricultural Aspects of Geothermal Heating in Greenhouses. *Proc. of the International Course on Geothermal Energy for District Heating, Agricultural and Agro-Industrial Uses,* Thessaloniki, 95-111.
2. Kittas, K., Papadakis, G., Bartzanas, Th. and Giaglaras P., 1999. Renewable Energy Sources and Energy Saving in Mediterranean Greenhouses. *Proc. of Energy and Agriculture towards the Third Millennium,* Athens, 919-926.
3. Μαρτζόπουλος, Γ., 1989. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας σε θερμοκήπια στην Κεντρική Μακεδονία (Ελαιοχώρια, Λαγκαδάς, Νιγρίτα, Σιδηρόκαστρο). *Πρακτικά Εθνικού Συνεδρίου Εφαρμογών Γεωθερμίας,* Θεσσαλονίκη, 167-182.
4. Μαρτζόπουλος, Γ., 1993. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας : Τεχνολογικές Εφαρμογές στη Γεωργία.* Εκδόσεις Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
5. Φυτίκας, Μ., 1989. Γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα. *Πρακτικά Εθνικού Συνεδρίου Εφαρμογών Γεωθερμίας,* Θεσσαλονίκη, 135-147.
6. Popovski, K., 1990. Calculation of Greenhouse Heat Requirements. *Inter. Summer School.* Skopje, 171-182.
7. Popovski, K., 1990. Low - Temperature Installations for Heating Greenhouses. *Inter. Summer School.* Scopje, 183-208.
8. Campiotti, C. A., 1990. Basic Parameters for Geothermally Heated Greenhouses. *Inter. Summer School.* Skopje, 143-151.
9. Νικήτα–Μαρτζοπούλου, Χ., Μαρτζόπουλος, Γ. και Βασιλείου Ν., 1994. *Θερμοκήπια*. Εκδόσεις Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
10. Ε.Τ.Β.Α., 1996. *Επενδυτικός Οδηγός για την αξιοποίηση της Γεωθερμικής Ενέργειας σε παραγωγικές δραστηριότητες στην Ελλάδα.* Ε.Τ.Β.Α. Αθήνα.
11. Ε.Τ.Β.Α., 1995. *Ενημερωτικός Οδηγός για τις δυνατότητες αξιοποίησης της Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα.* Ε.Τ.Β.Α. Αθήνα.
12. Χοτζακιάνης, Ι., 2001. *Θερμική απόδοση τριών απλών συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων ανθοκομικών ειδών με γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας.* Master Thesis, Α.Π.Θ.
13. Albright, D. L., 1990. *Environment Control for Animals and Plants.* Cornell University. New York.
14. Nikita – Martzopoulou, C., 1990. Greenhouse heating systems with geothermal energy of low enthalpy in Greece. *Acta Horticulturae*. 263. 183-189.
15. Segal, I., Tal, A. and Steinfeld A., 1987. Utilization of thin wall plastic tubes as heat exchangers for geothermal water. *Proc. of the First Workshop of the CNRE on the Use of Geothermal Energy in Agriculture,* Skopje, 2-18.
16. Μαρτζόπουλος, Γ., Χοτζακιάνης, Ι. και Νικήτα-Μαρτζοπούλου, Χ., 2001. Απόδοση Γεωθερμικών Συστημάτων Θέρμανσης στα Θερμοκήπια. *Πρακτικά 14^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Επιχειρησιακής Έρευνας,* Ξάνθη.
17. Χοτζακιάνης, Ι., Μαρτζόπουλος, Γ. και Νικήτα-Μαρτζοπούλου, Χ., 2002. Η γεωθερμική ενέργεια ως μέσο θέρμανσης στα θερμοκήπια. *Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου,* Ξάνθη, 163-176.

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ CO_2 ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Βαφειάδης, Δ., Νικήτα- Μαρτζοπούλου, Χ., Μαρτζόπουλος, Γ.
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ.,
54006 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή διερευνά τις δυνατότητες, τους τρόπους και μεθόδους εμπλουτισμού με CO_2 σε θερμοκήπια στην Ελλάδα , έτσι ώστε να επιτευχθεί βελτίωση στην παραγωγή και εξοικονόμηση ενέργειας, ακόμη και κατά τις περιόδους που επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Από την έρευνα αυτή αποδείχθηκε ότι ο εμπλουτισμός του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου επιτυγχάνει : 1^{ov} καλλίτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, 2^{ov} ανάπτυξη της φυτικής μάζας έως και 40%, 3^{ov} μείωση της καλλιεργητικής περιόδου. Η μέγιστη θερμοκρασία για την αξιοποίηση του CO_2 στην ανάπτυξη των φυτών βρέθηκε ότι είναι 31°C.

ENRICHMENT OF GREENHOUSES WITH CO2 IN CONDITIONS OF HIGH TEMPERATURES FOR ENERGY SAVING

Vafiadis, D., Nikita- Martzopoulou, Ch., Martzopoulos, G.
Department of Hydraulics, soil science and Agricultural Engineering
School of Agriculture, Aristotle University,
54006 Thessaloniki, Greece.

ABSTRACT

This work investigates the possibilities, the ways and methods of CO_2 enrichment in greenhouses in Greece, so as an improvement in the production and saving of energy to be achieved, even at the periods of prevailing high temperatures. The result of this research work concludes that the CO_2 enrichment of environment of greenhouse achieves: 1^{st}. A better exploitation of solar energy, 2^{nd}. An increase of the growth of plant mass up to 40%, 3^{rd}. The reduction of cultivation period. The biggest temperature for the exploitation of CO_2 in the growth of plants was to be 31°C.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

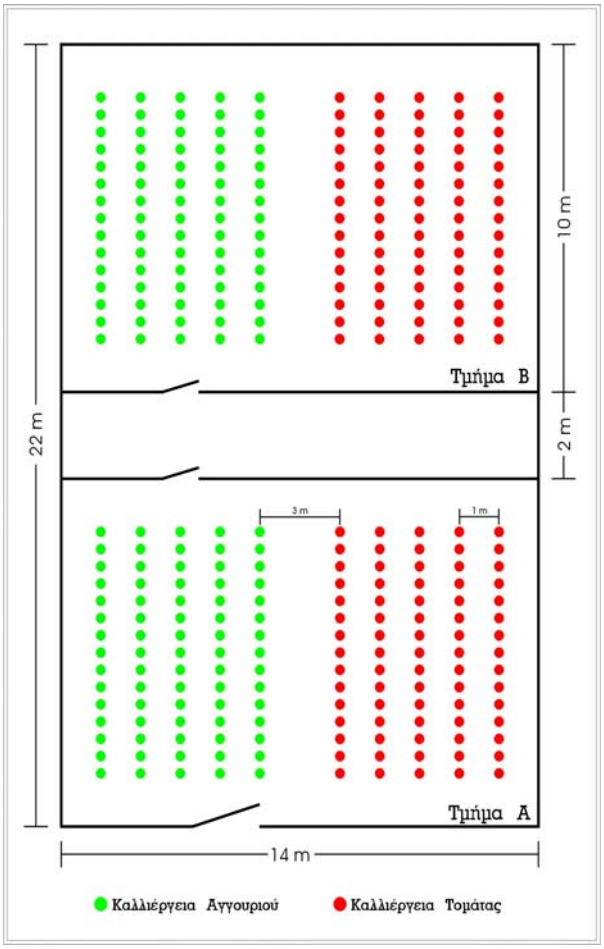
Τα θερμοκήπια θεωρούνται από τις πιο εντατικές επιχειρήσεις στη γεωργία και συμβάλουν σημαντικά στη διαμόρφωση του γεωργικού και εθνικού εισοδήματος. Από τα περίπου 40.000 στρέμματα που υπάρχουν σήμερα στην Ελλάδα το 75% βρίσκεται εγκατεστημένο σε περιοχές της Κρήτης, Πελοποννήσου, Αττικής, και νησιών του Νοτίου Αιγαίου, [1]. Οι περιοχές αυτές εμφανίζουν ήπιο κλίμα με μεγάλη ηλιοφάνεια κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Είναι περιοχές όπου το φθινόπωρο και την άνοιξη μέσα στα θερμοκήπια, χωρίς θέρμανση, επικρατούν θερμοκρασίες της τάξης των 18 ^{0}C ως 30 ^{0}C την ημέρα και 8 ^{0}C ως 15 ^{0}C τη νύχτα. Αυτό συνεπάγεται την αναγκαιότητα δροσισμού των θερμοκηπίων την ημέρα και θέρμανσης κατά τη διάρκεια της νύκτας, καθώς σχεδόν όλες οι καλλιέργειες έχουν optimum θερμοκρασίες ανάπτυξης που κυμαίνονται από 16 ^{0}C ως 25 ^{0}C. Από έρευνες που έγιναν σε καλλιέργειες που εμπλουτίζονταν με CO_2 , διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας είχε ευεργετικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, πειράματα με εμπλουτισμό σε καλλιέργειες αγγουριού και τομάτας (που έχουν optimum θερμοκρασία τους 23 ^{0}C) έδειξαν ότι υπήρχε κανονική ανάπτυξη ως τους 30 ^{0}C. Ο εμπλουτισμός δηλαδή με CO_2 είναι μια διαδικασία που βοηθάει στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας προς όφελος της παραγωγής. Επιπρόσθετα γίνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν απαιτείται η λειτουργία του συστήματος δυναμικού αερισμού για την ψύξη του θερμοκηπίου ή απαιτείται μικρότερο χρονικό διάστημα. Επίσης επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καυσίμου και κατά τη διάρκεια της νύκτας καθώς απελευθερώνεται η θερμότητα που έχει αποταμιευτεί, δεδομένου ότι το θερμοκήπιο ενεργεί σαν ηλιακός συλλέκτης.

2. ΠΕΙΡΑΜΑ

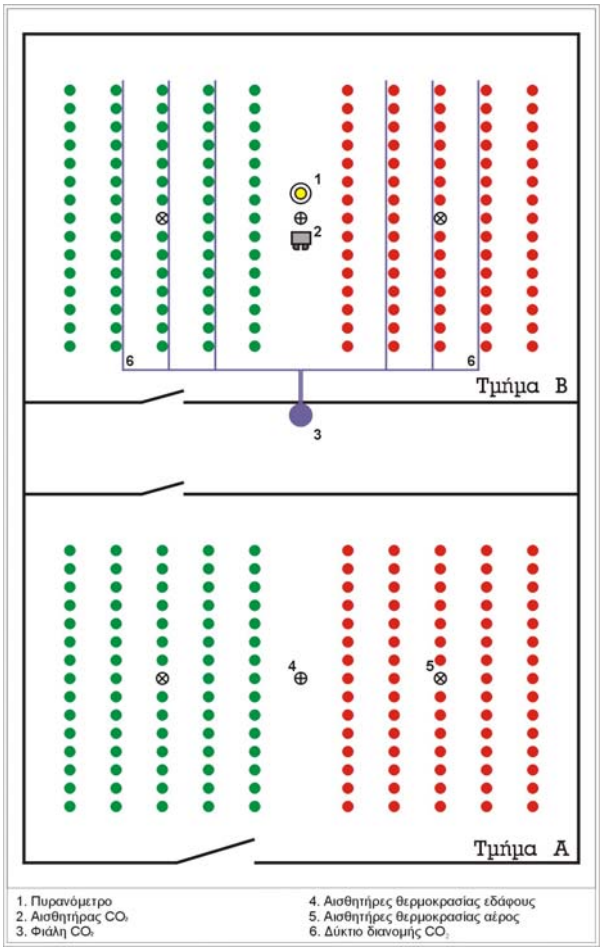
Στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ. , στην περιοχή της Θέρμης και συγκεκριμένα στο Κέντρο Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών (Κ.Ε.Γ.Κ.) υπάρχουν πειραματικά θερμοκήπια. Ένα από τα οποία είναι ένα τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο με έκταση 280 m^2 . Ο σκελετός του αποτελείται από γαλβανισμένο σίδηρο και το υλικό κάλυψης είναι πολυαιθυλένιο (PE) χρώματος κίτρινο. Για το σκοπό του πειράματος το θερμοκήπιο χωρίστηκε κατά μήκος σε δύο ίσα τμήματα Α και Β με ενδιάμεσο διαχωριστικό τμήμα. Σε κάθε τμήμα φυτεύτηκαν από 75 αγγουριές και 75 τοματιές (σχήμα 1). Ο εμπλουτισμός γινόταν στο τμήμα Β με τη βοήθεια ενός δικτύου σωληνώσεων μέσα στις σειρές των φυτών και σε ύψος 0,5 m από το έδαφος. Οι σωληνώσεις είχαν στο κάτω μέρος ανά ένα μέτρο οπές. Το CO_2 προερχόταν από φιάλη που υπήρχε στο διαχωριστικό τμήμα. Ένας εκτονωτής πίεσης βοηθούσε στην ομαλή ροή του αερίου καθώς αυτό βρισκόταν υπό πίεση σε υγρή μορφή.

Για τον έλεγχο και την καταγραφή των δεδομένων στο τμήμα Β υπήρχαν 3 αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου PT-100, 2 αέρα και 1 εδάφους. Ένας αισθητήρας CO_2 (Double beam infrared CO_2 analyzer) και ένα πυρανόμετρο

τάξης Α. Στο τμήμα Α υπήρχαν 3 αισθητήρες θερμοκρασίας παρόμοιοι με το τμήμα Β (σχήμα 2). Έξω από το θερμοκήπιο λειτουργούσε ένας μετεωρολογικός σταθμός που κατέγραφε τη θερμοκρασία, υγρασία και ταχύτητα του αέρα καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία. Η συλλογή των μετρήσεων γινόταν σε καταγραφικό δεδομένων (datalogger) που ήταν online συνδεδεμένο με υπολογιστή στο Κ.Ε.Γ.Κ. Ο υπολογιστής είχε εγκατεστημένο λογισμικό που υποστήριζε τη λήψη και καταγραφή των δεδομένων.



Σχήμα 1. Διαστάσεις και χωρίσματα του θερμοκηπίου κάτοψη



Σχήμα 2. Οι θέσεις των αισθητήρων σε κάτοψη του θερμοκηπίου

Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες θερμοκρασίας καταγράφονταν ανά 10 λεπτά, του πυρανομέτρου ανά 5 λεπτά και του αισθητήρα CO_2 ανά 1 λεπτό. Το πρόγραμμα έδινε τη δυνατότητα παρακολούθησης των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο (real time), οπότε υπήρχε η δυνατότητα διακοπής του πειράματος σε περίπτωση που οι συνθήκες γίνονταν απαγορευτικές για την ανάπτυξη των φυτών. Η συλλογή των εξωτερικών καιρικών δεδομένων γινόταν από δεύτερο καταγραφικό που κατέληγε στον ίδιο υπολογιστή.

Η καλλιέργεια του αγγουριού και της τομάτας στον ίδιο χώρο είναι εφικτή καθώς ανήκουν στην κατηγορία των C_3 φυτών και έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε συνθήκες περιβάλλοντος. Οι καλλιέργειες αυτές επιλέχτηκαν διότι αποτελούν το 80% των θερμοκηπιακών κηπευτικών εκτάσεων στη χώρα μας, [1].

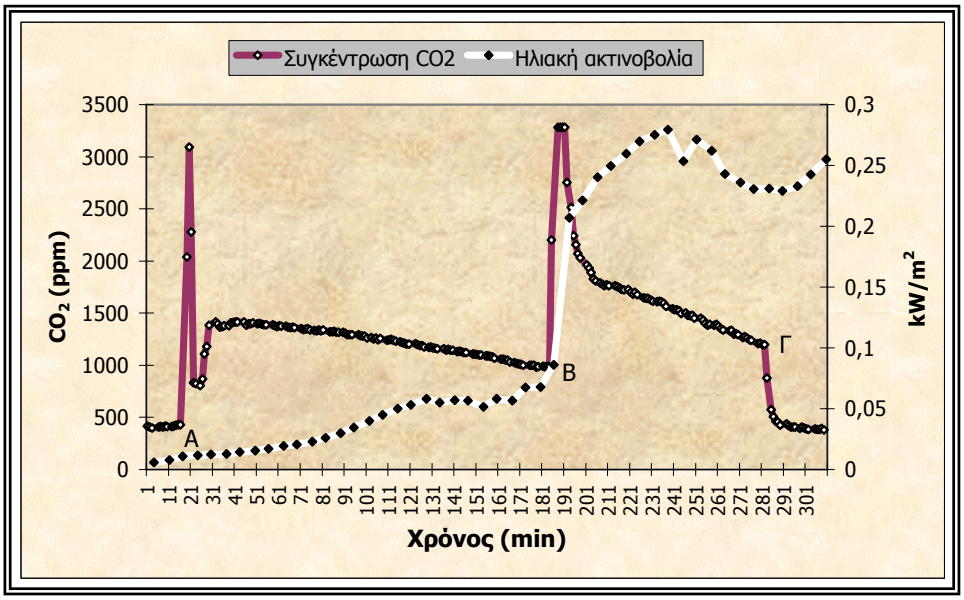
Προκειμένου οι οποιεσδήποτε διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη των φυτών να οφείλονται στον εμπλουτισμό, έγιναν προσπάθειες ώστε οι υπόλοιποι παράγοντες που την επηρεάζουν να μη διαφέρουν στα δύο τμήματα. Η εδαφολογική ανάλυση έδειξε ότι τα εδαφοτεμάχια δεν είχαν διαφορές μεταξύ τους. Η άρδευση και η λίπανση εφαρμοζόταν ταυτόχρονα και στα δύο τμήματα και σε ίδιες ποσότητες. Επίσης, οι καλλιεργητικές φροντίδες ήταν ίδιες για όλα τα φυτά.

Από τους διάφορους τρόπους εμπλουτισμού που υπάρχουν σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος, στο πείραμα εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός της μεθόδου των ασυνεχών εμπλουτισμών και της μεθόδου αύξησης της θερμοκρασίας έναρξης του εξαερισμού. Οι δύο αυτές μέθοδοι θεωρούνται από τις πλέον κατάλληλες με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και περιγράφονται από διάφορους ερευνητές: [2-8].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

3.1.Διαφοροποίηση στην ανάπτυξη των φυτών

Τα φυτά ανταποκρίνονταν άμεσα στον εμπλουτισμό καθώς απορροφούσαν το CO_2 ταχύτατα. Στο σχήμα 3 φαίνεται μία χαρακτηριστική καμπύλη απορρόφησης CO_2 με θερμοκρασία έναρξης εξαερισμού τους 31 ^{0}C.



Σχήμα 3. Παράδειγμα αποτελεσματικότητας δύο διαδοχικών πρωινών εμπλουτισμών από τις 6:48 ως τις 10:45. (**Α**) Έναρξη πρώτου εμπλουτισμού στις 7:00, θερμοκρασία: 14.5°C. (**Β**) Έναρξη δεύτερου εμπλουτισμού στις 9:09, θερμοκρασία: 24°C. (**Γ**) Αερισμός του θερμοκηπίου στις 10:25, θερμοκρασία: 31°C.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν την ανάπτυξη των φυτών πριν και μετά τους εμπλουτισμούς. Συγκεκριμένα:

- Για την καλλιέργεια της τομάτας:

Μετρήθηκαν τα ύψη των φυτών πριν την έναρξη των εμπλουτισμών καθώς και μετά τη λήξη τους. Οι τοματιές στο τμήμα Α αρχικά είχαν ένα ύψος κατά μέσο όρο 0.937 m και στο τμήμα Β, 0.945 m. Η διαφορά δηλαδή ήταν της τάξεως του 0.875%. Μετά τους εμπλουτισμούς το ύψος των φυτών στο τμήμα Α βρέθηκε 2.272 m κατά μ.ο. και στο τμήμα Β 2.478 m. Επομένως, υπήρχε μια διαφοροποίηση στα ύψη των φυτών κατά 9.09%. Για το στατιστικό έλεγχο των μετρήσεων έγινε σύγκριση των μέσων όρων του ύψους των φυτών τομάτας, στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου, μετά τους εμπλουτισμούς. Από την ανάλυση των παραλλακτικοτήτων των δειγμάτων και την εφαρμογή του κριτηρίου-F για επίπεδο σημαντικότητας α=0.05, προέκυψε ότι οι παραλλακτικότητες των πληθυσμών από τους οποίους προήλθαν τα δείγματα είναι ίσες. Με χρήση της κατανομής t και το ίδιο επίπεδο σημαντικότητας, βρέθηκε ότι η διαφορά των μέσων όρων είναι στατιστικώς σημαντική. Από την εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας και στα υπόλοιπα αποτελέσματα του πειράματος, βρέθηκε ότι όλες οι διαφοροποιήσεις των φυτών ήταν στατιστικώς σημαντικές.

Εκτός από τα ύψη, μετά τους εμπλουτισμούς, μετρήθηκαν και οι περίμετροι των κεντρικών βλαστών των τοματιών σε ύψος 10 cm από το έδαφος. Σύμφωνα με τις μετρήσεις, η περίμετρος των βλαστών των τοματιών στο τμήμα Α ήταν κατά μ.ο. 7.21 cm και στο τμήμα Β, 7.83 cm. Η διαφοροποίηση ανήλθε στο 8.67%.

- Για την καλλιέργεια του αγγουριού:

Στην καλλιέργεια του αγγουριού μετρήθηκαν επίσης τα ύψη των φυτών, όπως στην καλλιέργεια της τομάτας.

Μετά τους εμπλουτισμούς το ύψος των φυτών στο τμήμα Α ήταν 2.151 m κατά μ.ο. και στο τμήμα Β, 2.741 m. Η διαφορά στο ύψος δηλαδή ανήλθε στο 27.43%

Η δεύτερη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στην καλλιέργεια του αγγουριού αφορούσε τις διαστάσεις των φύλλων. Μετρήθηκαν το μήκος και το πλάτος του πρώτου, δεύτερου και τρίτου φύλλου, από τη βάση των φυτών. Τα φύλλα του αγγουριού στο τμήμα Α παρουσίασαν κατά μέσο όρο μήκος 17.27 cm και πλάτος 18.99 cm. Τα αντίστοιχα στοιχεία στο τμήμα Β ήταν για το μήκος 21.98 cm και για το πλάτος 26.67 cm. Η διαφορά στο μήκος ανήλθε στο 27.28% και στο πλάτος στο 40.44%.

Στις αγγουριές έγινε επίσης μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η ταχύτητα ανάπτυξης των καρπών στο τμήμα Β συγκριτικά με το Α. Συγκεκριμένα, έγιναν μετρήσεις σε 10 φυτά των δύο τμημάτων. Σε κάθε φυτό αριθμήθηκαν τα γόνατα με αρχή από τη βάση. Οι παρατηρήσεις ξεκίνησαν στο μεσοδιάστημα των εμπλουτισμών για τα γόνατα 7 έως και 10. Οι καρποί αφαιρούνταν όταν έφταναν το μήκος των 25 cm και σημειωνόταν η ημερομηνία κοπής. Η σύγκριση γινόταν μεταξύ ίδιου αριθμού γονάτου και φυτού. Τελικά, από τη σύγκριση των ημερομηνιών κοπής προέκυψε ότι οι καρποί στο τμήμα Β

αποκτούσαν το εμπορεύσιμο μήκος των 25 cm από 8 έως και 14 μέρες νωρίτερα, από ότι στο τμήμα Α.

3.2. Διαφοροποίηση των θερμοκρασιών

Κατά τη διάρκεια των ημερών που το τμήμα Β εμπλουτίζονταν, η θερμοκρασία έναρξης του εξαερισμού του ήταν 30 ^{0}C, ενώ του τμήματος Α 23 ^{0}C με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη αποθήκευση θερμότητας στο τμήμα Β. Από μετρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της ίδιας νύκτας τα δύο τμήματα παρουσίαζαν σημαντικές διαφορές στις θερμοκρασίες τους. Συγκεκριμένα με τη δύση του ήλιου οι θερμοκρασίες εδάφους είχαν μια διαφορά της τάξεως των 5-6 ^{0}C και οι θερμοκρασίες αέρα 2-3 ^{0}C. Διαφορά στις θερμοκρασίες εδάφους υπήρχε καθ'όλη τη διάρκεια της νύκτας. Η ελάχιστη διαφορά ήταν 2^{o}C πριν την ανατολή του ήλιου. Η θερμοκρασία αέρα στο τμήμα Α έπεφτε κάτω από τους 16 ^{0}C (που είναι η optimum θερμοκρασία ανάπτυξης νύκτας) 1-2 ώρες νωρίτερα απ'ότι στο τμήμα Β. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται εξοικονόμηση ενέργειας καθώς οποιοδήποτε σύστημα θέρμανσης λειτουργεί λιγότερες ώρες για τη διατήρηση των επιθυμητών επιπέδων θερμοκρασίας. Επίσης εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται και κατά τη διάρκεια της ημέρας από το σύστημα δυναμικού αερισμού ή δροσισμού δεδομένου ότι η θερμοκρασία έναρξης εξαερισμού είναι 30 ^{0}C.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η αποτελεσματικότητα του εμπλουτισμού αυξάνεται όταν συνδυαστεί με συστήματα αυτοματισμού καθώς αυξάνεται η χρονική διάρκεια εφαρμογής του.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο εμπλουτισμός των θερμοκηπίων με CO_2 αποδεικνύεται ότι συμβάλει στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Στο πειραματικό θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας τα φυτά στο τμήμα εμπλουτισμού είχαν καλύτερη ανάπτυξη (ύψος, μήκος και πλάτος φύλων) και μεγαλύτερη απόδοση όσον αφορά τη φυτική μάζα. Η διαφορά στην ανάπτυξη της καλλιέργειας της τομάτας ανήλθε στο 10% και της καλλιέργειας του αγγουριού κυμάνθηκε από 27 ως 40%. Επίσης στην καλλιέργεια του αγγουριού που εμπλουτίστηκε παρατηρήθηκε μείωση του χρόνου συγκομιδής από 8 ως 14 ημέρες. Τα φυτά απορροφούσαν το CO_2 και αναπτύσσονταν κανονικά μέχρι τους 31 ^{0}C.

Ένα δεύτερο φαινόμενο που παρατηρήθηκε είναι ότι κατά τη διάρκεια της νύκτας όταν την ημέρα γινόταν εμπλουτισμός, οι θερμοκρασίες μέσα και έξω από το θερμοκήπιο είχαν μεγαλύτερη διαφορά από ότι τις νύκτες που κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν εφαρμοζόταν εμπλουτισμός. Σημαντικές επίσης διαφορές στις θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύκτας εμφανίστηκαν μεταξύ των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου. Επιπλέον ο εμπλουτισμός στα θερμοκήπια έχει πολύ μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα όταν συνδυάζεται με συστήματα αυτοματισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργία, Κτηνοτροφία, 1999. Αφιέρωμα στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Αγρότυπος α.ε.. Τεύχος 9.
2. Hand, D.W. and R.W. Soffe, 1971. Light-modulated temperature control and the response of greenhouse tomatoes to different CO_2 regimes. J. Hort. Sci. 46:381-396.
3. Mathis, V. The effect of high day temperatures on new plantings of Forever Yours, Love Affair and Cara Mia roses. CO Flower Growers' Assoc. Res. Bull. 270:1-3, 1972.
4. Hanan, J.J. Ventilation temperatures, CO_2 levels and rose production. CO Flower Growers' Assoc. Res. Bull. 279:1-5, 1973.
5. Hand, D.W. Pruning CO_2 costs to maximize profits. The Grower(Supplement), 89-93. Feb. 17, 1983, 1983.
6. Enoch, H.Z. Carbon dioxide uptake efficiency in relation to crop-intercepted solar radiation. Acta Hort. 162:137-147, 1984.
7. Hand, D.W. and G. Slack. What price summer CO_2 enrichment? The Grower. 109:27-31, 1988.
8. Hanan J.J. Greenhouses, 1998. CRC Press, Boca Raton, FL.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟ

Ν. Οικονόμου και Γ. Λαμπρινός
Γ.Π.Α.-Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά οδός 75 11855 Αθήνα, τηλ: 20105294035, fax: 20105294032

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τη λειτουργία αντλίας θερμότητας σε πειραματικό χοιροστάσιο πάχυνσης 68 χοιριδίων, της περιοχής Αθηνών και η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας τόσο από πλευράς ικανοποίησης περιβαλλοντικών συνθηκών, όσο και από πλευράς τεχνοοικονομικής επένδυσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση λειτουργία της αντλίας θερμότητας κυμαίνεται μεταξύ 14,5 και 11 ωρών. Ο συντελεστής λειτουργίας της παραμένει υψηλός κυμαινόμενος μεταξύ 3,2 το θέρος και 3,5 το χειμώνα, η δε επιβάρυνση ανά Kg παραγομένου κρέατος ανέρχεται στο 60% της αντίστοιχης ενός συμβατικού συστήματος.

Λέξεις κλειδιά: Αντλία θερμότητας, κατανάλωση, κλιματισμός, χοιροστάσιο.

EXAMINATION OF THE POTENTIAL OF THE HEAT PUMP'S USE IN A PIGGERY

N. Economou and G. Lamprinos
AGRONOMIC UNIVERSITY OF ATHENS 75 Iera odos, Botanikos, 11855 Athens, Greece tel: 2105294035, fax: 20105294032

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the results of the operation of a heat pump in an experimental fattening piggery of 68 piglets in Athens. The investigation of the heat pump's effectiveness concerns not only desirable satisfactory environmental conditions but also technical efficiency and economic results. The results showed that the mean operation time of the heat pump varies between 11 and 14.5 hours. The coefficient of performance remained high, between 3.2 in summer and 3.5, in winter, while the cost per Kg of meat produced is reduced to the 60% of the respective cost of a conventional air conditioning system.

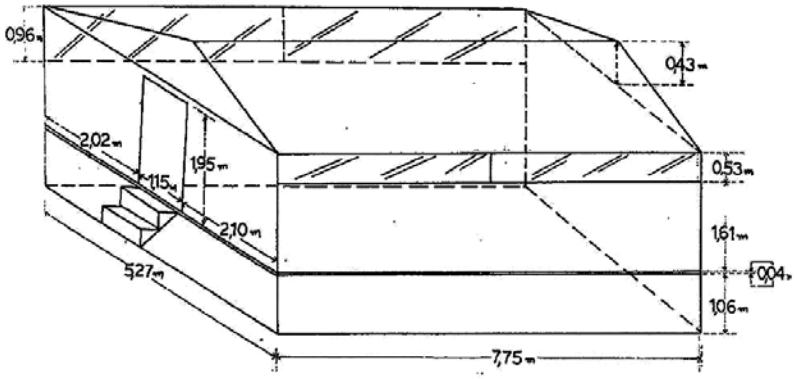
Keywords: Heat pump, consumption, air conditioning, piggery.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυξανόμενο κόστος της ενέργειας οδηγεί τους κτηνοτρόφους στη χρήση και εναλλακτικών μορφών ενέργειας, στις οποίες ανήκει και η αντλία θερμότητας. Σε πολλές χώρες της Ευρώπης χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια αντλίες θερμότητας για τη θέρμανση σταβλικών εγκαταστάσεων. Ως ψυχρή πηγή χρησιμοποιείται συνήθως ο φρεάτιος ορίζοντας, η υγρή κοπριά στα χαντάκια κάτω από τα κελιά των χοίρων, ο ανανεούμενος αέρας του στάβλου ή ο εξωτερικός αέρας του περιβάλλοντος, ο συντελεστής δε συμπεριφοράς κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4. Στο Βέλγιο, ήδη από τα μέσα της 10ετίας του 80 λειτουργούσαν 150 αντλίες θερμότητας για τη θέρμανση (66%) ή την αφύγρανση (34%) του χώρου στέγασης μικρών ζώων πάχυνσης [6]. Κατά την τελευταία δεκαετία επιχειρήθηκε στο Γ.Π.Α. η αξιολόγηση μιας αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα για θέρμανση-δροσισμό ενός πειραματικού χοιροστασίου προπάχυνσης. Οι συνθήκες οι οποίες επιζητήθηκε να ικανοποιηθούν ήταν οι κρίσιμες μεν $+11^{o}C \leq \Theta_{κρ} \leq +30\ ^{o}C$ και $50\% \leq RH_{κρ} \leq 80\%$ [1], οι ευνοϊκές δε $+20^{o}C \leq \Theta_{κρ} \leq +26\ ^{o}C$ και $50\% \leq RH_{κρ} \leq 70\%$ [2,4,5,8,9]. Αποτελέσματα αυτής της έρευνας παρουσιάζονται στην ανακοίνωση αυτή.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν είχαν σκοπό τη μελέτη της αποτελεσματικής λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας (Α.Θ.) σ' ένα πειραματικό χοιροστάσιο, το οποίο βρίσκεται στο χώρο του Γ.Π.Α. και ανήκει στον Τομέα Γ. Μηχανικής. Ο τύπος του χοιροστασίου ήταν «Χοιροστάσιο προπάχυνσης με δάπεδο πλήρως εσχαρωτό» (σχ. 1) και στεγάζει χοιρίδια προπάχυνσης μέγιστου βάρους 45 Kg. Ο αριθμός των θερμικά προσομοιωμένων χοιριδίων ήταν 68, ώστε σε κάθε χοιρίδιο να αναλογεί επιφάνεια 0,4 m^2.



Σχήμα 1. Μορφή και διαστάσεις πειραματικού χοιροστασίου.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται ο ισολογισμός των φορτίων του χοιροστασίου σε εικοσιτετράωρη βάση κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του χειμώνα,ενώ στον

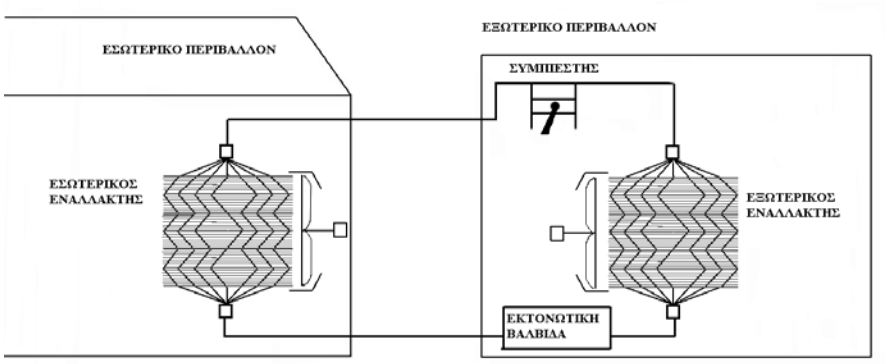
πίνακα 2 παρουσιάζεται ο αντίστοιχος ισολογισμός του θέρους.
Η αντλία θερμότητας (σχ.2) η οποία χρησιμοποιήθηκε, ήταν το μοντέλο 007 της εταιρίας Interclima. Η εξωτερική μονάδα της απαρτιζόταν από το συμπιεστή, τον ηλεκτρικό κινητήρα του συμπιεστή, τον εξωτερικό εναλλάκτη (συμπυκνωτήρα ή εξατμιστήρα ανάλογα με την εποχή λειτουργίας), τον ηλεκτρικό κινητήρα του εναλλάκτη, τη βαλβίδα εκτόνωσης και τα απαραίτητα ηλεκτρικά κυκλώματα. Η εσωτερική μονάδα της αποτελούταν από τον εσωτερικό εναλλάκτη (εξατμιστήρα ή συμπυκνωτήρα ανάλογα με την εποχή λειτουργίας) και τον ηλεκτρικό του κινητήρα.

Πίνακας 1. Ισοζύγιο φορτίων της αντιπροσωπευτικής ημέρας του χειμώνα σε KW.

Πηγή εισερχόμενης θερμότητας	Εισερχόμενα ποσά θερμότητας (KW)	Πηγή εξερχόμενης θερμότητας	Εξερχόμενα ποσά θερμότητας (KW)
Χοίροι	8.2	Κατακόρυφες παρειές	4
Θέρμανση (Α.Θ.)	14.5	Στέγη	0.5
		Δάπεδο	3.2
		Αερισμός υγρασίας	14
		Εξάτμιση	1
Σύνολο	22.7	*Σύνολο*	22.7

Πίνακας 2. Ισοζύγιο φορτίων της αντιπροσωπευτικής ημέρας του θέρους σε KW.

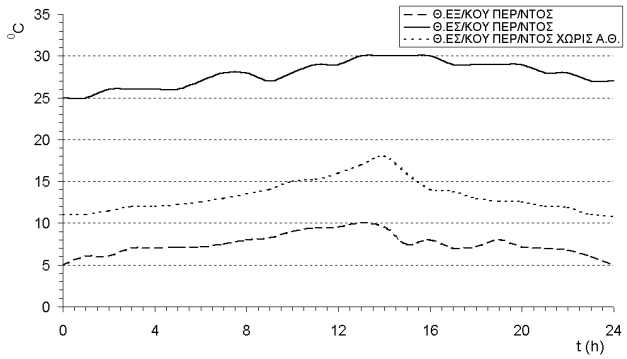
Πηγή εισερχόμενης	Εισερχόμενα ποσά θερμότητας (kW)	Πηγή εξερχόμενης θερμότητας	Εξερχόμενα ποσά θερμότητας (KW)
Χοίροι	8.3	Δάπεδο	3.3
Κατακόρυφες	1.5	Εξάτμιση	1
Στέγη	0.2	Δροσισμός (Α.Θ.)	8.9
Αερισμός οσμών	3.2		
Σύνολο	13.2	*Σύνολο*	13.2



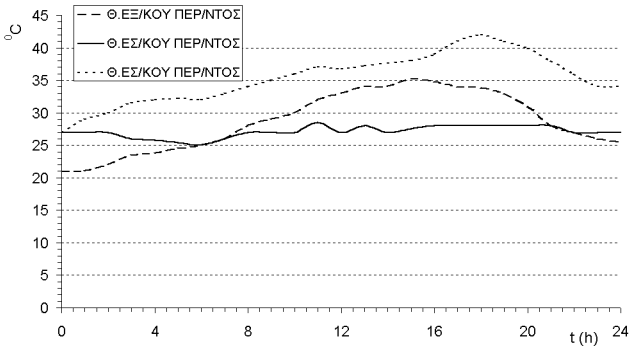
Σχήμα 2. Η αντλία θερμότητας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

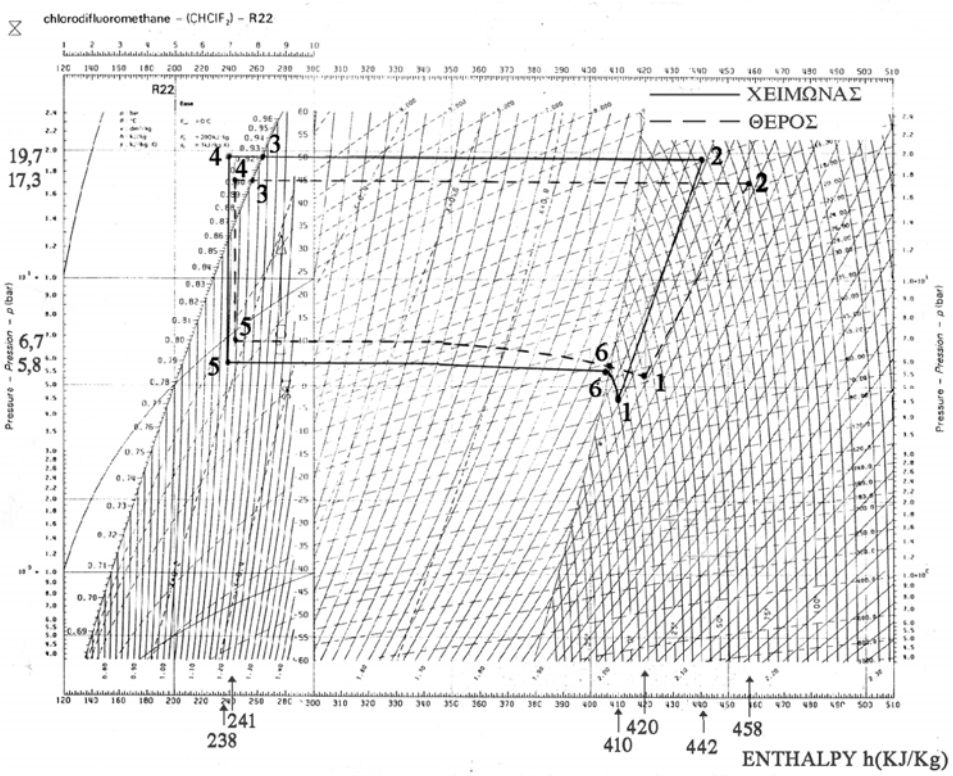
Για τον καθορισμό της ημέρας διεξαγωγής του πειράματος, η επιλογή στηρίχθηκε στην εκλογή της αντιπροσωπευτικής ημέρας. Η αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε εποχής επιλέχτηκε με βάση τη μέση θερμοκρασία και τη μέση ακραία θερμοκρασία σε συνδυασμό με τη διαφορά μέγιστης και ελάχιστης της εποχής από στατιστικά δεδομένα των θερμοκρασιών της Αθήνας για τα έτη από το 1950 έως το 1976 [3]. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με βάση τις προβλέψεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας την προηγούμενη του πειράματος ημέρα. Έτσι λοιπόν, για τη περίοδο του χειμώνα η $29^{η}$ Δεκεμβρίου του έτους 1992 ήταν η πλέον αντιπροσωπευτική, ενώ για το θέρος η αντίστοιχη αντιπροσωπευτική ημέρα ήταν η $13^{η}$ Αυγούστου του έτους 1992. Πειράματα πραγματοποιήθηκαν και στις ενδιάμεσες εποχές (άνοιξη–φθινόπωρο), όμως η Α.Θ. λειτούργησε ελάχιστο χρόνο κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Η επιθυμητή θερμοκρασία των 26-27^{o}C στο περιβάλλον του χοιροστασίου επιτυγχανόταν στο μεγαλύτερο μέρος του 24ώρου χωρίς τη λειτουργία της Α.Θ. Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται, για την περίοδο του χειμώνα, οι θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος, του εσωτερικού περιβάλλοντος (χοιροστάσιο) καθώς και η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος χωρίς χρήση της Α.Θ. ή άλλης θερμικής πηγής. Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται για την περίοδο του θέρους οι θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος, του εσωτερικού περιβάλλοντος (χοιροστάσιο), καθώς και τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος χωρίς δροσισμό.
Με βάση τα πειραματικά δεδομένα που καταγράφηκαν κατά την λειτουργία της Α.Θ. χαράχθηκαν οι θερμοδυναμικοί (ψυκτικοί) κύκλοι τόσο για το χειμώνα όσο και για το θέρος (σχ.5), με κριτήριο τη μέση βαρυκεντρική διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ των δύο θερμικών πηγών, δηλαδή του συμπυκνωτήρα και του εξατμιστήρα.



Σχήμα 3. Θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος, και εσωτερικού περιβάλλοντος με και χωρίς χρήση Α.Θ., κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του χειμώνα.

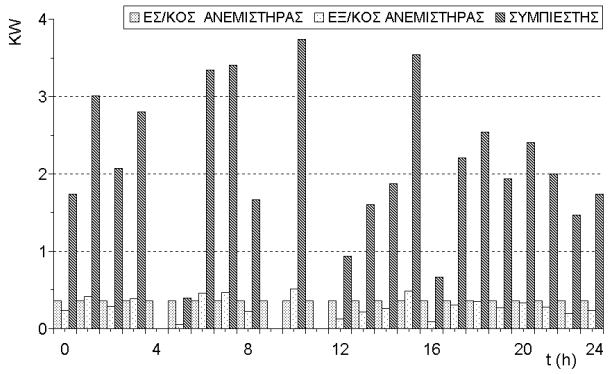


Σχήμα 4. Θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος, εσωτερικού περιβάλλοντος με και χωρίς χρήση Α.Θ., κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του θέρους.

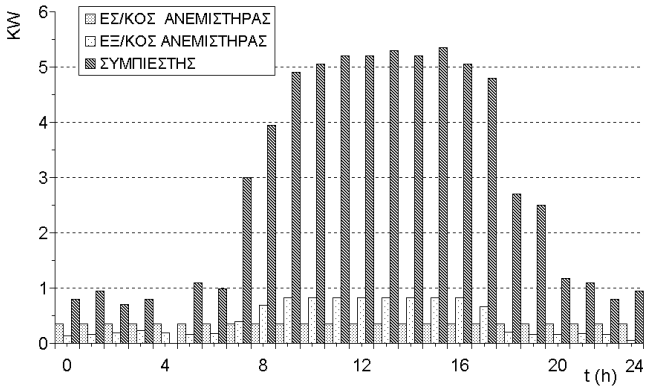


Σχήμα 5. Ο μέσος θερμοδυναμικός κύκλος χειμώνα (——) και θέρους (- - - -)

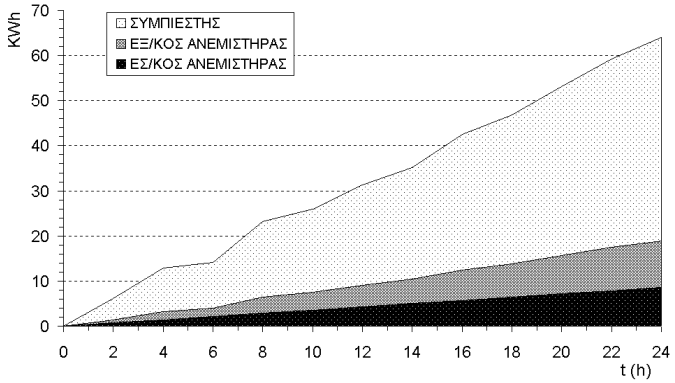
Στα σχήματα 6 και 7 παρουσιάζονται οι αναλυτικές ωριαίες καταναλώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα. Οι συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις της Α.Θ. για λειτουργία ενός εικοσιτετραώρου φαίνονται στα σχήματα 8 (χειμώνα) και 9 (θέρος)



Σχήμα 6. Αναλυτική ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του χειμώνα.



Σχήμα 7. Αναλυτική ανά ηλεκτροκινητήρα ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του θέρους.



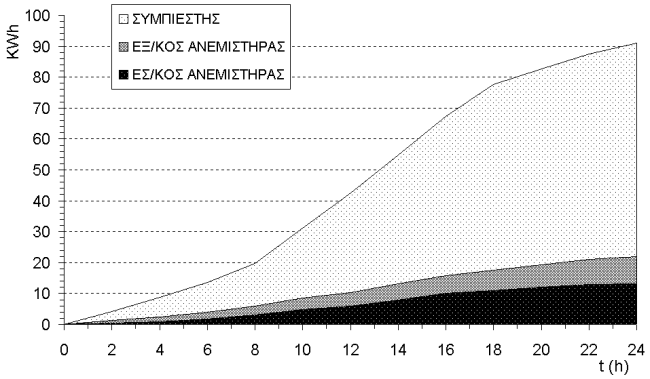
Σχήμα 8. Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του χειμώνα.

Ο συντελεστής ψυκτικής λειτουργίας (συμπεριφοράς) του θέρους κυμαίνεται από 2,80 έως 3,44 με επικρατούσα μέση τιμή 3,20. Ο συντελεστής θερμικής

λειτουργίας (συμπεριφοράς) του χειμώνα κυμαίνεται μεταξύ 3,00 και 4,47 με επικρατούσα μέση τιμή 3,53. Οι μέσες αυτές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς, είναι μεγαλύτερες των αντίστοιχων που απαντώνται στην Ευρώπη [6].

Οι υπολογισμοί ηλεκτρικής κατανάλωσης με βάση το μέσο θερμοδυναμικό κύκλο της Α.Θ. πρέπει να θεωρηθούν υπερεκτιμημένοι κατά 6~7% σε σχέση με τις καταγραφές ηλεκτρικής κατανάλωσης [7].

Συγκρίνοντας το συνολικό κόστος των διαφόρων τύπων κλιματισμού έχουμε, για μεν την αντλία θερμότητας 1114 €, για δε το συνδυασμό ηλεκτρικών θερμαστρών και εξατμιστικού πλαισίου δροσισμού 1690 € (πίν.3). Το κόστος ανά ώρα λειτουργίας είναι: α) αντλία θερμότητας 0,48 € και β) θερμάστρες-εξατμιστικό πλαίσιο 0,72 €. Έτσι λοιπόν, για ετήσια παραγωγή κρέατος 10.200Kg το κόστος επιβάρυνσης ανά Kg κρέατος, θα ανέρχεται στην πρώτη περίπτωση της χρήσης 0,11 €/Kg και στη δεύτερη εξεταζόμενη περίπτωση 0,165 €/Kg.



Σχήμα 9. Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του θέρους.

Πίνακας 3. Υπολογισμός ετήσιου κόστους χρήσης (σε €) της αντλίας θερμότητας σε σύγκριση με ολοκληρωμένο σύστημα θέρμανσης (ηλ. Θερμάστρες) – δροσισμού (εξάτμισης).

Είδος κλιματισμού / Είδος επιβάρυνσης	Αντλία θερμότητας	Ηλεκτρικές Θερμάστρες	Δροσισμός με εξατμιστικά πλαίσια
Απόσβεση	293	39	205
Τόκος επενδεδυμένου καφαλαίου	70	1,6	49
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	663	1183	148
Κόστος συντήρησης	88	3	61
Σύνολα	1114	1227	463

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας, μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

Η μέγιστη λειτουργία της Α.Θ. το θέρος ανέρχεται σε 14,5 ώρες, ενώ το χειμώνα περιορίζεται σε 11 περίπου ώρες.

Ο μέσος συντελεστής λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ 3,53 (χειμώνα) και 3,20 (θέρος).

Η τεχνικοοικονομική εκτίμηση δίνει για μεν το κλασσικό σύστημα θέρμανσης (ηλεκτρικές θερμάστρες) συνεπικουρούμενου το θέρος με σύστημα δροσισμού (εξατμιστικός δροσισμός) κόστος υψηλότερο κατά 50% ανά Kg παραγόμενου κρέατος σε σύγκριση με σύστημα κλιματισμού με Α.Θ. (θέρμανση και ψύξη.

Ο συνδυασμός ηλεκτρικών θερμαστρών και εξατμιστικού πλαισίου αφ' ενός μεν επιβαρύνει περισσότερο το μοναδιαίο κόστος, αφετέρου δε αδυνατεί να δώσει πλήρη λύση το θέρος. Επιπλέον, ένα μέρος της απόσβεσης της Α.Θ. που θα χρησιμοποιηθεί για κλιματισμό της κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης, μπορεί να μετακυληθεί σε παράλληλη ξήρανση ζωοτροφών (καρποί ή χόρτα) κατά τις ενδιάμεσες περιόδους που δε χρησιμοποιείται η Α.Θ. Χρήσιμη επομένως θα ήταν η μελέτη μιας εγκατάστασης θέρμανσης – ψύξης – ξήρανσης σε κτηνοτροφική μονάδα κυρίως ως προς το τεχνικοοικονομικό μέρος της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Black, J.L., Bray, H.J., Giles, L.R., 1999. *A Quantitative Biology of the Pig.* In Kyriazakis, I. (Ed). CABI Publishing. New York..
2. Ekkel, D.,E., Hans, A.M., Spoolder, I.H., Hopster, H., 2002. Lying characterictics as determinants for space requirements in pigs. *Applied Animal Behaviour Scince*. 80. 19-30.
3. Κουρεμένος, Δ., Αντωνόπουλος, Κ., 1984. *Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά 35 Ελληνικών πόλεων*. Φοίβος Β. Σελλούντος & ΣΙΑ. Αθήνα.
4. Κυρίτσης, Σ., Παναγάκης, Π., 1999. *Χοιροστάσια*, Γ.Π.Α. Αθήνα.
5. Lebret, B., Massabie, P., Granier, R., Juin, H., Mourot, J., 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. 447-455.
6. Neukermans, G., Van Der Biest and Debruyckere, M., 1984. Evaluation des applications de la pompe a chaleur dans les batiments d' elevage. *Proc. Of the Int.Commission of agricultural Engineering, vol.4,* Budapest, Hungary, 26-35.
7. Οικονόμου, Ν., 2002. *Ενεργειακή και οικονομική διερεύνηση της χρήσης αντλίας θερμότητας σε χοιροστάσιο*. Μεταπτυχιακή διατριβή. Γ.Π.Α. Αθήνα.
8. Pond, W. G., Maner, J. H., 1974. *Swine Production in Temperate and Tropical Enviroments.* W. H. Freeman and company. U.S.A.
9. Riva, G., Pedretti, Es. F., Fabbri, C., 2000. Utilization of a Heat Pump in Pig Breeding for Energy Saving and Climate and Ammonia Control. *J.Agric. Engng Res.* 77 (4). 449-455.

Ενέργεια στη Γεωργία

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

Σ. Γ. Βουγιούκας, Α. Ν. Δημητριάδης, Κ. Β. Ακριτίδης
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
54124 Θεσσαλονίκη, Θυρίδα 275, email: bougis@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται το δυναμικό μοντέλο ενός συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας σε εφαρμογές ξήρανσης. Το σύστημα ανακτά μέρος της λανθάνουσας θερμότητας των εξερχόμενων ακόρεστων υδρατμών από το ξηραντήριο, μέσω δύο εναλλακτών θερμότητας και μίας τρίοδης βάνας ελέγχου του αέρα ξηράνσεως. Με βάση το δυναμικό μοντέλο σχεδιάζεται ένας PI-ελεγκτής, ο οποίος διατηρεί τους υδρατμούς εξόδου σε θερμοκρασία κορεσμού. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης του μοντέλου, από τα οποία φαίνεται η πολύ καλή απόδοση του ελεγκτή στις διαταραχές της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ταχύτητας του εξερχόμενου αέρα από το ξηραντήριο.

Λέξεις κλειδιά: Ξήρανση, εξοικονόμηση ενέργειας, αυτόματος έλεγχος.

DYNAMIC MODELING AND CONTROL OF AN ENERGY RECOVERY SYSTEM IN DRYING

S. G. Vougioukas, A. N. Dimitriadis, C. B. Akritidis
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering
Aristotle University of Thessaloniki
54124 Thessaloniki, Box 275, email: bougis@agro.auth.gr

ABSTRACT

The dynamic model of an energy saving system for drying applications is developed in this paper. The system uses a heat exchanger and a condenser, to bring the air-vapor mixture to saturation temperature and transfer part of the latent heat of the saturated vapor to the drier incoming air. We use proportional and integral output feedback control and a mixing valve to track the desired saturation temperature of the drier's exhaust air. Simulation results are presented which examine the controller's performance under disturbances in system parameters, such as the dryer exhaust air temperature and the air flow velocity.

Keywords: Drying, energy saving, automatic control.

1 Εισαγωγή

Τα ξηραντήρια συχνά λειτουργούν με χαμηλό βαθμό απόδοσης διότι ο αέρας ξηράνσης αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα ακόρεστος με υψηλή θερμοκρασία. Για την εξοικονόμηση ενέργειας έχει προταθεί η χρήση συστήματος αντλίας θερμότητας [7] μέσω της οποίας ανακτάται η λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης, όμως η απόσβεση ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι εφικτή σε εφαρμογές ξήρανσης γεωργικών προϊόντων λόγω της χαμηλής αξίας τους αλλά και της περιοδικής χρήσης των ξηραντήριων για μικρό χρονικό διάστημα.

Οι Moraitis and Akritidis [5] πρότειναν ένα σύστημα μερικής ανάκτησης της λανθάνουσας θερμότητας του ακόρεστου ατμού, το οποίο αποτελείται από δύο εναλλάκτες θερμότητας, με τα πρωτεύοντα κυκλώματά τους σε σειρά. Ο πρώτος εναλλάκτης οδηγεί τους εξερχόμενους υδρατμούς σε θερμοκρασία κορεσμού, μέρος των οποίων συμπυκνώνεται στον δεύτερο εναλλάκτη μεταφέροντας τμήμα της λανθάνουσας θερμότητας στον αέρα που εισάγεται στο ξηραντήριο. Η λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος απαιτεί συνεχή και ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας των υδρατμών στην έξοδο του πρώτου εναλλάκτη, ανεξαρτήτως διαταραχών στην θερμοκρασία και ταχύτητα ροής του αέρα που εξέρχεται από το ξηραντήριο. Σε εφαρμογή του παραπάνω συστήματος οι Dimitriadis et al. [2] υπολόγισαν τα ισοζύγια ενέργειας του συστήματος, και πρότειναν τη χρήση PID ελέγχου για τη ρύθμιση των μεταβλητών κατάστασης του συστήματος. Στην εργασία αυτή υπολογίζονται τα δυναμικά μοντέλα κατάστασης του πρώτου εναλλάκτη, της βάνας ελέγχου, και του διφασικού συμπυκνωτή, καθώς και το μη γραμμικό μοντέλο του συνολικού συστήματος. Στη συνέχεια σχεδιάζεται ένας PI-ελεγκτής, με βάση το γραμμικοποιημένο μοντέλο του συστήματος και μέσω προσομοιώσεων, ελέγχεται η ακρίβεια και η ταχύτητα ρύθμισης της θερμοκρασίας παρουσία μικρών και μεγάλων βηματικών και περιοδικών διαταραχών.

2 Δυναμικό Μοντέλο Εναλλάκτη Θερμότητας

Θεωρούμε ότι έχουμε έναν μονοφασικό εναλλάκτη αντιρροής, του οποίου το πρωτεύον κύκλωμα θερμού αέρα αποτελείται από έναν μεταλλικό σωλήνα (κέλυφος) μεγάλης διαμέτρου, ενώ το δευτερεύον κύκλωμα από έναν ομοαξονικό μεταλλικό σωλήνα μικρότερης διαμέτρου, στο εσωτερικό του κελύφους. Προκειμένου να υπολογίσουμε τις θερμοκρασίες εντός του εναλλάκτη, χρησιμοποιούμε ένα συγκεντρωμένο μοντέλο (lumped parameter model). Χωρίζουμε δηλαδή τον εναλλάκτη σε τρεις όγκους ελέγχου: ένας όγκος (V_{se}) περιέχει τον αέρα στο κέλυφος, ένας όγκος (V_{te}) τον αέρα στο δευτερεύον κύκλωμα, και ένας όγκος (V_{me}) αποτελείται από το μέταλλο του δευτερεύοντος, μέσω του οποίου μεταφέρεται η θερμότητα. Οι επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας των δύο σωλήνων είναι A_{se}, A_{te}, και οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας h_{se}, h_{te}. Αν η μέση θερμοκρασία κάθε όγκου είναι T_{se}, T_{me}, T_{te} αντίστοιχα, τα

ισοζύγια ενέργειας δίνονται από το παρακάτω σύστημα:

$$(\rho cV)_{se}\frac{dT_{se}}{dt} = \dot{m}_{se}c_{se}(T_{sein} - T_{se}) + h_{se}A_{se}(T_{me} - T_{se}) \quad (1)$$

$$(\rho cV)_{te}\frac{dT_{te}}{dt} = \dot{m}_{te}c_{te}(T_{tein} - T_{te}) + h_{te}A_{te}(T_{me} - T_{te}) \quad (2)$$

$$(\rho cV)_{me}\frac{dT_{me}}{dt} = h_{se}A_{se}(T_{se} - T_{me}) + h_{te}A_{te}(T_{te} - T_{me}) \quad (3)$$

όπου $\rho, \dot{m}_{se}, c_{se}$ είναι η πυκνότητα, η ροή μάζας και η ειδική θερμότητα του αέρα. T_{sein}, T_{tein} είναι οι θερμοκρασίες του αέρα εισόδου στο πρωτεύον και το δευτερεύον κύκλωμα, αντίστοιχα.

Συμβολίζοντας τη θερμοχωρητικότητα κάθε όγκου ως $C = (\rho cV)$ (με κατάλληλο δείκτη), τις αντιστάσεις μεταφοράς θερμότητας ως $R_{mse} = 1/(h_{se}A_{se})$, $R_{mte} = 1/(h_{te}A_{te})$ και τη θερμοχωρητικότητα ροής μάζας ως $R_{fse} = 1/(\dot{m}_{se}c_{se})$ $R_{fte} = 1/(\dot{m}_{te}c_{te})$, το σύστημα διαφορικών εξισώσεων μπορεί να γραφεί υπό μορφή πινάκων εξισώσεων κατάστασης ως εξής:

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_{se} \\ \dot{T}_{me} \\ \dot{T}_{te} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{e11} & a_{e12} & 0 \\ a_{e21} & a_{e22} & a_{e23} \\ 0 & a_{e32} & a_{e33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{se} \\ T_{me} \\ T_{te} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{e1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & b_{e2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{sein} \\ T_{tein} \end{bmatrix} \quad (4)$$

όπου $b_{e1} = 1/(C_{se}R_{fse}), b_{e2} = 1/(C_{te}R_{fte})$, και

$$a_{e11} = -\frac{1}{C_{se}}\left(\frac{1}{R_{fse}} + \frac{1}{R_{mse}}\right),\ a_{e12} = \frac{1}{C_{se}R_{mse}}$$

$$a_{e22} = -\frac{1}{C_{me}}\left(\frac{1}{R_{mse}} + \frac{1}{R_{mte}}\right),\ a_{e21} = \frac{1}{C_{me}R_{mse}},\ a_{e23} = \frac{1}{C_{me}R_{mte}}$$

$$a_{e33} = -\frac{1}{C_{te}}\left(\frac{1}{R_{fte}} + \frac{1}{R_{mte}}\right),\ a_{e32} = \frac{1}{C_{te}R_{mte}} \quad (5)$$

3 Δυναμικό Μοντέλο Εναλλάκτη Συμπύκνωσης

Ο συμπυκνωτής, που χρησιμοποιείται στο προτεινόμενο σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας είναι εναλλάκτης θερμότητας ίδιας σχεδίασης με τον πρώτο εναλλάκτη. Στο πρωτεύον κύκλωμα (κέλυφος) εισέρχονται κορεσμένοι υδρατμοί, μέρος των οποίων συμπυκνώνεται με ταυτόχρονη απελευθέρωση της λανθάνουσας θερμότητάς τους, η οποία μεταφέρεται στον αέρα εντός του σωλήνα του δευτερεύοντος κυκλώματος.

Επειδή οι μη γραμμικές εξισώσεις με μερικές παραγώγους, που περιγράφουν το φαινόμενο της συμπύκνωσης κατά τη διέλευση υδρατμών μέσα από σωλήνα δεν προσφέρονται για τη σχεδίαση ελεγκτών της διαδικασίας διφασικής ροής (αερίου και υγρού) χρησιμοποιείται μία προσεγγιστική μέθοδος [3,4] που μοντελοποιεί το φαινόμενο χωρίζοντας τον σωλήνα σε τρεις όγκους ελέγχου

συνδεμένους σε σειρά. Ο πρώτος όγκος περιέχει μόνο υπέρθερμο ατμό, ο δεύτερος περιέχει μίγμα κορεσμένου ατμού και υγρού (διφασική ροή) και ο τρίτος περιέχει μόνο υπόθερμο υγρό. Το μήκος κάθε όγκου δεν είναι σταθερό, αλλά μετακινείται ως συνάρτηση των θερμοδυναμικών παραμέτρων και γι΄ αυτό τα μήκη αντιμετωπίζονται ως μεταβλητές κατάστασης του συστήματος, όπως και οι θερμοκρασίες, πιέσες και ενθαλπίες των όγκων ελέγχου.

Το μη γραμμικό μοντέλο που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι ιδιαίτερα περίπλοκο και για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε με δύο επιπλέον παραδοχές: α) η θερμοκρασία των εισερχόμενων υδρατμών είναι ίση με τη θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (κορεσμού), λόγω ελέγχου, συνεπώς ο πρώτος εναλλάκτης αποτελεί τον πρώτο όγκο ελέγχου και β) μόνο ένα ποσοστό των εισερχόμενων υδρατμών υγροποιείται στον συμπυκνωτή και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Wedekind et al. [6] αυτό είναι σταθερό στο χρόνο. Η τελευταία παραδοχή υποδηλώνει ότι ο τρίτος όγκος ελέγχου δε μετέχει στην ανάκτηση θερμότητας.

Έστω V_{tc}, V_{mc} οι όγκοι του εσωτερικού του σωλήνα και του μετάλλου του, αντίστοιχα, και A_{sc}, A_{tc} η εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα, αντίστοιχα. Έστω, επίσης, h_{sc}, h_{tc} οι αντίστοιχοι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας. Αν οι θερμοκρασίες στο κέλυφος, στο μέταλλο του σωλήνα και στο εσωτερικό του είναι T_{sc}, T_{mc}, και T_{tc}, αντίστοιχα, το δυναμικό ισοζύγιο για το δευτερεύον κύκλωμα (σωλήνα) είναι:

$$(\rho cV)_{tc}\frac{dT_{tc}}{dt} = \dot{m}_{tc}c_{tc}(T_{tcin} - T_{tc}) + h_{tc}A_{tc}(T_{mc} - T_{tc}) \tag{6}$$

όπου $\rho, \dot{m}_{tc}$ είναι η πυκνότητα και η ροή μάζας του αέρα, c_{tc} η ειδική θερμότητα του αέρα, και T_{tcin} η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του σωλήνα. Το δυναμικό ισοζύγιο ενέργειας για τη μάζα μετάλλου του σωλήνα είναι:

$$(\rho cV)_{mc}\frac{dT_{mc}}{dt} = h_{sc}A_{sc}(T_{sc} - T_{mc}) + h_{tc}A_{tc}(T_{tc} - T_{mc}) \tag{7}$$

Αν ο όγκος ελέγχου συμπύκνωσης έχει σταθερό μήκος και η πίεση είναι σταθερή, και με δεδομένο ότι το ποσοστό του εισερχόμενου υδρατμού που συμπυκνώνεται είναι σταθερό, το ισοζύγιο ενέργειας είναι σταθερό και δίνεται από την εξίσωση [4]:

$$\sigma\dot{m}_{sc}H_{fg} + h_{sc}A_{sc}(T_{mc} - T_{sc}) = 0 \tag{8}$$

όπου $H_{fg} = (h_g - h_f)J/kg$, είναι η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης του κορεσμένου ατμού και σ το σταθερό ποσοστό του συμπυκνούμενου ατμού. Η λανθάνουσα θερμότητα είναι μη γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας κορεσμού, αλλά για εφαρμογές ξήρανσης, όπου η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 150 °C υπό ατμοσφαιρική πίεση, μπορεί να προσεγγιστεί - με σφάλμα μικρότερο του 1,5% - από τη γραμμική σχέση [1]:

$$H_{fg}(T_{scin}) = c_1 + c_2T_{scin} \tag{9}$$

όπου $c_1 = k_1 + 273.16, c_2 = -k_2$. Λύνοντας την εξίσωση (8) ως προς $(T_{mc} - T_{sc})$, αντικαταστώντας στην εξίσωση (7) και ορίζοντας τη θερμοχωρητικότητα κάθε όγκου και τη θερμική αντίσταση μεταξύ του μετάλλου και του εσωτερικού του σωλήνα δευτερεύοντος κυκλώματος, όπως στο μοντέλο εναλλάκτη θερμότητας, οι δυναμικές εξισώσεις του συμπυκνωτή γράφονται ως εξής:

$$\frac{dT_{mc}}{dt} = a_{c11}(T_{mc} - T_{tc}) + b_{c1}T_{scin} + w \quad (10)$$

$$\frac{dT_{tc}}{dt} = a_{c21}(T_{mc} - T_{tc}) + \frac{\dot{m}_{tc}c_{tc}}{C_{tc}}(T_{tcin} - T_{tc}) \quad (11)$$

όπου $a_{c11} = -1/(C_{mc}R_{mtc}), a_{c21} = 1/(C_{tc}R_{mtc}), b_{c1} = \sigma\dot{m}_{sc}c_2/C_{mc}, w = \sigma\dot{m}_{sc}c_1/C_{mc}$

4 Μοντέλα Μίκτη Αέρα και Βάνας

Η συνολική ροή του αέρα $\dot{m}_d$ στην έξοδο του μίκτη ρυθμίζεται από ανεξάρτητο ελεγκτή και θεωρείται σταθερή. Στη μία είσοδο του μίκτη έχουμε ροή $\dot{m}_e$, και στην άλλη είσοδο ροή $\dot{m}_a$. Θεωρούμε ότι η μίξη γίνεται ακαριαία και ως εκ τούτου το σύστημα είναι στατικό, δηλαδή, περιγράφεται από την παρακάτω αλγεβρική εξίσωση:

$$\dot{m}_d = \dot{m}_e + \dot{m}_a \quad (12)$$

Το ποσοστό ανοίγματος (στροφή) της βάνας, η οποία ρυθμίζει την παροχή αέρα $\dot{m}_e$, παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, 1]$, δηλαδή, έχει όρια κορεσμού. Επειδή το σύστημα της βάνας έχει μικρή αδράνεια, στην πράξη προσεγγίζεται με μία διαφορική εξίσωση πρώτου βαθμού της μορφής:

$$\dot{z} = az + bu \quad (13)$$

όπου u είναι το ηλεκτρικό σήμα ελέγχου. Το άνοιγμα της βάνας προκύπτει από την εφαρμογή μίας συνάρτησης κορεσμού (saturation function) $z_v = sat(z)$, της μορφής:

$$z_v = \begin{cases} 1.0 & \text{if } z \geq 1 \\ z & \text{if } 0 < z < 1 \\ 0 & \text{if } z \leq 0 \end{cases}$$

Θεωρούμε ότι υπάρχει γραμμική σχέση κέρδους K_v, μεταξύ ποσοστού ανοίγματος z_v και ποσοστού ροής, δηλαδή:

$$\dot{m}_a = K_v z_v \dot{m}_d \quad (14)$$

$$\dot{m}_e = (1 - K_v z_v)\dot{m}_d \quad (15)$$

Εάν T_a είναι η θερμοκρασία της ροής $\dot{m}_e$ και T_{ain} της ροής $\dot{m}_a$ και εάν αγνοήσουμε τυχόν θερμικές απώλειες στη βάνα, η θερμοκρασία της ροής εξόδου T_{ej} δίνεται από την εξίσωση:

$$\dot{m}_d T_{ej} = \dot{m}_e T_a + \dot{m}_a T_{ain} \quad (16)$$

5 Μοντέλο Συνολικού Συστήματος

Στο προτεινόμενο σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας ισχύουν τα παρακάτω: α) η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του ξηραντηρίου ελέγχεται από ανεξάρτητο σύστημα ελέγχου, ενώ η θερμοκρασία T_0, και η σχετική υγρασία ϕ στην έξοδό του αποτελούν μετρήσιμες παραμέτρους, β) η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα στο δευτερεύον κύκλωμα του συμπυκνωτή είναι ίση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ($T_{tcin} = T_a$), η οποία είναι επίσης μετρήσιμη, γ) εφ'όσον η έξοδος του ξηραντηρίου αποτελεί είσοδο του πρώτου εναλλάκτη, έχουμε $T_{sein} = T_0$ και $T_{scin} = T_{se}$ και δ) η έξοδος του δευτερεύοντος του συμπυκνωτή οδηγείται στον μίκτη αέρα, συνεπώς $T_{ain} = T_{tc}$ και $T_{ej} = T_{tein}$.

Η συνολική εξερχόμενη ροή από το ξηραντήριο αποτελείται από ροή αέρα ($\dot{m}_d$) και υδρατμού ($\dot{m}_v = h\dot{m}_d$), όπου h είναι η απόλυτη υγρασία. Οι ροές στον πρώτο εναλλάκτη είναι $\dot{m}_{se} = \dot{m}_{te} = \dot{m}_d$, ενώ οι ροές υδρατμού και αέρα στο πρωτεύον και δευτερεύον του συμπυκνωτή είναι αντίστοιχα $\dot{m}_{sc} = \dot{m}_v$ και $\dot{m}_{tc} = \dot{m}_a$. Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (12, 15) και (16), υπολογίζουμε τη θερμοκρασία εισόδου στο δευτερεύον κύκλωμα του εναλλάκτη:

$$T_{tein} = T_a + K_v z(T_{tc} - T_a) \tag{17}$$

όπου z είναι το άνοιγμα της βάνας ελέγχου. Οι εξισώσεις κατάστασης του συνολικού συστήματος υπολογίζονται, εάν συνδυάσουμε τις παραπάνω εξισώσεις, με τις (4), (11), (13):

$$\begin{aligned}
\dot{T}_{se} &= a_{e11}T_{se} + a_{e12}T_{me} + b_{e1}T_0 \\
\dot{T}_{me} &= a_{e21}T_{se} + a_{e22}T_{me} + a_{e23}T_{te} \\
\dot{T}_{te} &= a_{e32}T_{me} + a_{e33}T_{te} + K_v b_{e2}(T_{tc} - T_a)z_v + b_{e2}T_a \\
\dot{T}_{mc} &= b_{c1}T_{se} + a_{c11}T_{mc} - a_{c11}T_{tc} + w \\
\dot{T}_{tc} &= a_{c21}T_{mc} - a_{c21}T_{tc} + K_v b_{c2}(T_a - T_{tc})z_v \\
\dot{z} &= az + bu
\end{aligned}$$

όπου $z_v = sat(z), b_{c2} = (\dot{m}_{tc}c_{tc})/C_{tc}$.

6 Σχεδίαση Ελεγκτή και Προσομοιώσεις

Το σύστημα είναι εμφανώς μη γραμμικό, διότι η είσοδός του πολλαπλασιάζεται από μεταβλητές κατάστασης, ενώ περιορίζεται από μία μη γραμμική συνάρτηση κόρου. Για τέτοια συστήματα δεν υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογία σχεδίασης ελεγκτών, επειδή όμως οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος και εξόδου του ξηραντηρίου, καθώς και η υγρασία εξόδου, δεν αναμένεται να μεταβάλλονται δραστικά κατά τη λειτουργία του συστήματος, το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την κλασσική μεθοδολογία σχεδίασης ελεγκτή για μία *γραμμική προσέγγιση* του συστήματος, κοντά σε ένα ονομαστικό σημείο λειτουργίας, και εκτίμησης των επιδόσεών του σε περιοχές λειτουργίας μακράν της ονομαστικής.

Συγκεντρώνοντας όλες τις μεταβλητές κατάστασης σε ένα διάνυσμα

$$\mathbf{x} = [\dot{T}_{se}\ \dot{T}_{me}\ \dot{T}_{te}\ \dot{T}_{mc}\ \dot{T}_{tc}\ \dot{z}]^T \tag{18}$$

κάθε ξεχωριστή εξίσωση κατάστασης έχει τη μορφή $\dot{x}_i = f_i(\mathbf{x}, u)$, συνεπώς, η δυναμική του συστήματος εκφράζεται από την εξίσωση:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, u), \quad y = \mathbf{C}\mathbf{x} \tag{19}$$

όπου $\mathbf{f} = [f_1 \cdots f_6]^T$, y είναι η έξοδος του συστήματος που θέλουμε να ελέγξουμε, δηλαδή η θερμοκρασία T_{se}, και $\mathbf{C} = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$. Η γραμμική προσέγγιση του συστήματος (19) έχει τη μορφή:

$$\dot{\delta\mathbf{x}} = \mathbf{F}\delta\mathbf{x} + \mathbf{G}\delta u, \quad \delta y = \mathbf{C}\delta\mathbf{x} \tag{20}$$

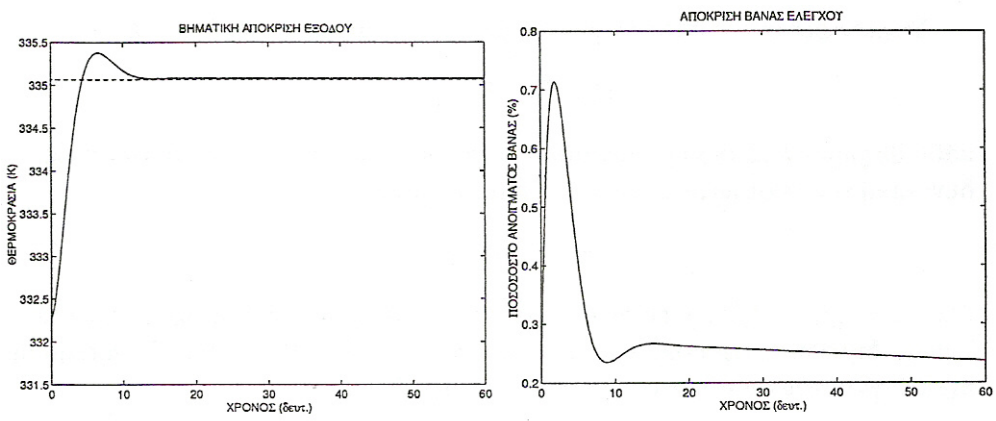
όπου $F_{ij} = \partial f_i/\partial x_j$ και $G_i = \partial f_i/\partial u$. Οι μερικές παράγωγοι υπολογίζονται στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας, δηλαδή, σε ορισμένο $\mathbf{x}_0$ και u_0.

Για τον έλεγχο του γραμμικοποιημένου συστήματος χρησιμοποιήθηκε ένας PI-ελεγκτή της μορφής:

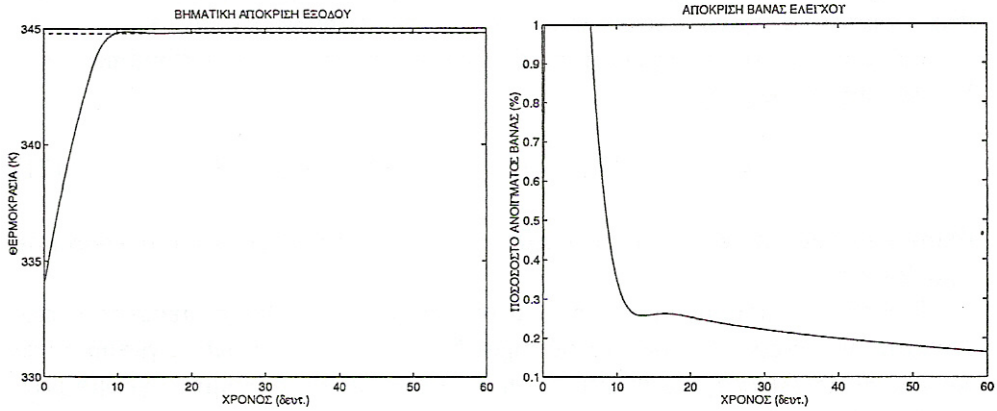
$$u = u_0 - K_p(T_{se} - T_{sat}) - K_i \int (T_{se} - T_{sat})dt \tag{21}$$

όπου η επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου ισούται με την *θερμοκρασία κορεσμού* $T_{sat}(T_0, \phi)$.

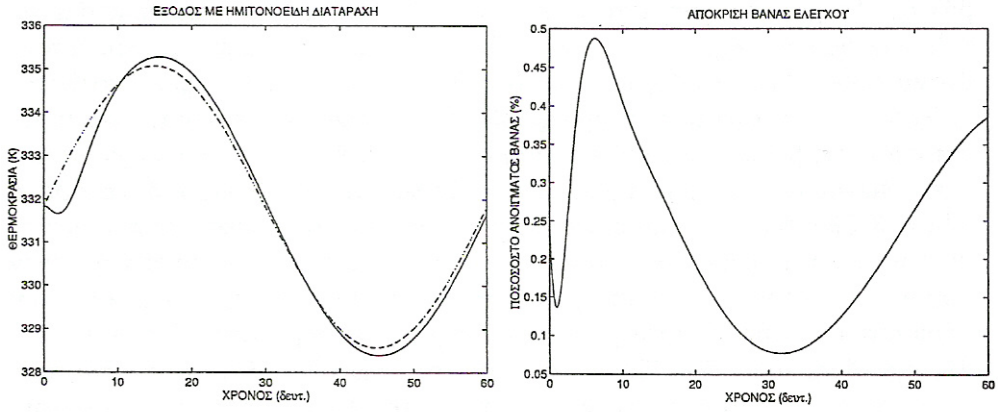
Για την προσομοίωση του παραπάνω ελεγκτή επιλύθηκε, μέσω του υπολογιστικού πακέτου Matlab, το σύστημα $\mathbf{f}(\mathbf{x}_0, u_0) = \mathbf{0}$ και υπολογίσθηκαν τα $\mathbf{x}_0, u_0$, για εναλλάκτη και συμπυκνωτή αντιρροής με συγκεκριμένα γεωμετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά, υποθέτοντας βάνα χρόνου απόκρισης 2 sec, και $T_a = 15^0C, T_0 = 70^0C, \phi = 0,6, T_{sat} = 58,66^0$C. Η προκύπτουσα είσοδος είναι $u_0 = 0,3022$, και βρίσκεται εντός της γραμμικής περιοχής λειτουργίας της βάνας. Το μέγιστο επιτρεπτό κέρδος για σύστημα κρίσιμης αποσβαινόμενης ταλάντωσης είναι $K_p = 0,3$, ενώ ο ολοκληρωτής υλοποιήθηκε με προστασία έναντι κόρου (anti-windup), με κέρδος $K_i = K_p/5$. Στο σχήμα 1 φαίνεται η έξοδος του συστήματος (θερμοκρασία εξόδου πρώτου εναλλάκτη) και η μετατόπιση της βάνας, υπό την επίδραση του ελεγκτή, όταν η θερμοκρασία του εξερχόμενου από το ξηραντήριο αέρα αυξηθεί κατά 5% (βηματική διαταραχή $\delta T_0 = 3,5$K). Με τις επιλεγείσες τιμές των κερδών του ελεγκτή το παραμένον σφάλμα γίνεται μηδέν, ενώ η μετατόπιση της βάνας παραμένει εντός των ορίων κόρου. Για τον έλεγχο απόκρισης του συστήματος σε περιοχή μακράν του ονομαστικού σημείου λειτουργίας, εισήχθη μια μεγάλη βηματική διαταραχή του T_0, της τάξης του 20%. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2, η βάνα οδηγείται στον κόρο, αλλά ο ελεγκτής επαναφέρει επιτυχώς την θερμοκρασία στην επιθυμητή τιμή. Στην πράξη δεν αναμένεται η στιγμιαία αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του πρώτου εναλλάκτη, όπως φαίνεται στα σχήματα 1 και 2 στο χρόνο $t = 0$,



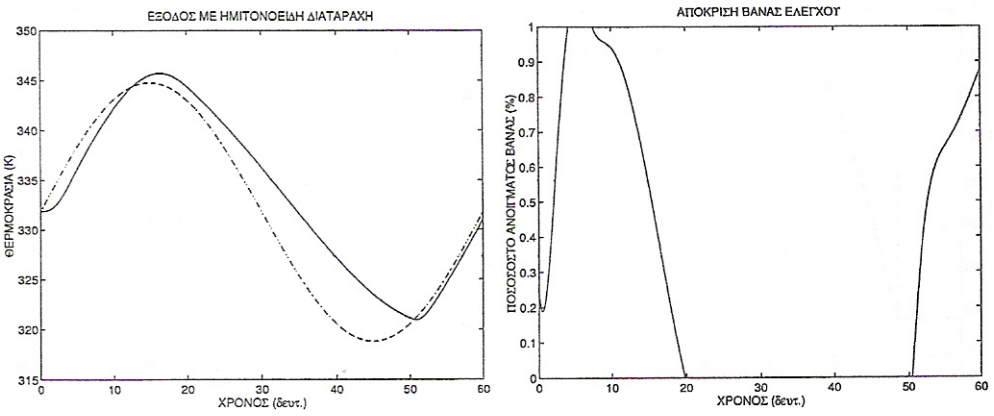
Σχήμα 1: Μικρή Βηματική Διαταραχή: Θερμοκρασία Εξόδου και Μετατόπιση Βάνας



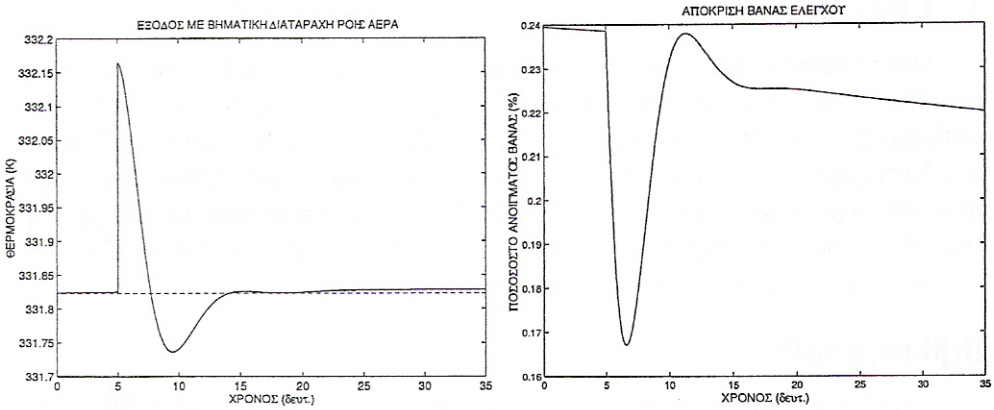
Σχήμα 2: Μεγάλη Βηματική Διαταραχή: Θερμοκρασία Εξόδου και Μετατόπιση Βάνας



Σχήμα 3: Ημιτονοειδής Διαταραχή: Θερμοκρασία Εξόδου και Μετατόπιση Βάνας



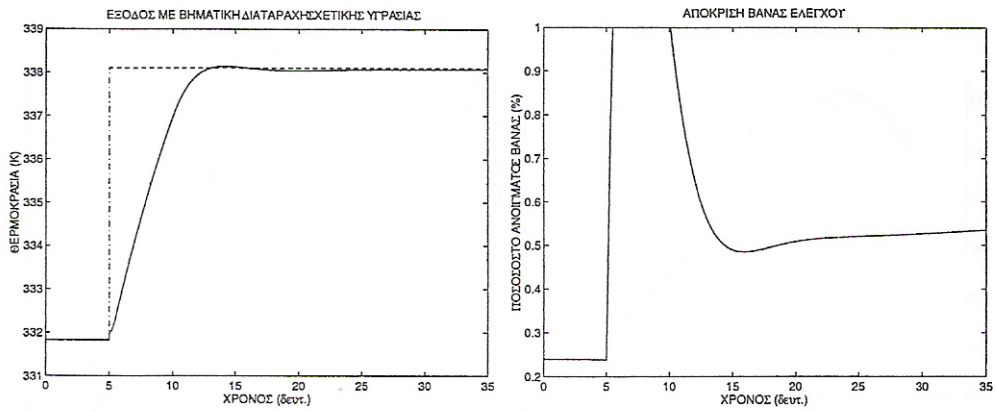
Σχήμα 4: Μεγάλη Ημιτονοειδής Διαταραχή: Θερμοκρασία Εξόδου και Μετατόπιση Βό



Σχήμα 5: Διαταραχή Ροής Αέρα: Θερμοκρασία Εξόδου και Μετατόπιση Βάνας

η οποία οφείλεται στο ότι χρησιμοποιήθηκε συγκεντρωμένο μοντέλο που δεν περιλαμβάνει τις χρονικές καθυστερήσεις λόγω πεπερασμένης ταχύτητας ροής του αέρα και της αντίστασης της διάδοσης θερμότητας στο μέταλλο κατά μήκος του άξονα ροής.

Επίσης, δοκιμάστηκε η συμπεριφορά του ελεγκτή σε ημιτονοειδή διαταραχή συχνότητας 1 Hz, με πλάτος 5% (Σχήμα 3) και 20% (Σχήμα 4) της ονομαστικής τιμής $(T_0 = 70^0)$C. Τέλος, ελέγχθηκε η λειτουργία του ελεγκτή με βηματική διαταραχή στην ταχύτητα ροής του αέρα από $V_d = 14m/s$ σε $18m/s$ (28,5%) και βηματική διαταραχή στην σχετική υγρασία από $\phi = 0,6$ σε $0,8$ (33,3%). Από τα σχήματα 5, 6 φαίνεται ότι εντός 15 δευτερόλεπτα η θερμοκρασία εξόδου επιστρέφει στην επιθυμητή τιμή, χωρίς παραμένον σφάλμα, παρά τις μεγάλες διακυμάνσεις στην ταχύτητα ροής και σχετική υγρασία του αέρα.



Σχήμα 6: Διαταραχή Σχετικής Υγρασίας: Θερμοκρασία Εξόδου και Μετατόπιση Βάνα

7 Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συμπεραίνεται ότι είναι δυνατή η ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας των εξερχόμενων υδρατμών από τον πρώτο εναλλάκτη, έτσι ώστε να εισέρχονται στον συμπυκνωτή κορεσμένοι, ανεξαρτήτως διαταραχών της θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας εξόδου του εξερχόμενου αέρα από το ξηραντήριο. Η ρύθμιση κατέστη δυνατή με την χρήση ενός PI-ελεγκτή, τεσσάρων αισθητήρων (T_0, T_a, T_{se}, ϕ), και μίας βάνας ελέγχου η οποία παρέχει μέτρηση του ποσοστού ανοίγματός της.

Βιβλιογραφία

1. ASAE Standard Psychrometric Data ASAE D271, Dec.99, St. Joseph, MI USA.
2. Dimitriadis A., Akritidis C., Arvanitis L. 2000. Energy Saving in Drying Plants by Partial Recovery of the Latent Heat. Intl. Drying Symposium, Paper No:289.
3. Gruhle D., Isermann R. 1980. Modeling and Control of a Refrigerant Evaporator. ASME J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control , Vol. 107, pp. 235-239.
4. He, Liu, Asada. 1997. Modeling of Vapor Compression Cycles for Multivariable Feedback Control of HVAC Systems. ASME J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 119, pp. 183-191.
5. Moraitis C., Akritidis C. 1997. Energy Saving in Industrial Drying Plants by Partial Recovery of the Latent Heat of the Exhaust Air. Drying Technology, Vol. 15,No. 6-8, pp. 1931-1940.
6. Wedekind L., Bhatt L., Beck T. 1978. A System Mean Void Fraction Model for Predicting Various Transient Phenomena Associated with Two--Phase Evaporating and Condensing Flows. Int. J. Multiphase Flow, Vol. 4, pp.97-114.
7. Zylla R., Strumillo C. 1987. Heat Pumps in Drying. Hemisphere Publishing Corp., Washington D.C., pp. 129-141.

ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΜΒΑΚΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Θ. Λέλλης[1], Γ. Μαρτζόπουλος[2], Π. Ντιούδης[1] , Αγ. Φιλίντας[1], Αν. Μπλούκα[1], Μ. Λιναρδοπούλου[1].

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

[2]Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τ.Κ. 540 06, Θεσ/νίκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η παραγωγικότητα σε βιομάζα 17 ποικιλιών βάμβακος στο Νομό Καρδίτσας το έτος 2001. Για κάθε ποικιλία εφαρμόσθηκε ένα σχέδιο 3 επαναλήψεων σε διαφορετικά γεωγραφικά διαμερίσματα του Νομού. Μετά την συλλογή πραγματοποιήθηκαν σε κάθε αγρό μετρήσεις με δειγματοληψία φυτών από τυχαίες σειρές. Υπολογίστηκε το βάρος της ξηρής και χλωρής φυτομάζας για το υπέργειο και το υπόγειο τμήμα. Ακόμη υπολογίστηκε ο λόγος παραγωγής / βιομάζα. Ως παραγωγικότερη ποικιλία βάμβακος σε βιομάζα απεδείχθη η ποικιλία ALLEGRIA ακολουθούμενη από την DELTA OPAL.

Λέξεις κλειδιά: Υπολείμματα βαμβακιού, παραγωγή βιομάζας βαμβακιού.

COTTON STALK AND BIOMASS PRODUCTION OF KARDITSA REGION

Th. Lellis[1], G. Martzopoulos[2], P. Ntioudis[1], Ag. Filintas[1], An. Mplouka[1], M. Linardopoulou[1].

[1]Technological Educational Institute of Larissa, School of Agriculture, Department of Agricultural Engineering and Irrigation, 41110, Larissa, Greece.

[2]Aristotle Univercity of Thessaloniki, School of Agriculture, 540 06, Thessaloniki, Greece.

ABSTRACT

Biomass productivity of 17 cotton stalk genotypes of Karditsa Region in 2001 was the subject-matter of this study. A plan of 3 repeats was applied for every cotton genotype in different terrains of the region. After the collection, sampling measurements of plants from random rows was implemented. Weight of dry and fresh mass of the plants was estimated for the underground and the earthly part. Furthermore the ratio of production / biomass was estimated also. Most productive cotton genotype was proved to be genotype ALLEGRIA followed by DELTA OPAL.

Keywords: Cotton stalk, cotton biomass production.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Μετά από μία συνεχή ανοδική πορεία αρκετών χρόνων και αφού έφτασε σε ύψος ρεκόρ το 1995 η βαμβακοκαλλιέργεια στην Ελλάδα σταθεροποιήθηκε στα 4 εκατομμύρια στρέμματα, (4.031 το 2001, 4.136 το 2000, 4.205 το 1999) με μια παραγωγή που ξεπερνά ετησίως το 1 εκατομ. Τόν. σε σύσπορο βαμβάκι (1.432 το 2001, 1.260 το 2000, 1.249 το 1999) [1]. Το βαμβάκι καταλαμβάνει κάθε χρόνο τις μισές περίπου από τις αρδευόμενες εκτάσεις, καλλιεργείται σε πολλές περιοχές, απασχολεί πάνω από 100.000 καλλιεργητές (το 40% αμιγείς βαμβακοπαραγωγοί) σε ορισμένες περιοχές μάλιστα αποτελεί τη μοναδική πηγή εισοδήματος για τους αγρότες. Η μέση καλλιεργούμενη έκταση ανά παραγωγό είναι 40 στρ. περίπου. Το 55% των εκτάσεων αυτών συγκεντρώνεται στη Θεσσαλία [2] με το 33,3% στην Καρδίτσα και στρεμματική συμμετοχή της Καρδίτσας με 14,3% Πανελλαδικώς [1]. Η μέση στρεμματική απόδοση σύσπορου βαμβακιού που παράγεται Πανελλαδικώς υπερβαίνει τα 251 κιλά ανά στρέμμα ενώ εκείνη των υπολειμμάτων τα 502 κιλά [2]. Η Καρδίτσα συμμετέχει με 639.629 στρ., 15.985 παραγωγούς [1], συνολική παραγωγή 180.177.093 κιλά [4] και παραγωγή υπολειμμάτων 360.354.186 κιλά περίπου ξηρού βάρους (σχέση παραγωγής προς υπολείμματα 1:2) [2]. Τα υπολείμματα των γεωργικών καλλιεργειών είναι πάρα πολύ σημαντικά όσον αφορά την ενεργειακή τους μετατροπή [3, 5]. Το άχυρο από τα σιτηρά, τα κότσαλα και τα στελέχη του αραβοσίτου, τα στελέχη και τα φύλλα του βαμβακιού και του ηλίανθου, οι κληματίδες και το ελαιοπυρηνόξυλο, είναι εκείνα τα οποία μπορούν πρακτικά να χρησιμοποιηθούν για ενεργειακούς σκοπούς [2]. Οι ποσότητες των υπολειμμάτων, που αναφέρονται παραπάνω οδήγησαν την ομάδα μας να ασχοληθεί και μόνο με τα υπολείμματα της καλλιέργειας του βαμβακιού και για την περιοχή με την μεγαλύτερη παραγωγή βάμβακος, την ΚΑΡΔΙΤΣΑ. Σκοπός της εργασίας μας ήταν να μελετήσουμε:

- την σχέση των ποικιλιών του βάμβακος και της παραγόμενης βιομάζας στο νομό Καρδίτσας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.

Δεκαεπτά ποικιλίες βάμβακος (Πίνακας 1) μελετήθηκαν στο Νομό Καρδίτσας

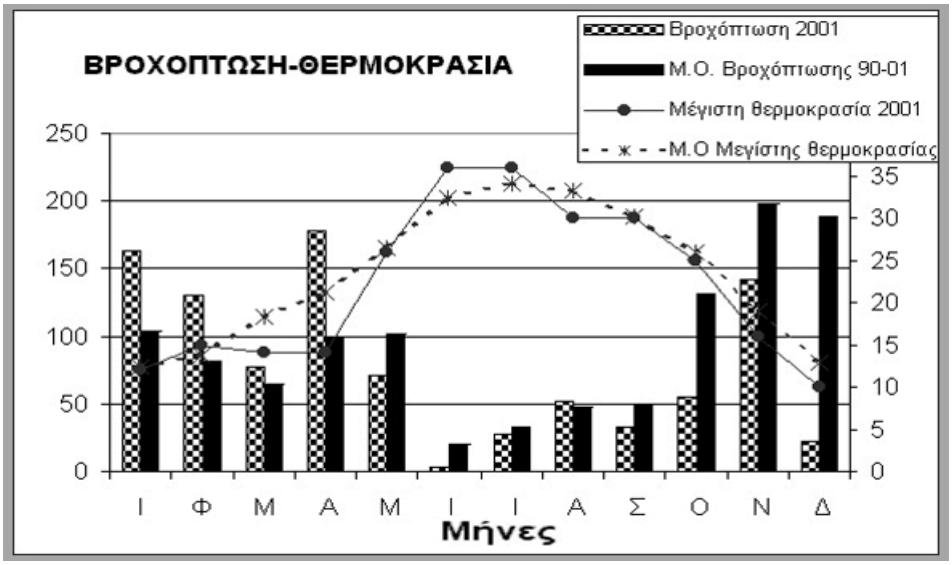
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Ποικιλίες βάμβακος που μελετήθηκαν.

α/α	Ποικιλία		Α/α	Ποικιλία		α/α	Ποικιλία
1	PIONEER		7	SAELA		13	LACHATA
2	Delta OPAL		8	MILLENIOUM		14	KONTOR
3	MIDAS		9	FANTOM		15	AGRIS
4	BOLINA		10	KARAT		16	XRISTIDIS
5	ALLEGRIA		11	ETNA		17	KLARUDA
6	VELOS		12	LIGOUR		-	-

2.1. Κλιματικά δεδομένα.

Τα κλιματικά δεδομένα κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Απρίλιος-

Οκτώβριος 2001) κυμάνθηκαν περί τις μέσες τιμές, εκτός από τον Απρίλιο και τον Οκτώβριο όπου τον Απρίλιο το ύψος της βροχόπτωσης ήταν μεγαλύτερο της μέσης τιμής και η μέγιστη θερμοκρασία χαμηλότερη της μέγιστης τιμής των τελευταίων δέκα χρόνων (Σχήμα 1).



Σχήμα 1.Μέγιστη θερμοκρασία αέρα (^{o}C) και βροχόπτωση (mm) το 2001 και μέσοι όροι για την περίοδο 1990-2001. Τα μετεωρολογικά δεδομένα προέρχονται από σταθμό της Δ.Ε.Η. σε απόσταση 25 χλμ. από τους πειραματικούς αγρούς.

2.2. Σχεδιασμός πειραματικού, υλικά, μεθοδολογία και μετρήσεις.

Εφαρμόσθηκε ένα σχέδιο τριών επαναλήψεων της ιδίας ποικιλίας σε διαφορετικά γεωγραφικά διαμερίσματα του νομού Καρδίτσας. Το μέγεθος του πειραματικού τεμαχίου ήταν ο ίδιος ο αγρός του παραγωγού-συνεργάτη. Σπορά, λίπανση, περιποίηση, άρδευση και συλλογή ήταν στην δικαιοδοσία του παραγωγού. Μετά τη συλλογή πραγματοποιήθηκαν σε κάθε αγρό τρεις μετρήσεις με δειγματοληψία από τυχαίες σειρές με την επιλογή 10 (δέκα) φυτών. Σημειώθηκε σε απόσταση 50 mm από το έδαφος και επί του στελέχους των δέκα φυτών του βαμβακιού μια γραμμή. Εκριζώθηκαν τα 10 (δέκα) φυτά και ζυγίστηκαν. Κόπηκαν επί της σημειωθείσης γραμμής. Το φυτό χωρίσθηκε στο υπέργειο μέρος και στο υπόγειο μέρος. Στο υπέργειο μέρος ζυγίστηκαν οι κάψες τα παρακλάδια και το κεντρικό στέλεχος. Όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς σάκους και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, τοποθετήθηκαν σε κλίβανο ξήρανσης στους 103 °C για την εκτίμηση των αποδόσεων των ποικιλιών σε ξηρή ουσία. Επίσης μετρήθηκαν για την κάθε μία ποικιλία:

- Η απόσταση των φυτών ενός μέτρου τυχαίων σειρών.
- Τα υπολείμματα στο έδαφος από την περιοχή των δέκα εκριζωθέντων φυτών tn/στρ..
- Η παραγωγή του σύσπορου βαμβακιού Kg/στρ..

- Η πυκνότητα φυτών το στρέμμα.
- Η συνολική χλωρή και ξηρή βιομάζα tn/στρ..
- Το % ποσοστό και οι tn/στρ. παραγόμενης χλωρής και ξηρής βιομάζας του υπέργειου μέρους.
- Το % ποσοστό και οι tn/στρ. παραγόμενης χλωρής και ξηρής βιομάζας του υπόγειου μέρους.
- Το % ποσοστό και οι tn/στρ. παραγόμενης χλωρής και ξηρής βιομάζας κάψων.
- Το % ποσοστό και οι tn/στρ. παραγόμενης χλωρής και ξηρής βιομάζας παρακλαδιών.

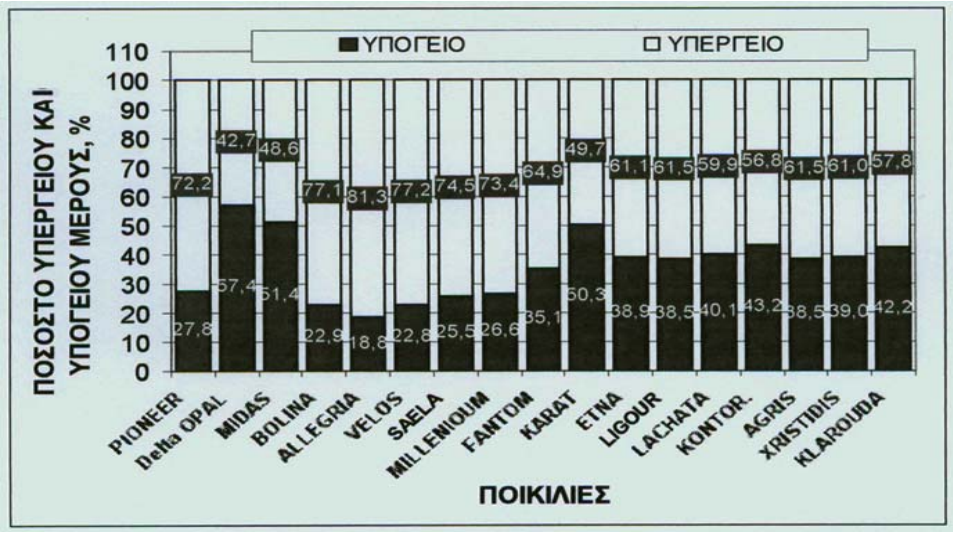
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.

3.1. Ανάπτυξη φυτών.

Μετρήθηκε το ύψος των φυτών όλων των υπό μελέτη ποικιλιών βάμβακος και βρέθηκε ότι η ποικιλία XRISTIDIS με μέσο όρο 1.080 mm ταξινομείται πρώτη, με δεύτερη την ποικιλία KLARUDA 1.026 mm, ενώ οι υπόλοιπες ποικιλίες βρισκόταν μεταξύ 860-960 mm εκτός από την τελευταία ποικιλία DELTA OPAL η οποία βρέθηκε με μέσο ύψος 600 mm.

3.2. Παραγωγικότητα βιομάζας.

Μετρήθηκε η παραγωγικότητα χλωρής βιομάζας και η συμμετοχή του υπόγειου και υπέργειου μέρους των φυτών στην παραγωγή χλωρής βιομάζας όλων των υπό μελέτη ποικιλιών βάμβακος και βρέθηκε ότι η ποικιλία ALEGRIA έδωσε το μεγαλύτερο ποσοστό υπέργειου τμήματος 81,3% με τελευταία την ποικιλία Delta Opal με ποσοστό 42,7%, ενώ οι υπόλοιπες ποικιλίες βρισκόταν μεταξύ 56-77% (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Συμμετοχή του υπόγειου και υπέργειου τμήματος των φυτών στην παραγωγή Χλωρής Βιομάζας των Ποικιλιών Βάμβακος.

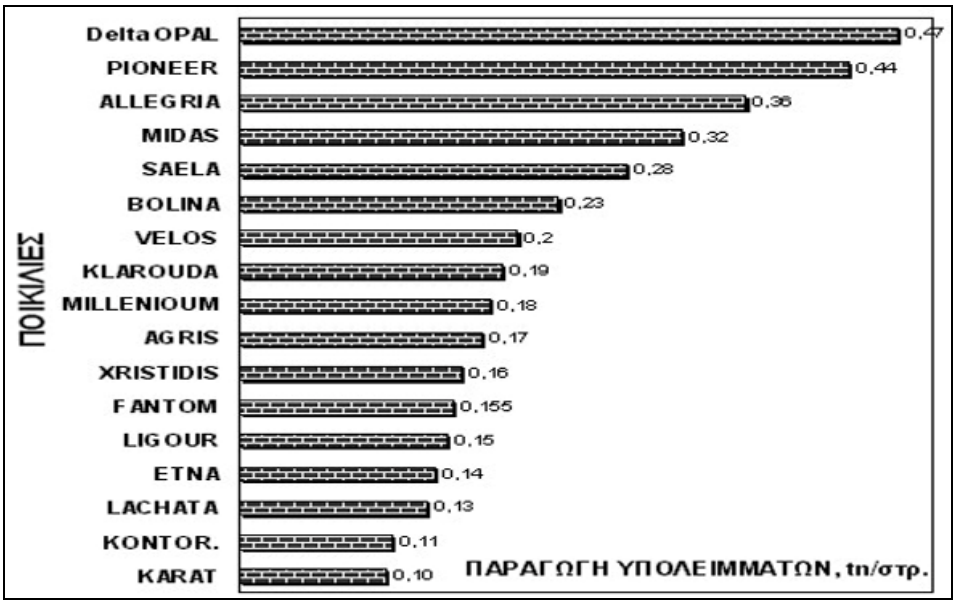
Το υπόγειο τμήμα των φυτών κυμάνθηκε μεταξύ 18,8-57,4%, με την ποικιλία Delta Opal να δίδει την μεγαλύτερη τιμή και την ποικιλία ALEGRIA την μικρότερη τιμή. Οι μέσες τιμές όλων των ποικιλιών είναι για το υπέργειο μέρος 288,2 kg ανά στρέμμα και για το υπόγειο μέρος 157,69 kg ανά στρέμμα ξηρού βάρους. Μελετήθηκε η συμμετοχή των καψών, των κλαδιών και του κεντρικού στελέχους στην παραγωγή βιομάζας, του υπέργειου μέρους των ποικιλιών του βάμβακος. Μεταξύ όλων των υπό μελέτη ποικιλιών βάμβακος η ποικιλία AGRIS έδωσε το μεγαλύτερο ποσοστό κεντρικού στελέχους 70,3% με τελευταία την ποικιλία KARAT με ποσοστό 19,4% οι υπόλοιπες ποικιλίες βρισκόταν μεταξύ 34-64% (Σχήμα 3).

Σχήμα 3. Συμμετοχή Καψών-Κλαδιών-Κεντρικού Στελέχους στην Παραγωγή Βιομάζας του Υπέργειου Μέρους των Ποικιλιών Βάμβακος.

Το ποσοστό των κλαδιών κυμάνθηκε μεταξύ 12,6% και 60,6% με την ποικιλία BOLINA να δίδει την μεγαλύτερη τιμή και την ποικιλία LIGOUR την μικρότερη τιμή οι υπόλοιπες ποικιλίες βρισκόταν μεταξύ 15-57%. Το ποσοστό των καψών κυμάνθηκε μεταξύ 10,5% και 45,5% με την ποικιλία ALEGRIA να δίδει την μεγαλύτερη τιμή και την ποικιλία KLAROUDA την μικρότερη τιμή οι υπόλοιπες ποικιλίες βρισκόταν μεταξύ 12-31%. Οι μέσες τιμές όλων των ποικιλιών είναι για το κεντρικό στέλεχος 46,2% επί του υπέργειου μέρους ή 120,38 kg ανά στρέμμα και για τα κλαδιά 31,4% επί του υπέργειου μέρους ή 93,37 kg ανά στρέμμα και για τις κάψες 22,4% επί του υπέργειου ή 74,46 kg ανά στρέμμα ξηρού βάρους.

Από την στατιστική ανάλυση παρατηρήθηκε ότι οι ποικιλίες επέδρασαν στατιστικώς σημαντικά στα εξής: στην απόδοση της παραγωγής χλωρής βιομάζας, στην συμμετοχή του υπόγειου και υπέργειου μέρους του φυτού στην παραγωγή χλωρής βιομάζας, καθώς και στην συμμετοχή καψών-κλαδιών-κεντρικού στελέχους στην παραγωγή βιομάζας του υπέργειου μέρους.

Μετρήθηκαν τα υπολείμματα στο έδαφος όλων των υπό μελέτη ποικιλιών του βάμβακος, τα οποία έμειναν μετά την συλλογή του καρπού και βρέθηκε ότι η ποικιλία Delta Opal έδωσε το μεγαλύτερο ποσοστό υπολειμμάτων 475 kg το στρέμμα με τελευταία την ποικιλία KARAT με 105 kg το στρέμμα ενώ οι υπόλοιπες ποικιλίες βρισκόταν μεταξύ 120-440 kg το στρέμμα ξηρού βάρους, (Σχήμα 4). Οι μέσες τιμές όλων των ποικιλιών των υπολειμμάτων που μετρήθηκαν στο έδαφος είναι 224,12 kg το στρέμμα ξηρού βάρους.



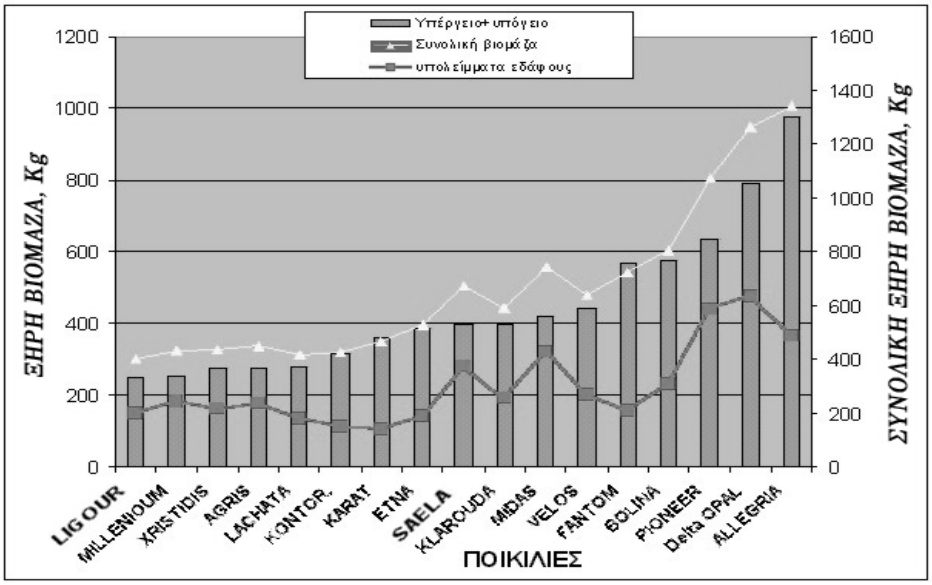
Σχήμα 4. Υπολείμματα στο έδαφος των ποικιλιών βάμβακος.

Μετρήθηκε η συνολική ξηρή βιομάζα όλων των υπό μελέτη ποικιλιών βάμβακος και βρέθηκε ότι η ποικιλία ALLEGRIA έδωσε την μεγαλύτερη τιμή 794 kg το στρέμμα υπέργειου, 183 kg το στρέμμα υπογείου και 365 kg το στρέμμα υπολειμμάτων στο έδαφος, με τελευταία την ποικιλία LIGOUR με 153 kg το στρέμμα υπέργειου, 96 kg το στρέμμα υπογείου και 150 kg το στρέμμα υπολειμμάτων στο έδαφος, (Σχήμα 5). Οι υπόλοιπες ποικιλίες βρισκόταν μεταξύ 167 και 456 kg υπέργειο και 112 και 216 kg υπόγειο μέρος το στρέμμα ξηρού βάρους. Οι μέσες τιμές όλων των ποικιλιών (υπέργειο συν υπόγειο μέρος) υπολογίσθηκαν στα 445,89 kg το στρέμμα ξηρού βάρους. Εάν υπολογισθούν και τα υπολείμματα τότε η μέση τιμή (υπέργειο συν υπόγειο μέρος συν υπολείμματα στο έδαφος) πλησιάζει τα 670 kg το στρέμμα ξηρού βάρους.

Από την στατιστική ανάλυση παρατηρήθηκε ότι οι ποικιλίες επέδρασαν στατιστικώς σημαντικά στην απόδοση της παραγωγής ξηρής βιομάζας και στην παραγωγή υπολειμμάτων στο έδαφος.

Η σχέση παραγωγής και βιομάζας υπολογίσθηκε για τις διάφορες ποικιλίες. Τον καλύτερο συντελεστή παρουσίασε η ποικιλία ALLEGRIA με τιμή 1:2,44

παραγωγή προς βιομάζα (υπέργειο συν υπόγειο) και τον μικρότερο συντελεστή η ποικιλία LIGOUR με τιμή 1**:**0,76.



Σχήμα 5. Παραγωγή συνολικής ξηρής Βιομάζας.

Η μέση τιμή παραγωγής προς βιομάζα (υπέργειο συν υπόγειο) βρέθηκε 1**:**1,29 εάν υπολογισθούν και τα υπολείμματα του εδάφους η μέση τιμή παραγωγής προς βιομάζα είναι 1**:**1,94 ενώ μόνο του υπέργειου τμήματος η μέση τιμή παραγωγής προς βιομάζα βρέθηκε 1**:**0,84 ξηρού βάρους.

3.3 Ταξινόμηση.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω στοιχεία έγινε η παρακάτω ταξινόμηση των ποικιλιών (Πίνακας 2).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ταξινόμηση των ποικιλιών κατά αύξουσα σειρά.

Α / Α	**Βάρος ξηρό (kg/στρμ.)**	**Υπέργειο μέρος ξηρό, (kg/στρμ.)**	**Υπόγειο μέρος ξηρό, (kg/στρμ)**	**Υπολείμματα (kg/στρμ.)**	**Παραγω-γή, (kg /στρμ.)**	**Σχέση παραγωγής προς βιομάζα (υπέργειο)**
1	LIGOUR	LIGOUR	MILLENIOUM	KARAT	FANTOM	LIGOUR
2	MILLENIOUM	XRISTIDIS	LIGOUR	KONTOR.	MILLENIOUM	XRISTIDIS
3	XRISTIDIS	LACHATA	VELOS	LACHATA	LACHATA	AGRIS
4	AGRIS	AGRIS	SAELA	ETNA	MIDAS	KONTOR.
5	LACHATA	KONTOR.	AGRIS	LIGOUR	KARAT	LACHATA
6	KONTOR.	KARAT	XRISTIDIS	FANTOM	LIGOUR	KARAT
7	KARAT	MILLENIOUM	LACHATA	XRISTIDIS	AGRIS	MILLENIOUM
8	ETNA	MIDAS	BOLINA	AGRIS	XRISTIDIS	MIDAS

Α / Α	Βάρος ξηρό (kg/στρμ.)	Υπέργειο μέρος ξηρό, (kg/στρμ.)	Υπόγειο μέρος ξηρό, (kg/στρμ)	Υπολείμματα (kg/στρμ.)	Παραγω -γή, (kg /στρμ.)	Σχέση παραγωγής προς βιομάζα (υπέργειο)
9	SAELA	KLAROUDA	KONTOR.	MILLENIOUM	BOLINA	KLAROUDA
10	KLAROUDA	ETNA	ETNA	KLAROUDA	KONTOR.	SAELA
11	MIDAS	SAELA	KLAROUDA	VELOS	PIONEER	ETNA
12	VELOS	Delta OPAL	PIONEER	BOLINA	Delta OPAL	Delta OPAL
13	FANTOM	VELOS	KARAT	SAELA	VELOS	VELOS
14	BOLINA	FANTOM	ALLEGRIA	MIDAS	ETNA	FANTOM
15	PIONEER	BOLINA	FANTOM	ALLEGRIA	KLAROUDA	BOLINA
16	Delta OPAL	PIONEER	MIDAS	PIONEER	ALLEGRIA	PIONEER
17	ALLEGRIA	ALLEGRIA	Delta OPAL	Delta OPAL	SAELA	ALLEGRIA

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα έγινε φανερό ότι μεταξύ των δεκαεπτά ποικιλιών βάμβακος, η ποικιλία ALLEGRIA έδωσε την μεγαλύτερη τιμή ξηρής βιομάζας ακολουθούμενη από τις ποικιλίες Delta OPAL, PIONEER και BOLINA. Από τη στατιστική ανάλυση φάνηκε ότι οι ποικιλίες επέδρασαν στατιστικώς σημαντικά στην απόδοση της παραγωγής ξηρής βιομάζας. Στο υπέργειο μέρος την μεγαλύτερη τιμή βιομάζας έδωσε η ποικιλία ALLEGRIA ενώ στο υπόγειο μέρος και στα υπολείμματα που υπάρχουν στο έδαφος μετά το πρώτο πέρασμα της βαμβακοσυλλεκτικής την μεγαλύτερη τιμή βιομάζας έδωσε η ποικιλία Delta OPAL. Στη σχέση παραγωγής προς βιομάζα τον καλύτερο συντελεστή παρουσίασε η ποικιλία ALLEGRIA με τιμή 1:2,44 παραγωγή προς βιομάζα (υπέργειο συν υπόγειο) και τον μικρότερο συντελεστή η ποικιλία LIGOUR με τιμή 1:0,76. Η μέση τιμή παραγωγής προς βιομάζα (υπέργειο συν υπόγειο) βρέθηκε 1:1,29 εάν υπολογισθούν και τα υπολείμματα του εδάφους η μέση τιμή παραγωγής προς βιομάζα είναι 1:1,94 ενώ μόνο του υπέργειου τμήματος η μέση τιμή παραγωγής προς βιομάζα βρέθηκε 1:0,84 ξηρού βάρους.
Η συνολική παραγωγή βιομάζας βαμβακιού στο Νομό Καρδίτσας υπολογίστηκε σε 151.348 tn ξηράς ουσίας υπέργειου μέρους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. National Statistics Service. 2001. *National Statistics,* Athens.
2. Μ. Αποστολάκη-Σ.Κυρίτση-Χ. Σούτερ, 1987. Το Ενεργειακό δυναμικό της Βιομάζας. Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, 49,74.
3. I. P. Tatsiopoulos and A. J. Tolis, 2002. Economic aspects of the cotton-stalk biomass logistics and comparison of supply chain methods, *Biomass and Bioenergy.*
4. Οργανισμός βάμβακος Καρδίτσας, 2000. Στοιχεία Βαμβακιού Νομού Καρδίτσας, *Τμήμα σποροπαραγωγής*.
5. T. A. Gemtos and Th. Tsiricoglou, 1999. Harvesting of cotton residue for energy production, *Biomass and Bioenergy,* Vol. 16, Is 1, Jan 1999, 51-59.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΑΙ ΘΡΕΠΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΩΝ ΖΩΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Μιχάλης Μαρδίκης
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
19ο χλμ. Λεωφόρου Μαραθώνος, 19009, Πικέρμι
Τηλ. 210 6603300, 210 6603387, Fax: 210 6603301
Web site: www.cres.gr, e-mail: mardikis@cres.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σύγχρονη μορφή της κτηνο/πτηνοτροφίας επιφέρει σημαντική υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω των ποσοτήτων αποβλήτων που παράγονται. Ωστόσο μέσω της αναερόβιας χώνευσης το ρυπαντικό φορτίο των ζωικών αποβλήτων ελαχιστοποιείται, με τελικά προϊόντα βιοαέριο και χωνεμένη λάσπη που μπορούν να αξιοποιηθούν ως πηγή ενέργειας και θρεπτικών στοιχείων, αντίστοιχα. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί να εκτιμήσει το ενεργειακό και θρεπτικό δυναμικό των ζωϊκών αποβλήτων στην Ελλάδα. Η υποθετική παραγωγή βιοαερίου, ανέρχεται στα 239.246 m^3/ημέρα με ισοδύναμο ενεργειακό περιεχόμενο 5.6PJ/έτος. Το ετήσιο θρεπτικό περιεχόμενο υπολογίστηκε στους 4.790-9.581 t N, 2.175 t P και 5.755-7.673 t K.

Λέξεις κλειδιά: ζωικά απόβλητα, αναερόβια χώνευση, βιοαέριο, ενεργειακό δυναμικό, θρεπτικό περιεχόμενο, λίπανση.

ENERGY AND NUTRITIONAL POTENTIAL OF LIVESTOCK WASTES IN GREECE

Michalis Mardikis
Center for Renewable Energy Sources
19th km. Marathonos Ave., 19009, Pikermi
Tel.: +30 210 6603300, 210 6603387, Fax: +30 210 6603301

ABSTRACT

Modern livestock farming provokes considerable environmental degradation mainly due to the big quantities of produced animal wastes. However, via the anaerobic digestion process, polluting potential of livestock wastes is minimized with end products biogas and digestate which can be used as an energy and nutritional source, respectively. This study aims to estimate the energy and nutritional potential of livestock wastes in Greece. The estimated biogas production amounts for 239,246 m^3/day while the equivalent energy content is about 5.6PJ/year. The annual nutritional content estimated to be 4.790-9.581 t N, 2.175 t P and 5.755-7.673 t K.

Keywords: animal wastes, anaerobic digestion, biogas, energy potential, nutritional content, livestock wastes, fertilization.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη μορφή της βιομηχανίας παραγωγής ζωικών προϊόντων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα. Κύρια αιτία θεωρείται η εντατικοποίηση της παραγωγής η οποία οδήγησε στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων που διατίθενται ανεπεξέργαστα και σχεδόν ανεξέλεγκτα στους εδαφικούς και υδατικούς αποδέκτες.

Όμως τα κτηνοτροφικά απόβλητα αποτελούν μία αξιόλογη πηγή θρεπτικών στοιχείων, απαραίτητων για την ανάπτυξη των φυτών. Παρόλα αυτά το μεγαλύτερο μέρος της θρεπτικής αξίας τους δε χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των φυτών επειδή χάνονται είτε πριν να ανακυκληθούν ή πριν να μετατραπούν σε μορφή προσλήψιμη από τα φυτά.

Πριν τη διάθεση των αποβλήτων πρέπει απαραίτητα να έχει πραγματοποιηθεί επεξεργασία τους ώστε να μειωθεί το ρυπαντικό τους φορτίο. Μεταξύ των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας που έχουν αναπτυχθεί ως τώρα, η αναερόβια χώνευση (ΑΧ) φαίνεται να ενδείκνυται στη περίπτωση των ζωικών αποβλήτων γιατί μειώνει σημαντικά το ρυπαντικό φορτίο των αποβλήτων και οι παραγωγοί μπορούν να εξασφαλίσουν πρόσοδο από την εκμετάλλευση των προϊόντων της ΑΧ.

Η ΑΧ επιτελείται σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου όπου οι σύνθετες οργανικές ενώσεις αποικοδομούνται σε απλούστερες από αναερόβιους μικροοργανισμούς με τελικά προϊόντα βιοαέριο και χωνεμένη λάσπη (ΧΛ).

Το οικονομικό όφελος που θα προκύψει έγκειται στην ενεργειακή αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου και στην πώληση της χωνεμένης λάσπης ή των παραγώγων της για την κάλυψη των θρεπτικών αναγκών των καλλιεργειών.

Η ΑΧ παρουσιάζει σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα [2,4,8,10,11]. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά που καθιστούν την ΑΧ ελκυστική μέθοδο είναι τα ακόλουθα:

- Παραγωγή ενέργειας
- Μείωση της ρύπανσης του αέρα
- Μείωση της ρύπανσης των υδατικών πόρων
- Μείωση της κατανάλωσης χημικών λιπασπάτων και εξοικονόμηση της αντίστοιχης κατανάλωσης ενέργειας για την παραγωγή τους
- Διατήρηση των φυσικών πόρων λόγω ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων
- Μετατροπή των θρεπτικών στοιχείων σε μορφές πιο εύκολα προσλήψιμες από τα φυτά
- Μείωση της όχλησης από οσμές και έντομα
- Μείωση του μολυσματικού φορτίου
- Μείωση της φυτρωτικής ικανότητας των σπόρων ζιζανίων που περιέχονται στα ζωικά απόβλητα
- Αυξημένη αποδοχή εκ μέρους της κοινωνίας και των γεωργών των κτηνοτροφικών αποβλήτων ως πηγή θρεπτικών στοιχείων.

Επιπροσθέτως, η αξιοποίηση των ζωικών αποβλήτων αναμένεται να έχει σημαντική συνεισφορά στην επίτευξη των στρατηγικών στόχων της εθνικής ενεργειακής στρατηγικής. Συγκεκριμένα στα πλαίσια της πολιτικής που έχει αναπτυχθεί γίνεται λόγος για την ασφάλεια και αξιοπιστία του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας. Έως τώρα, η Ελλάδα είναι ενεργειακά εξαρτώμενη χώρα με συνέπειες την εκροή σημαντικού μέρους των εθνικών πόρων για την εξασφάλιση ορυκτών καυσίμων και την ευαισθησία στις μεταβολές του παγκόσμιου ενεργειακού σκηνικού.
Η παραγωγή και ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαέριου θα εξασφαλίσει, εν μέρει, την επιθυμητή ποικιλότητα στις χρησιμοποιούμενες μορφές ενέργειας και στις πηγές εφοδιασμού. Επίσης, η αντικατάσταση μέρους των χημικών λιπασπάτων από ΧΛ εικάζεται ότι μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Επομένως το συνολικό όφελος από την αξιοποίηση των ζωικών αποβλήτων αναμένεται να είναι η συμβολή τους, ως μέρος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στη μείωση των κινδύνων που συνδέονται με την ενεργειακή εξάρτηση.
Ο σκοπός της εργασίας είναι να εκτιμήσει το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου και θρεπτικών στοιχείων που μπορεί να εξοικονομηθεί εφόσον τα ζωικά απόβλητα, από μεσαίου και μεγάλου μεγέθους πτηνοτροφικές και κτηνοτροφικές μονάδες, επεξεργαστούν σε μονάδες αναερόβιας χώνευσης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Σύμφωνα με οικονομικές μελέτες η εγκατάσταση μονάδας ΑΧ είναι οικονομικά αποδοτική σε μονάδες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους [5,9]. Ο αριθμός αυτών των μονάδων έχει καταγραφεί σε μια έρευνα της Αγροτικής Τράπεζας (31/12/95)[1].
Με βάση τον αριθμό των εκτρεφόμενων ζώων και δημοσιευμένα στοιχεία που παρέχουν τους μέσους όρους παραγωγής αποβλήτων ανά τύπο ζώων και θρεπτικό περιεχόμενο αυτών, εκτιμήθηκε το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου και θρεπτικών στοιχείων ανά νομό [2,3,10,11].
Τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε θεματικούς χάρτες με χρήση του λογισμικού ARC-VIEW 3.2.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το σύστημα πτηνό-κτηνοτροφικής παραγωγής στην Ελλάδα αποτελείται κύρια από την εκτροφή προβάτων, αιγών, αγελάδων, χοίρων και πουλερικών[7]. Ωστόσο η πρόβατο- και αιγοτροφία είναι εκτατικές μορφές κτηνοτροφίας και έτσι η παραγόμενη κοπριά διασπείρεται σε όλη την έκταση του βοσκότοπου. Η εντατική εκτροφή αποτελείται κυρίως από την αγελαδοτροφία, χοιροτροφία και την πτηνοτροφία.
Βάσει των στοιχείων από την απογραφή του ζωικού κεφαλαίου της Αγροτικής Τράπεζας ο συνολικός αριθμός των μεσαίου και μεγάλου μεγέθους βουστασίων, χοιροτροφείων και ορνιθοτροφείων καθώς επίσης και των εκτρεφόμενων

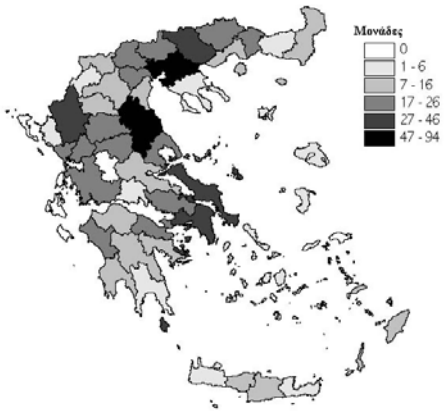
κεφαλών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί, ενώ στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των μονάδων ανά νομό.
Από τις 803 συνολικά μονάδες, το μεγαλύτερο μέρος αναφέρεται στην εκτροφή αγελάδων (355) ενώ οι μονάδες εκτροφής χοίρων και κοτόπουλων είναι 277 και 171, αντίστοιχα. Όσον αφορά τον αριθμό των σιτιζόμενων ζώων αυτός ανέρχεται σε 68.066, 100.780 και 21.524.400 κεφαλές για αγελάδες, χοίρους και κοτόπουλα, αντίστοιχα.
Η εντατική κτηνοτροφία παράγει ημερησίως 3.227,9, 491,8 και 1.987,1m^3 από αγελάδες, χοίρους και όρνιθες, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η κατανομή της ημερήσιας παραγωγής ζωικών αποβλήτων. Οι νομοί όπου η ημερήσια παραγωγή υπερβαίνει το 5% της συνολικής ημερήσιας εγχώριας παραγωγής ζωικών αποβλήτων είναι, κατά αύξουσα σειρά, Λάρισας, Ιωαννίνων, Ημαθίας, Εύβοιας, Θεσσαλονίκης και Αττικής με ποσοστά 5,7, 7,2, 7,5, 8,7, 14,5 και 15,3%, αντίστοιχα.

Πίνακας 1. Συνολικός αριθμός μεσαίου-μεγάλου μεγέθους μονάδων, εκτρεφόμενα ζώα και ημερήσια παραγωγή αποβλήτων και θρεπτικών στοιχείων.

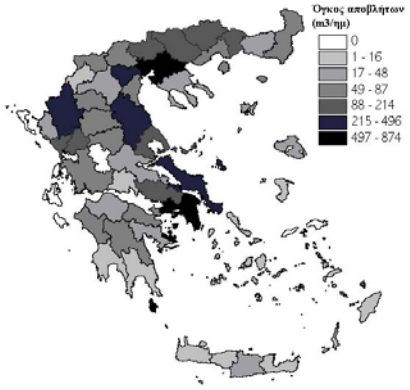
	Μονάδες	**Κεφαλές**	**Όγκος αποβλήτων (m^3/ημέρα)**	**Παραγωγή βιοαερίου (m^3/ημέρα)**	**N (t/ημ.)**	**P (t/ημ.)**	**K (t/ημ.)**
Αγελάδες κρεατο/γής	78	12.582	724,72	10.484,58	3,62	0,74	2,34
Αγελάδες γαλα/γής	240	36.241	2.087,48	30.199,63	10,44	2,13	6,73
Μόσχοι	37	19.243	415,65	16.035,19	2,36	0,64	1,45
Χοίροι	277	100.780	491,81	9.523,71	3,20	1,13	1,78
Πουλερικά πάχυνσης	79	16.110.000	1.304,91	96.660,00	15,95	4,35	5,80
Όρνιθες ωο/γής	72	4.180.900	526,79	58.950,69	6,32	2,26	2,26
Όρνιθες ανα/γής	20	1.233.500	155,42	17.392.35	1,87	0,67	0,67
Σύνολο	**803**	**21.693.246**	**5.706,78**	**239.246,15**	**43,75**	**11,92**	**21,02**

Οι ημερήσιες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται στα ζωικά απόβλητα εκτιμήθηκαν με βάση δημοσιευμένους πίνακες [2,3,10,11]. Σύμφωνα με αυτές τις τιμές η αγελαδοτροφία μπορεί να συνεισφέρει στη παραγωγή 16,4 t N/ημέρα, 3,5 t P/ημέρα και 10,5 t K/ημέρα. Η εκτροφή χοίρων μπορεί να παράγει 3,2, 1,1 και 1,8 t/ημέρα των στοιχείων άζωτο, φωσφόρο και κάλιο, αντίστοιχα.
Στα Σχήματα 3, 4 και 5 παρουσιάζονται οι κατανομές των θεωρητικών ποσοτήτων N, P και K, αντίστοιχα που μπορούν να παραχθούν ημερησίως από μεσαίου και μεγάλου μεγέθους μονάδες σε κάθε νομό της χώρας.

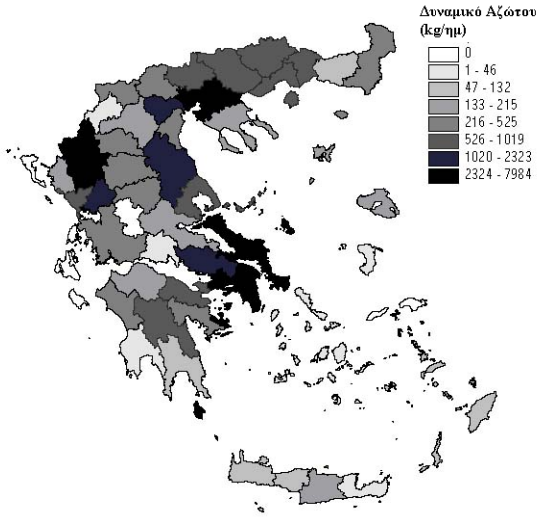
Η μεγαλύτερη παραγωγή αζώτου (από όλες τις μονάδες) υπολογίσθηκε ότι πραγματοποιείται στους νομούς της Αττικής, Εύβοιας, Θεσσαλονίκης, Ιωαννίνων και Ημαθίας αφού σε αυτές τις περιοχές η ημερήσια παραγωγή ανά νομό ανέρχεται στους 8,0, 5,4, 4,9, 4,4 και 2,3 t N, αντίστοιχα.
Όσον αφορά τις περιοχές με τη μεγαλύτερη παραγωγή φωσφόρου, αυτές είναι η Αττική, Εύβοια, Ιωάννινα και Θεσσαλονίκη στις οποίες παράγονται 2,4, 1,7, 1,3 και 1,2 t P/ημέρα, αντίστοιχα.



Σχήμα 1: Κατανομή μεσαίου-μεγάλου μεγέθους κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων.



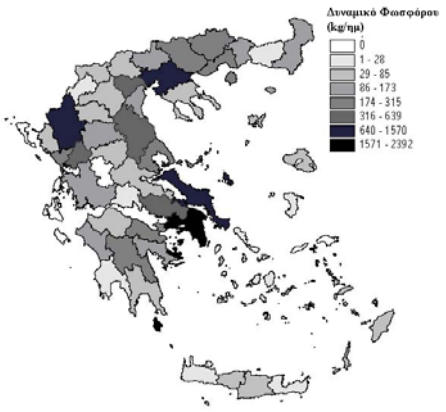
Σχήμα 2: Δυναμικό ημερήσιας παραγωγής ζωικών αποβλήτων (m^3/ημέρα) ανά νομό.



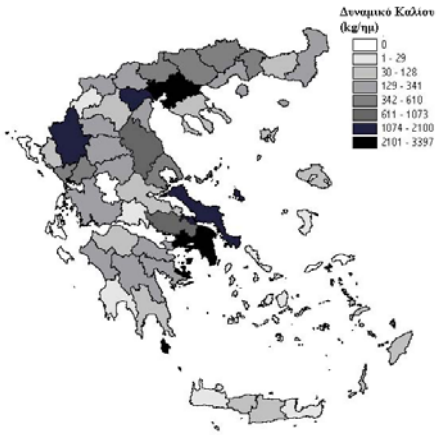
Σχήμα 3: Δυναμικό ημερήσιας παραγωγής αζώτου (kg N/ημέρα).

Τέλος, όσον αφορά το κάλιο, οι νομοί της Αττικής, Θεσσαλονίκης, Εύβοιας, Ιωαννίνων, Ημαθίας, και Λάρισας φαίνεται να έχουν το υψηλότερο δυναμικό, ανερχόμενο σε 3,4, 2,8, 2,1, 1,7, 1,5 και 1,1 t K/ημέρα, αντίστοιχα.

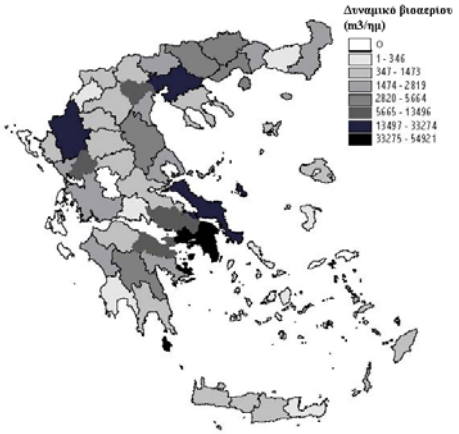
Η ΑΧ αλλάζει σε ελάχιστο βαθμό το περιεχόμενο σε θρεπτικά στοιχεία της ΧΛ σε σχέση με τα ακατέργαστα ζωικά απόβλητα. Επίσης η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στη ΧΛ για χρήση τους από τα φυτά κυμαίνεται μεταξύ 30 και 60% για το άζωτο, 50% για το φωσφόρο και 75-100% για το κάλιο. Στηριζόμενοι στις παραπάνω παραδοχές θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι κάθε χρόνο 4.790-9.581 t αζώτου, 2.175 t φωσφόρου και 5.755-7.673 t καλίου θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν από τα φυτά για την ανάπτυξη τους. Συνεπώς οι αντίστοιχες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα χημικά λιπάσματα.



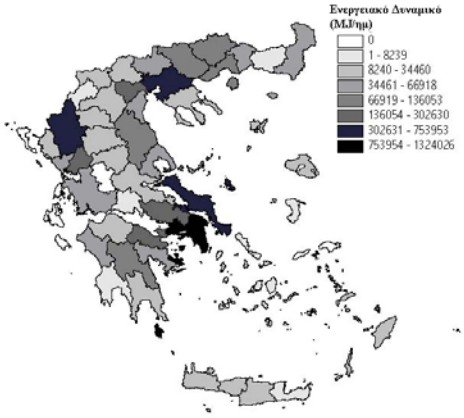
Σχήμα 4: Δυναμικό ημερήσιας παραγωγής φωσφόρου (kg P/ημέρα).



Σχήμα 5: Δυναμικό ημερήσιας παραγωγής καλίου (kg K/ημέρα).



Σχήμα 6: Δυναμικό ημερήσιας παραγωγής βιοαέριου (m^3/ημέρα).



Σχήμα 7: Ημερήσιο ενεργειακό δυναμικό (MJ/ημέρα).

Όσον αφορά την παραγωγή βιοαερίου αυτή εκτιμήθηκε ότι μπορεί να ανέλθει ημερησίως στα 239.246m^3 με ισοδύναμο ενεργειακό περιεχόμενο μεγαλύτερο

από 200 ΤΙΠ. Ετησίως δύναται να παραχθούν 5,6PJ που θα κάλυπταν το 0,7% των συνολικών ενεργειακών αναγκών ή το 4% της ηλεκτρικής ενέργειας (1996). Τέλος αναφορικά με την κατανομή ανά νομό της παραγωγής βιοαερίου και της δυνητικής εξοικονόμησης ενέργειας αυτή παρουσιάζεται στα Σχήματα 6 και 7 αντίστοιχα. Όπως αναμένονταν η κατανομή είναι ανάλογη σε σημαντικό βαθμό της αντίστοιχης των ζωικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα στους νομούς Αττικής, Εύβοιας, Ιωαννίνων και Θεσσαλονίκης δύναται να παραχθούν οι μεγαλύτερες ποσότητες βιοαερίου ανερχόμενες σε 54.921, 33.274, 27.852 και 21.433 m^3/ημέρα, αντίστοιχα. Το αντίστοιχο ενεργειακό περιεχόμενο ανά νομό είναι 1.324.026, 753.953, 638.219 και 513.341 MJ/ημέρα.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι τα ζωικά απόβλητα αποτελούν μια πολύτιμη πηγή ενέργειας και θρεπτικών στοιχείων που θα πρέπει να εκμεταλλευτεί άμεσα. Αν μάλιστα αναφερθεί ότι σε αρκετές τεχνολογικά προηγμένες χώρες, η από κοινού αναερόβια χώνευση ζωικών αποβλήτων με φυτικά υπολείμματα ή/και αγροτοβιομηχανικά απόβλητα κερδίζει συνεχώς έδαφος τότε γίνεται σαφές ότι το δυναμικό βιοαερίου και θρεπτικών στοιχείων είναι πολλαπλάσιο του υπολογιζόμενου στα πλαίσια αυτής της εργασίας.
Η ενεργειακή αξιοποίηση των ζωικών αποβλήτων θα συνέβαλε στη μείωση της εξάρτησης των κτηνοτρόφων και πτηνοτρόφων από τα ορυκτά καύσιμα ή την ηλεκτρική ενέργεια και την αντίστοιχη εξοικονόμηση πόρων. Επιπλέον το καθαρό εισόδημα θα μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω από την πώληση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας στο υπάρχον δίκτυο της ΔΕΗ.
Σε εθνικό επίπεδο, η παραγωγή βιοαερίου και επακολούθως ενέργειας θα έχει σημαντική συνεισφορά στην επίτευξη των στόχων της Κοινοτικής Οδηγίας 96/92 που στοχεύει στην ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας. Ειδικότερα η ενεργειακή αξιοποίηση των ζωικών αποβλήτων θα βοηθήσει στην ενίσχυση του διαχωρισμού μεταξύ παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας και φορέων διαχείρισης των δικτύων μεταφοράς. Επίσης θα εξασφαλίσει την πρόσβαση νέων παραγωγών και διανομέων στα δίκτυα μεταφοράς.
Η Ελληνική Πολιτεία εναρμονιζόμενη με την κοινοτική πολιτική έχει τροποποιήσει την ενεργειακή της πολιτική με στρατηγικούς στόχους την ασφάλεια και αξιοπιστία του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας και την προστασία του περιβάλλοντος. Η ασφάλεια και αξιοπιστία του ενεργειακού εφοδιασμού μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της ποικιλίας ενεργειακών πηγών και εξασφάλιση ισορροπίας μεταξύ τους, ανά προϊόν και γεωγραφική περιοχή[6].
Το βιοαέριο, ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ), αναμένεται να συμβάλλει στην επίτευξη των στόχων της εθνικής πολιτικής ενέργειας. Το Ελληνικό Κράτος κατανοώντας την επιτακτική ανάγκη διείσδυσης των ΑΠΕ (μεταξύ αυτών και το βιοαέριο) στο ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο έχει εισαγάγει σειρά νομοθετικών αλλαγών και χρηματοδοτικών κινήτρων (π.χ. Ν. 2244/94 και Ν.

2773/99). Με αυτά τα μέτρα ενισχύονται οι επενδύσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ δίνοντας τη δυνατότητα μείωσης του κόστους εγκατάστασης μονάδας ΑΧ που αποτελεί τη σημαντικότερη τροχοπέδη για την αξιοποίηση των ζωικών αποβλήτων.

Εκτός των προαναφερθέντων οφελών από την παραγωγή βιοαερίου, πηγή εισοδήματος θα μπορούσε να αποτελέσει η πώληση της χωνεμένης λάσπης ή των παραγώγων της. Όπως εκτιμήθηκε στα αποτελέσματα η παραγόμενη χωνεμένη λάσπη μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος των θρεπτικών αναγκών των καλλιεργειών. Ο ιδιοκτήτης της μονάδας ΑΧ μπορεί να εξασφαλίσει πηγή εσόδων από την πώληση της ΑΧ στους αγρότες ενώ οι αγρότες θα εξασφαλίσουν ένα αρκετά καλύτερο λίπασμα σε σχέση με τα χρησιμοποιούμενα χημικά λιπάσματα.

Επιπροσθέτως θα πρέπει να αναφερθεί ότι η αντικατάσταση μέρους των χημικών λιπασμάτων θα συνεισέφερε στη σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας αφού, ως γνωστό, η παραγωγή συμβατικών λιπασπάτων είναι αρκετά ενεργειοβόρος και περιβαλλοντικά βλαβερή διαδικασία. Αν αυτά τα οφέλη εκτιμηθούν και προσμετρηθούν με τα υπόλοιπα οφέλη της ΑΧ τότε αναμένεται η ΑΧ να κερδίσει το ενδιαφέρον του αγροτικού, οικονομικού, ενεργειακού και περιβαλλοντικού τομέα.

Τέλος, θα πρέπει να αναλογιστούν τα ποικίλα και σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη που θα προκύψουν από την ΑΧ των ζωικών αποβλήτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγροτική Τράπεζα της Ελλάδας (1996). Απογραφή των κτηνοτροφικών μονάδων στην Ελλάδα.
2. AD-NETT. Anaerobic digestion: Making energy and solving modern waste problems. AD-NETT Report 2000.
3. American Society of Agricultural Engineers (ASAE) Manure production and Characteristics. ASAE D384.1 DEC99.
4. Boyd R. (2000). Internalising environmental benefits of anaerobic digestion of pig slurry in Norfolk. University of East Anglia.
5. Chatziathanassiou, A. and Boukis, I. (2001). Constrains and Strategy for the development of anaerobic digestion in livestock farming in Greece. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000, Sevilla, Spain. Volume II. pp.1294-1297
6. EC, 2000. Green Paper. Towards a European strategy for the security of energy supply. European Commission. COM (2000) 769.
7. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας.
8. EPA (2000). Profile of the agricultural livestock production industry. Washington, DC 20460.
9. Meynell, P-J. (1976). Methane:Planning a Digester. NY: Schocken Books. pp. 25.
10. Nutrient Utilization and Anaerobic Digestion. www.biogasworks.com/Index/Nutrient%20Utilization%20&%20AD.htm
11. Risse, L.M. and Cheadle, S.A. (1996) Pollution Prevention in Agricultural Livestock Production. University of Georgia.

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Α. Νικολάου, Ι. Παπαμιχαήλ, Β. Λυχναράς και Κ. Πανούτσου

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Τμήμα Βιομάζας, 19 χλμ. Λεωφ. Μαραθώνος, 19009 Πικέρμι, Τηλ: +32106603300, Fax:+32106603301, email: nikolaou@cres.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο αγροτικός τομέας μπορεί να αποτελέσει πηγή σημαντικών ποσοτήτων βιομάζας, για παραγωγή ενέργειας σε περιφερειακό επίπεδο. Στην παρούσα μελέτη εκτιμήθηκε το δυναμικό των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, εκτιμήθηκαν οι ποσότητες των γεωργικών υπολειμμάτων, το ενεργειακό δυναμικό τους και η γεωγραφική τους κατανομή, με σκοπό να αναγνωρισθούν είδη γεωργικών υπολειμμάτων με αυξημένο ενδιαφέρον για ενεργειακή αξιοποίηση καθώς και περιοχές όπου θα μπορούσαν να εγκατασταθούν τέτοιου είδους μονάδες.

Λέξεις κλειδιά: Βιομάζα, ενέργεια, υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών

BIOMASS POTENTIAL OF AGRICULTURAL RESIDUES FOR ENERGY PRODUCTION IN GREECE

A. Nikolaou, I. Papamichael, V. Lychnaras and C. Panoutsou

Center for Renewable Energy Sources, 19th km Marathonos Ave., 19009 Pikermi, Greece
Tel:+32106603393, Fax:+32106603393, e-mail: nikolaou@cres.gr

ABSTRACT

Agriculture is a source of considerable biomass quantities that can be used in regional biomass energy schemes. In this study the residues produced during the cultivation of food and fibre crops in Greece have been analyzed in terms of quantities, energy potential and spatial distribution, in an attempt to identify the most promising biomass feedstocks for energy production and the most promising regions for this kind of installations.

Keywords: Biomass, energy, crop residues

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αγροτικός τομέας αποτελεί σημαντική πηγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας με τη μορφή υπολειμμάτων καλλιεργειών, κτηνοτροφικών αποβλήτων, υπολειμμάτων επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων κι ενεργειακών καλλιεργειών.

Η εκτίμηση του δυναμικού των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών για παραγωγή ενέργειας έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών μελετών καθώς παράγονται σε σημαντικές ποσότητες και στη χώρα μας, είναι άμεσα διαθέσιμα για ενεργειακή αξιοποίηση και το κόστος τους σε αρκετές περιπτώσεις είναι σχετικά χαμηλό. Οι Αποστολάκης, Κυρίτσης και Σούτερ στην έκδοση του ΕΛΚΕΠΑ «το Ενεργειακό Δυναμικό της Βιομάζας Γεωργικών και Δασικών Υποπροϊόντων (έρευνα στον ελληνικό χώρο)» [1], εκτίμησαν το δυναμικό των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών με βάση τα δεδομένα της ετήσιας γεωργικής στατιστικής για τις εκτάσεις και τις παραγόμενες ποσότητες των κυριότερων γεωργικών προϊόντων το έτος 1980 και δείκτες κύριου προϊόντος προς υπόλειμμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι ποσότητες των υπολειμμάτων καλλιεργειών ανέρχονται σε 11 εκατομμύρια τόνους ετησίως από τους οποίους 5 εκ. τόνοι ξηρής βιομάζας είναι διαθέσιμοι για ενεργειακούς σκοπούς. Ο Γέμτος [2], στην εργασία του «Η παραγωγή υπολειμμάτων καλλιεργειών στην Ελλάδα και η δυνατότητα χρήσης τους», παρουσίασε στοιχεία για τις στρεμματικές αποδόσεις και την ποιότητα των υπολειμμάτων διάφορων γεωργικών καλλιεργειών στον Ελλαδικό χώρο, καθώς και για την οικονομικότητα της χρήσης τους για παραγωγή ενέργειας με υποκατάσταση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς στηρίχτηκε σε πραγματικές μετρήσεις. Την ίδια χρονιά οι Παντελιού κ.α. [3] παρουσίασαν στο 4^{ο} Εθνικό Συνέδριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας (Ξάνθη, 1992) μια ποιοτική και ποσοτική καταγραφή της διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα με βάση δεδομένα της τριετίας 1986 – 1988. Εκτιμήθηκε ότι η συνολική ενέργεια που μπορεί να προκύψει από τη βιομάζα στη χώρα μας αγγίζει το όριο των $347 \cdot 10^{9}$ MJ/έτος. Τέλος οι Voivontas, Assimakopoulos και Koukios [4] παρουσίασαν μια μέθοδο εκτίμησης του δυναμικού βιομάζας, που αποτελείται από διαδοχικά βήματα.

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης ήταν η εκτίμηση του δυναμικού των υπολειμμάτων καλλιεργειών στην Ελλάδα για την τριετία 1996 – 1998 και η αποτύπωσή του σε θεματικούς χάρτες, ώστε να αναγνωρισθούν τα είδη των υπολειμμάτων που παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον για ενεργειακή αξιοποίηση καθώς και περιοχές όπου θα μπορούσαν να εγκατασταθούν τέτοιου είδους μονάδες.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η εκτίμηση του δυναμικού των υπολειμμάτων καλλιεργειών για παραγωγή ενέργειας πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα διαδοχικά βήματα. Αρχικά εκτιμήθηκε το θεωρητικό δυναμικό που αντιπροσωπεύει το μέγιστο ποσό υπολειμμάτων που μπορεί να παραχθεί από τις καλλιέργειες που εξετάσθηκαν (πίνακας 1). Η εκτίμηση του θεωρητικού δυναμικού έγινε με βάση α) την παραγωγή του κύριου προϊόντος των καλλιεργειών για τα έτη 1996 – 1998 όπως δημοσιεύονται στην ετήσια γεωργική στατιστική [5], β) τους δείκτες καρπού:υπόλειμμα [1] και γ) τη μέση περιεκτικότητα σε υγρασία κάθε υπολείμματος (Αποστολάκης, κ.ά, 1987).

Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπ' όψιν τις εναλλακτικές χρήσεις των υπολειμμάτων, καθώς και τις δυσκολίες στη συλλογή τους εκτιμήθηκε το θεωρητικά διαθέσιμο δυναμικό. Η εκτίμηση του θεωρητικά διαθέσιμου δυναμικού έγινε με βάση βαθμούς διαθεσιμότητας που επίσης αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία [5],[6], και επιβεβαιώθηκαν από περιφερειακά γραφεία του Υπουργείου Γεωργίας. Συγκεκριμένα, το άχυρο των σιτηρών χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή, αχυροστρωμνή κλπ. και θεωρήθηκε ότι μόνον 15% είναι διαθέσιμο για παραγωγή ενέργειας [5]. Η διαθεσιμότητα των υπόλοιπων υπολειμμάτων ετήσιων καλλιεργειών όπως είναι το άχυρο ρυζιού, τα βαμβακοστελέχη και τα υπολείμματα από την καλλιέργεια του αραβοσίτου τέθηκε στο 60%, παρόλο που προς το παρόν δεν έχουν εναλλακτικές χρήσεις, καθώς η συλλογή και ο χειρισμός τους παρουσιάζουν δυσκολίες και δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα. Όσον αφορά στα κλαδοδέματα, εκτιμάται ότι περίπου του 50% των ελαιοκλάδων (ιδιαίτερα τα χοντρά κλαδιά) χρησιμοποιούνται ως καυσόξυλα. Για τις άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο και θεωρήθηκε ότι το 80% είναι διαθέσιμο για ενεργειακή αξιοποίηση.

Το θεωρητικό δυναμικό καθώς και το διαθέσιμο δυναμικό αποτυπώθηκαν σε θεματικούς χάρτες σε επίπεδο νομού, ώστε να αναλυθεί η κατανομή των υπολειμμάτων στο χώρο και να αναγνωρισθούν περιοχές με ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Τέλος, το ενεργειακό δυναμικό των υπολειμμάτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίσθηκε με βάση την ανώτερη θερμογόνο δύναμη του κάθε υπολείμματος (πίνακας 1), το βαθμό απόδοσης της τεχνολογίας μετατροπής n_c και το βαθμό απόδοσης της μετατροπής της θερμικής σε ηλεκτρική ενέργεια n_e σύμφωνα με τη σχέση (I), όπου A_i και HHV_i είναι η ποσότητα του διαθέσιμου υπολείμματος (i) και η αντίστοιχη ανώτερη θερμογόνος δύναμη. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν οι βαθμοί απόδοσης για αεριοποίηση [7], ώστε n_c=0,7 και n_e=0,3.

$$Q_e = \sum A_i x\, HHV_i\, x\, n_c x\, n_e \quad \text{(I)}$$

Πίνακας 1. Δείκτης κύριου προϊόντος προς υπόλειμμα, περιεκτικότητα σε υγρασία (%), βαθμός διαθεσιμότητας (%) και ανώτερη θερμογόνος δύναμη (MJ/kg) των κυριώτερων γεωργικών υπολειμμάτων.

Υπόλειμμα	Δείκτης Καρπού: Υπόλειμμα	Υγρασία (%)	Βαθμός διαθεσιμότητας (%)	Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)
Άχυρο σιταριού	1,00	15	15	17,9
Άχυρο ρυζιού	1,00	25	60	16,7
Άχυρο κριθαριού	1,24	15	15	17,5
Άχυρο βρώμης	1,27	15	15	17,4
Κότσαλα αραβοσίτου	3,75	50	60	18,4
Στελέχη αραβοσίτου	1,42	60	60	18,5
Στελέχη ηλιάνθου	0,50	40	60	14,2
Βαμβακοστελέχη	0,50	45	60	18,2
Φύλλα ζαχαρότευτλων	2,51	75	50	14,6
Στελέχη καπνού	0,91	85	60	16,1
Κληματίδες	1,20	40	80	18,3
Κλαδοδέματα ελιάς	0,98	35	50	18,1
Κλαδοδέματα ροδακινιάς	2,51	40	80	19,4
Κλαδοδέματα αχλαδιάς	1,26	40	80	18,0
Κλαδοδέματα μηλιάς	1,20	40	80	17,8
Κλαδοδέματα βερικοκιάς	2,84	40	80	19,3
Κλαδοδέματα λεμονιάς	2,22	40	80	17,6
Κλαδοδέματα πορτοκαλιάς	2,90	40	80	17,6
Κλαδοδέματα κερασιάς	1,20	40	80	19,1
Κλαδοδέματα μανταρινιάς	1,55	40	80	17,6
Κλαδοδέματα αμυγδαλιάς	0,28	40	80	18,4

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Θεωρητικό δυναμικό

Το θεωρητικό δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων που εξετάσθηκαν για την Ελλάδα, εκτιμήθηκε σε 7.552.000 τόνους επί ξηρής βάσης/έτος εκ των οποίων 64,4% παράγεται από ετήσιες καλλιέργειες και 35,6% από πολυετείς (αμπέλια, ελιές και άλλες δενδρώδεις καλλιέργειες).

Οι κυριότεροι τύποι υπολειμμάτων από ετήσιες καλλιέργειες είναι το άχυρο των σιτηρών, τα βαμβακοστελέχη και τα υπολείμματα από την καλλιέργεια του αραβοσίτου. Ιδιαίτερα τα βαμβακοστελέχη αποτελούν σημαντική πηγή βιομάζας και οι συνολικά παραγόμενες ποσότητες εκτιμήθηκαν σε 1.463.000 τόνους επί ξηρής βάσης (αποτελούν το 30% των παραγόμενων ποσοτήτων από ετήσιες καλλιέργειες και το 19% από όλες τις καλλιέργειες σε επίπεδο χώρας). Τα υπολείμματα της καλλιέργειας αραβοσίτου αποτελούν επίσης σημαντική πηγή βιομάζας και εκτιμήθηκαν σε 859.000 τόνους επί ξηρής βάσης ετησίως.

Τα κλαδοδέματα εκτιμήθηκαν σε 2,7 εκατομμύρια τόνους επί ξηρής βάσης ετησίως από τα οποία πάνω από το 50% (1,5 εκ. τόνοι επί ξηρής βάσης) είναι ελαιόκλαδα. Οι κληματίδες αποτελούν επίσης σημαντική πηγή βιομάζας και ανέρχονται σε 455.000 τόνους επί ξηρής βάσης ετησίως.

3.2 Θεωρητικά διαθέσιμο δυναμικό

Οι θεωρητικά διαθέσιμες ποσότητες γεωργικών υπολειμμάτων εκτιμήθηκαν σε 3,8 εκατομμύρια τόνους επί ξηρής βάσης ετησίως από τους οποίους 51,3% προέρχονται από ετήσιες καλλιέργειες και 48,7% από πολυετείς.

Τα ελαιόκλαδα και τα βαμβακοστελέχη αποτελούν τα σημαντικότερα υπολείμματα όσον αφορά στις διαθέσιμες ποσότητες με 881.000 και 877.000 τόνους επί ξηρής βάσης ετησίως, αντίστοιχα. Όσον αφορά στη συλλογή των βαμβακοστελεχών σύμφωνα με αρκετούς ερευνητές αποτελεί ελκυστική λύση καθώς η ενσωμάτωσή τους στο έδαφος σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική θεωρείται ενεργοβόρα [8] και καταστροφική για το έδαφος [9]. Η συλλογή των βαμβακοστελεχών για παραγωγή ενέργειας έχει εξετασθεί στην Ελλάδα από τους Gemtos και Tsirikoglou [10] και το ενεργειακό ισοζύγιο ανά εκτάριο καλλιεργούμενης έκτασης λαμβάνοντας υπ' όψιν τη συλλογή και τη δεματοποίηση εκτιμήθηκε σε 35.571 MJ/ha.

Στο σχήμα 1 απεικονίζεται η κατανομή των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών στους νομούς της Ελλάδας. Η υψηλότερη παραγωγή παρατηρήθηκε στο Ν. Λαρίσης με 317.861 τόνους επί ξηρής βάσης ετησίως ακολουθούμενη από το νομό Φθιώτιδας με 217.821 τόνους επί ξηρής βάσης ετησίως. Και στις δύο περιοχές

τα βαμβακοστελέχη αποτελούν πάνω από το 70% του συνολικού δυναμικού με 77% και 82% αντίστοιχα.

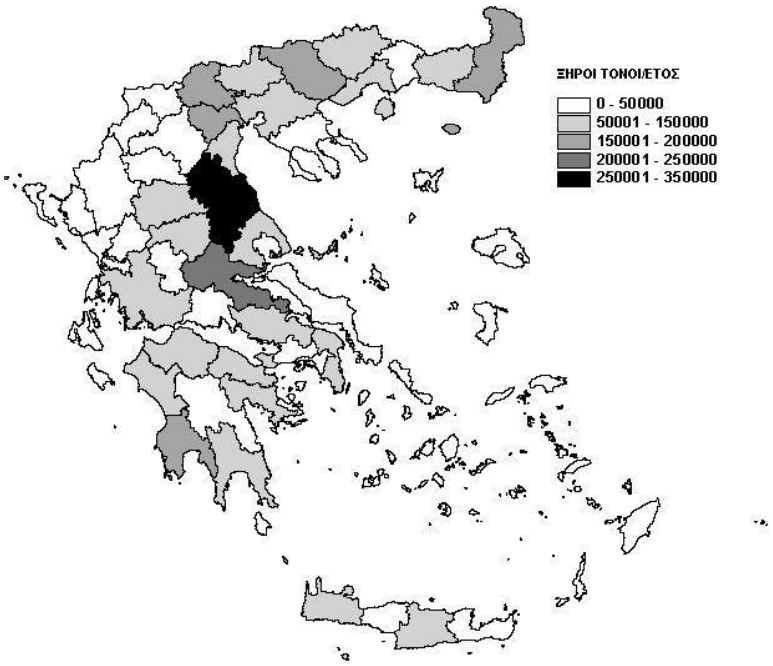
Πίνακας 2. Καλλιεργούμενες εκτάσεις, θεωρητικό και θεωρητικά διαθέσιμο δυναμικό υπολειμμάτων στην Ελλάδα (μέσοι όροι 1996 – 1998).

Υπόλειμμα	Καλλιεργούμενη έκταση	Θεωρητικό δυναμικό		Θεωρητικά Διαθέσιμο δυναμικό	
	χιλ. στρ./έτος	χιλ.τον επί ξηρής βάσης/ έτος	%	χιλ.τον επί ξηρής βάσης/ έτος	%
Άχυρο μαλακού σιταριού	2.450,2	536,1	7,1	80,4	2,1
Άχυρο σκληρού σιταριού	6.120,5	1.229,2	16,3	184,48	4,8
Άχυρο ρυζιού	279,8	157,2	2,1	94,3	2,5
Άχυρο κριθαριού	1.448,8	238,3	3,2	35,7	0,9
Άχυρο βρώμης	438,52	55,4	0,7	8,3	0,2
Κότσαλα αραβοσίτου	2.131,82	583,4	7,7	350,1	9,2
Στελέχη αραβοσίτου		276,1	3,7	165,7	4,3
Άχυρο ηλιάνθου	268,2	47,7	0,6	28,6	0,7
Βαμβακοστελέχη	4.127,3	1.463	19,4	877,8	22,9
Φύλλα ζαχαροτεύτλων	425,8	246,2	3,3	123,1	3,2
Στελέχη καπνού	670,7	23,8	0,3	14,3	0,4
Κληματίδες	1.334,1	455,6	6,0	364,5	9,5
Ελαιόκλαδα	7.495,2	1.468,9	19,5	881,3	23,0
Κλαδοδέματα ροδακινιάς	459,9	151,7	2,0	121,4	3,2
Κλαδοδέματα αχλαδιάς	42,1	38,4	0,5	30,7	0,8
Κλαδοδέματα μηλιάς	148,7	173,8	2,3	139,1	3,6
Κλαδοδέματα βερικοκκιάς	50,5	9,8	0,1	7,9	0,2
Κλαδοδέματα λεμονιάς	119,2	49,0	0,6	39,2	1,0
Κλαδοδέματα πορτοκαλιάς	400,54	190,5	2,5	152,4	4,0
Κλαδοδέματα κερασιάς	86,14	24,2	0,3	19,4	0,5
Κλαδοδέματα μανταρινιάς	61,4	28,6	0,4	22,9	0,6
Κλαδοδέματα αμυγδαλιάς	236,1	104,9	1,4	83,9	2,3
ΣΥΝΟΛΟ	28.795,2	7.551,9	100,0	3.825,5	100,0

3.3 Ενεργειακό δυναμικό

Το ενεργειακό δυναμικό των θεωρητικά διαθέσιμων υπολειμμάτων ετήσιων και πολυετών καλλιεργειών εκτιμήθηκε με τη σχέση (I) σε 4.016 GWh ετησίως. Με βάση τα δεδομένα για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα την περίοδο 1996 – 1998 [11] εκτιμάται ότι θα μπορούσε να καλυφθεί το 12% της κατανάλωσης σε εθνικό επίπεδο. Θα πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι το παραπάνω ενεργειακό δυναμικό αποτελεί το ανώτατο όριο δεδομένου ότι ένα μέρος των υπολειμμάτων αυτών ενδέχεται να παρουσιάζει δυσκολίες στη συλλογή και τη

μεταφορά, είτε είναι προτιμότερο να παραμείνει στον αγρό για περιβαλλοντικούς λόγους (ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων, προστασία από τη διάβρωση κλπ.).



Σχήμα 1. Γεωγραφική κατανομή του θεωρητικά διαθέσιμου δυναμικού των σημαντικότερων υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών στην Ελλάδα

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών αντιπροσωπεύουν μια ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας που θα μπορούσε να αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα. Οι ποσότητες υπολειμμάτων καλλιεργειών εκτιμήθηκαν για την Ελλάδα σε 7,5 εκατομμύρια τόνους ξηρής ουσίας ετησίως εκ των οποίων 3,8 εκατομμύρια τόνοι επί ξηρής βάσης είναι θεωρητικά διαθέσιμοι για ενεργειακή αξιοποίηση. Τα βαμβακοστελέχη και τα ελαιόκλαδα αντιπροσωπεύουν το 46% του διαθέσιμου δυναμικού και αναγνωρίσθηκαν ως πρώτες ύλες που χρήζουν περαιτέρω διερεύνηση ιδιαίτερα για εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπου απαιτούνται σημαντικές ποσότητες βιομάζας. Η εξέταση της γεωγραφικής

κατανομής των υπολειμμάτων καλλιεργειών σε επίπεδο νομού ανέδειξε δύο περιοχές (Ν. Λαρίσης και Ν. Φθιώτιδας) στις οποίες οι θεωρητικά διαθέσιμες ποσότητες ξεπερνούν τους 250.000 τόνους ξηράς ουσίας ετησίως.

Τέλος, θα πρέπει να υπογραμμισθεί ότι τέτοιες εκτιμήσεις, ενώ είναι χρήσιμες για την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων για την διαθεσιμότητα της βιομάζας, δεν καθορίζουν σε καμία περίπτωση την βιωσιμότητα συγκεκριμένων μονάδων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία χρηματοδοτήθηκε εν μέρη από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ALTENER Biomass in the Mediterranean AL. 4.1030/C/2000-220 και από το Υπουργείο Ανάπτυξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αποστολάκης, Μ., Κυρίτσης Σ., και Σούτερ, Χ., 1987. *Το Ενεργειακό Δυναμικό της Βιομάζας Γεωργικών και Δασικών Υποπροϊόντων (έρευνα στον ελληνικό χώρο)*. ΕΛΚΕΠΑ. Αθήνα 1987.
2. Γέμτος, Θ. Α., 1992. Η παραγωγή υπολειμμάτων καλλιεργειών στην Ελλάδα και η δυνατότητα χρήσης τους. *Επιστηνική Επετηρίδα Εφαρμοσμένης Έρευνας*. Έτος Α' Ιανουάριος – Ιούνιος 1992 – Τόμος 1^{ος} - Τεύχος 1^{ο}.
3. Παντελιού, Σ., Μπελεσιώτης, Β., Κούκος, Γ., και Μπάρλας, Κ., 1992. Καταγραφή Βιομάζας στην Ελλάδα. *Πρακτικά του 4^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας*. Ξάνθη 6 – 8 Οκτωβρίου.
4. National Statistical Service of Greece. Agricultural Statistics 1996 – 1998.
5. Voivontas D., Assimakopoulos D., Koukios E.G., 2001. Assessment of biomass potential for power production. *Biomass and Bioenergy* 20.
6. Alexopoulou, E., Nikolaou, A., and Panoutsou, C., 1999. *National Report on Biomass in Greece.* Al. 4.1030/D/97-029/ AFB IV-Bioguide III. CRES
7. Blassi, C., Tanzi, V., and Lanzetta, M., 1997. A study on the production of agricultural residues in Italy. *Biomass and Bioenergy.* Vol. 12. No. 5.
8. White, D. H., Coates, W. E., and Wolf, D., 1996. Conversion of cotton plant and cotton gin residues to fuels by the extruder 'feeder liquefaction process'. *Bioresource Technology* 56.
9. Gomes, R S., Wilson, P. N., Coates, W. E., and Fox, R. W., 1997. Cotton (Gossypium) plant residue for industrial fuel. An economic assessment. *Industrial Crops and Products* 7.
10. Gemtos, T. A., and Tsirikoglou, Th., 1999. Harvesting of cotton residue for energy production. *Biomass and Bioenergy* 16.
11. National Observatory of Athens. National Energy Balances 1996 – 1998.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΗΛΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Α. Στραπάτσα[1], Γ.Δ. Νάνος[1], Ν. Σκρέτα[2], Ι. Πέτκου[2], Η. Παπακωνσταντίνου[2], Ε.Μ. Σφακιωτάκης[2], Κ.Α. Τσατσαρέλης[2]

[1] Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, 384 46 Βόλος, e-mail gnanos@agr.uth.gr

[2] Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, 54006 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκαν οι εισροές και εκροές ενέργειας σε 3 μηλεώνες συμβατικής το 1998 και 5 μηλεώνες ολοκληρωμένης διαχείρισης τα έτη 1999 και 2000 στη Ζαγορά Πηλίου. Η συνολική εισρέουσα και εκρέουσα ενέργεια στην ολοκληρωμένη διαχείριση ήταν χαμηλότερη της συμβατικής κατά 35% και 30%, αντίστοιχα. Λόγω της διπλάσιας σχεδόν παραγωγής το 1998, η παραγωγικότητα, η ένταση και ο βαθμός απόδοσης της ενέργειας (όταν μόνον οι καρποί υπολογίστηκαν σαν εκροές) στη συμβατική ήταν συγκριτικά καλύτερα. Αντίθετα, ο βαθμός απόδοσης, όταν οι καρποί και τα κλαδευτικά συνυπολογίστηκαν ως εκροές, ήταν υψηλότερος στην ολοκληρωμένη.

Λέξεις-κλειδιά: Μηλιά, *Malus pumila*, λίπανση, φυτοπροστασία.

ENERGY BALANCE AT CONVENTIONAL AND INTEGRATED APPLE PRODUCTION

A. Strapatsa[1], G.D. Nanos[1], N. Skreta[2], I. Petkou[2], I. Papakonstantinou[2], E.M. Sfakiotakis[2], C.A. Tsatsarelis[2]

[1] Lab. of Pomology, Sch. of Agricultural Sciences, Univ. of Thessaly, Fitoko Str., 38446 Volos, Greece

[2] School of Agriculture, Aristotle University, 54006 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

Energy inputs and outputs were studied at 3 conventional (1998) and 5 integrated production (IP) apple groves (1999 and 2000) at Zagora Pelion. Total energy inputs at IP were 35% lower than conventional production. Because of the almost double fruit production in 1998, conventional groves had better values for energy productivity, energy intensity and energy efficiency, when only fruit were used as outputs, but lower energy efficiency, when fruit and prunings were used as outputs, than apple IP methods employed.

Keywords: *Malus pumila*, fertilization, plant protection

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην περιοχή του Πηλίου η μηλιά καλλιεργείται συστηματικά τα τελευταία 50 χρόνια, με κυρίαρχη ποικιλία τη Starking Delicious, η οποία στις συγκεκριμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες δίνει μήλο εκλεκτής ποιότητας με άριστες οργανοληπτικές ιδιότητες και αντοχή στη συντήρηση.

Η συμβατική μορφή της καλλιέργειας χαρακτηρίζεται από υπερβολικές εισροές αγροχημικών, με αποτέλεσμα την αύξηση του οικονομικού κόστους και την επιβάρυνση στο περιβάλλον. Αντίθετα, με την ολοκληρωμένη διαχείριση επιτυγχάνεται η παραγωγή άριστης ποιότητας καρπών με μείωση των εισροών και των ανεπιθύμητων επιδράσεων στο περιβάλλον στις απολύτως απαραίτητες.

Ένας τρόπος μελέτης της μηλοκαλλιέργειας και των επί μέρους εισροών για την παραγωγή των καρπών είναι η ενεργειακή μελέτη [1]. Σε αυτή μελετώνται οι επιμέρους καλλιεργητικές εργασίες ή συντελεστές παραγωγής μετά από αναγωγή σε ενεργειακές μονάδες (joule), ώστε να μπορούμε να ξεχωρίσουμε εκείνους τους παράγοντες που προκαλούν τις μεγαλύτερες εισροές ενέργειας ή υλικά που απαιτούν υψηλά ποσά ενέργειας για να παραχθούν, ώστε να στοχεύσουμε στην ελαχιστοποίηση χρήσης αυτών. Επίσης, η ενεργειακή ανάλυση μεταξύ συμβατικών και συστημάτων ολοκληρωμένης διαχείρισης βοηθά στην κατανόηση και μέτρηση των επιμέρους συντελεστών παραγωγής και το βαθμό βελτίωσης που επιτυγχάνεται με την ολοκληρωμένη διαχείριση.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η συγκριτική ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου στη συμβατική μηλοκαλλιέργεια και στην εφαρμογή ολοκληρωμένης διαχείρισης της μηλοκαλλιέργειας στη Ζαγορά.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη της συμβατικής καλλιέργειας έγινε σε 3 μηλεώνες της περιοχής Ζαγοράς Πηλίου συνολικής έκτασης 11 στρεμμάτων. Καταγράφηκαν, σε συνεργασία με τους παραγωγούς και το Συνεταιρισμό Ζαγοράς, όλες οι καλλιεργητικές εργασίες λεπτομερώς, καθώς και οι εισροές και εκροές, που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 1998. Η μελέτη του ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης έγινε σε 5 μηλεώνες συνολικής έκτασης 26 στρεμμάτων. Εδώ συγκεκριμένα η σύμβουλος-γεωπόνος παρακολουθούσε την πορεία της καλλιέργειας, την εξέλιξη των εχθρών και ασθενειών, αποφάσιζε για τις εφαρμογές των καλλιεργητικών τεχνικών και κατέγραφε όλα τα παραπάνω για τα έτη 1999 και 2000. Τα στοιχεία κάθε μηλεώνα χρησίμευσαν για τον υπολογισμό των συνολικών εισροών (όλων των καλλιεργητικών εργασιών χωριστά και ανά συντελεστή παραγωγής) και των εκροών (κλαδευτικά και καρπούς).

Οι καλλιεργητικές φροντίδες που μελετήθηκαν ήταν η λίπανση, η άρδευση, το χειμερινό κλάδεμα και καύση των κλαδιών, το αραίωμα και θερινό κλάδεμα, η κοπή ζιζανίων, η φυτοπροστασία και η συγκομιδή και μεταφορά στο συσκευαστήριο.

Για κάθε καλλιεργητική εργασία υπολογίσθηκε η ισοδύναμη ενέργεια, που αντιστοιχεί στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, η ισοδύναμη ενέργεια εργασίας του χειριστή του μηχανήματος και των εργατών, η ενέργεια των καυσίμων και η ενσωματωμένη ενέργεια των μηχανημάτων που αντιστοιχεί στις ώρες λειτουργίας τους. Στην ενσωματωμένη ενέργεια περιλαμβάνεται η ενέργεια κατασκευής, μεταφοράς και επισκευής των μηχανημάτων. Διαιρώντας την ενέργεια αυτή με το συνολικό χρόνο οικονομικής ζωής των μηχανημάτων (ώρες) βρέθηκε η αντιστοιχούσα ενέργεια ανά ώρα λειτουργίας και η ενέργεια που απαιτήθηκε για τις συγκεκριμένες καλλιεργητικές εργασίες. Η ισοδύναμη ενέργεια ανά υλικό ή εργασία που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε σε διεθνή βιβλιογραφία [2]. Το ενεργειακό ισοδύναμο της ανθρώπινης ωριαίας εργασίας που χρησιμοποιήθηκε ήταν 2,2 MJ [3, 4]. Το ενεργειακό ισοδύναμο των εκροών των μήλων και των κλαδευτικών ήταν 2,4 $MJ \cdot kg^{-1}$ και 18,4 $MJ \cdot kg^{-1}$, αντίστοιχα [5]. Οι εισροές υπολογίσθηκαν ανά καλλιεργητική εργασία και ανά συντελεστή παραγωγής και για τις δύο μορφές καλλιέργειας.

Όταν η ποσότητα των καρπών που παράχθηκε ($kg \cdot ha^{-1}$) διαιρέθηκε με την ενέργεια που απαιτήθηκε ($MJ \cdot ha^{-1}$) για την παραγωγή τους, προέκυψε η παραγωγικότητα της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε ($kg \cdot MJ^{-1}$). Το αντίστροφο, δηλαδή η ενέργεια που εισέρευσε ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος, ήταν η ένταση της χρησιμοποιηθείσας ενέργειας ($MJ \cdot kg^{-1}$). Όταν η ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος ή των κλαδευτικών εκφράστηκε σε ισοδύναμη ενέργεια ($MJ \cdot ha^{-1}$) και συγκρίθηκε με την ενέργεια που δαπανήθηκε, προέκυψε ο βαθμός απόδοσης της ενέργειας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το 38% της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε στους μηλεώνες της συμβατικής καταναλώθηκε για τη φυτοπροστασία, 23% περίπου καταναλώθηκε για τη συγκομιδή και μεταφορά των καρπών στο συσκευαστήριο και 21% για τη λίπανση (Πίνακας 1). Μικρότερες ποσότητες ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν για την αντιμετώπιση ζιζανίων (12%), κλάδεμα (3,4%), αραίωμα (2,4%) και άρδευση (1,7%).

Αντίστοιχα, το 36% της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε στους μηλεώνες της ολοκληρωμένης καταναλώθηκε για τη φυτοπροστασία (μέσος όρος και των 2 ετών), ενώ από 22% περίπου καταναλώθηκε για τη λίπανση και τη συγκομιδή και μεταφορά των καρπών στο συσκευαστήριο (Πίνακας 1). Μικρότερες ποσότητες ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν για την κοπή των ζιζανίων (6%), αραίωμα (7%), κλάδεμα (7%) και ελάχιστες για την άρδευση (κάτω του 1%) καθώς αυτή γίνεται 1-2 φορές την καλλιεργητική περίοδο με αυλάκια και προσωπική εργασία χωρίς κατανάλωση ενέργειας για μεταφορά ή άντληση νερού. Έτσι φαίνεται ότι η περισσότερη ενέργεια και στα δύο συστήματα καλλιέργειας καταναλώνεται για την φυτοπροστασία και για τη λίπανση και συγκομιδή – μεταφορά στο συσκευαστήριο χωρίς ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των 2 μεθόδων παραγωγής. Αυτές είναι και οι καλλιεργητικές εργασίες που

απαιτούν την περισσότερη μελέτη για περαιτέρω μείωση στην ολοκληρωμένη διαχείριση της μηλοκαλλιέργειας.

Όσον αφορά την κατανομή της εισρέουσας ενέργειας κατά συντελεστή παραγωγής στους συμβατικούς μηλεώνες, το 27% αυτής οφείλεται στα καύσιμα και ένα επιπλέον 25% στα εντομοκτόνα μαζί με τα ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακας 2). Τα λιπάσματα που εφαρμόστηκαν αποτέλεσαν ένα 18% περίπου της εισρέουσας ενέργειας, ενώ τα γεωργικά οχήματα, φορητά ψεκαστικά και φορητά χορτοκοπτικά μηχανήματα αποτέλεσαν το 16%. Για τα μέσα συγκομιδής και μεταφοράς των μήλων στο συσκευαστήριο χρησιμοποιήθηκε το 7% περίπου της εισρέουσας ενέργειας, ενώ για τα μυκητοκτόνα και την ανθρώπινη εργασία από 3,5%.

Αντίστοιχα, στους μηλεώνες της ολοκληρωμένης διαχείρισης, το 30% της εισρέουσας ενέργειας οφείλεται στα καύσιμα και ένα επιπλέον 24% στα γεωργικά οχήματα, φορητά ψεκαστικά και φορητά χορτοκοπτικά μηχανήματα (Πίνακας 2). Τα λιπάσματα που εφαρμόστηκαν αποτέλεσαν ένα 21% περίπου της εισρέουσας ενέργειας, ενώ όλα τα φυτοπροστατευτικά χημικά σκευάσματα αποτέλεσαν το 11% το 1999 και το 16,5% το 2000 (περίπου 14% Μ.Ο.). Η διαφορά αυτή σε σχέση με τη συμβατική οφείλεται στους ελάχιστους ψεκασμούς που χρειάστηκε να γίνουν βάσει των παρατηρήσεων της γεωπόνου και ανάλυσης των μετεωρολογικών δεδομένων το 1999 και λόγω της εφαρμογής χειμερινού ψεκασμού για το φουζικλάδιο το 2000. Για τα μέσα συγκομιδής και μεταφοράς των μήλων στο συσκευαστήριο χρησιμοποιήθηκε το 7% περίπου της εισρέουσας ενέργειας. Η ποσοστιαία κατανομή ανά συντελεστή παραγωγής τροποποιήθηκε σημαντικά μεταξύ των δύο συστημάτων παραγωγής μήλων, καθώς η ενέργεια που εισέρευσε στην ολοκληρωμένη διαχείριση από τα χρησιμοποιηθέντα εντομοκτόνα ήταν πολύ μικρή με αποτέλεσμα την αύξηση των ποσοστών συμμετοχής των άλλων κύριων συντελεστών παραγωγής στο σύνολο.

Η ανθρώπινη εργασία προκάλεσε ελάχιστη εισροή ενέργειας στο μηλεώνα (3,3% στη συμβατική και 4,5% στην ολοκληρωμένη), παρόλο που στους συγκεκριμένους μηλεώνες οι περισσότερες εργασίες γίνονται χειρωνακτικά και με ελάχιστη χρήση μηχανικών μέσων λόγω του επικλινούς του εδάφους και πολυτεμαχισμού της γης (Πίνακας 2). Για τους ανωτέρω υπολογισμούς ως ενεργειακό ισοδύναμο για την ανθρώπινη εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα 2.2 $MJ \cdot h^{-1}$. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την συνολική ενέργεια της καταναλισκόμενης τροφής και μόνο [6]. Υπάρχει σοβαρή αντίρρηση από άλλους ερευνητές για το αν η ανθρώπινη εργασία θα πρέπει να υπολογίζεται με αυτόν τον τρόπο. Οι τελευταίοι διατείνονται ότι για να φτάσει ο άνθρωπος μέχρι την ηλικία, που να μπορεί να εργαστεί έχουν επενδυθεί μεγάλα ποσά ενέργειας για την ανάπτυξη και συντήρησή του, ένδυση, στέγαση, μόρφωση, περίθαλψη κ.α, ώστε να μπορεί να παίρνει τις κατάλληλες αποφάσεις και να εκτελεί τις κατάλληλες εργασίες. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα να ανεβάζουν το ενεργειακό ισοδύναμο της ανθρώπινης ωριαίας εργασίας από 29 [7] μέχρι και 450 MJ [8].

Με την ενέργεια που εισέρευσε στο αγροοικοσύστημα της συμβατικής καλλιέργειας (86523 $MJ \cdot ha^{-1}$) παράχθηκαν 44900 $kg \cdot ha^{-1}$ καρπών (Πίνακας 3). Αντίστοιχα, για την ολοκληρωμένη καλλιέργεια οι εισροές ενέργειας ήταν 55927 $MJ \cdot ha^{-1}$ και η παραγωγή 23985 $kg \cdot ha^{-1}$. Η αυξημένη κατά 87% παραγωγή καρπών από τους μηλεώνες της συμβατικής το έτος 1998 είχε ως αποτέλεσμα τη μέση αύξηση των εκροών από 124467 στην ολοκληρωμένη (Μ.Ο. 1999 και 2000) σε 177617 $MJ \cdot ha^{-1}$ στη συμβατική (Πίνακας 3). Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η μειωμένη παραγωγή το 1999 και 2000 οφειλόταν σε παράγοντες, που δεν είχαν σχέση με τη μορφή καλλιέργειας, αλλά με τις άσχημες καιρικές συνθήκες και το πρόβλημα της μικροκαρπίας των μήλων. Αυτό αποδεικνύεται περαιτέρω καθώς το πρόβλημα της μειωμένης παραγωγής ήταν καθολικό στην περιοχή Ζαγοράς από το 1999 έως και το 2002.

Αποτέλεσμα της υψηλής παραγωγής του 1998 ήταν η αύξηση της παραγωγικότητας της ενέργειας της συμβατικής κατά 20% στο 0,52 $Kg \cdot MJ^{-1}$, μείωση της έντασης της ενέργειας κατά 25% στο 1,93 $MJ \cdot kg^{-1}$ και αύξηση του βαθμού απόδοσης της ενέργειας κατά 20% στο 1,24, όταν μόνο οι καρποί χρησιμοποιήθηκαν σαν εκροές (Πίνακας 4). Αντίθετα, όταν στον βαθμό απόδοσης χρησιμοποιήθηκαν σαν εκροές οι καρποί και τα κλαδευτικά, τότε ο βαθμός απόδοσης ήταν κατά 11% υψηλότερος στην ολοκληρωμένη σε σχέση με τη συμβατική μηλοκαλλιέργεια (Πίνακας 4). Είναι φανερή η φαινομενική επίδραση της αυξημένης παραγωγής του ’98 στους δείκτες παραγωγικότητας, έντασης και βαθμού απόδοσης της ενέργειας. Κύριος στόχος όμως αυτής της εργασίας ήταν η σύγκριση των εισροών της συμβατικής και ολοκληρωμένης διαχείρισης της μηλοκαλλιέργειας.

Η φυτοπροστασία, όπως ήταν αναμενόμενο, αποτέλεσε το σημαντικότερο ενεργειακό κόστος για την παραγωγή μήλων και στις δυο μορφές καλλιέργειας (περίπου το ένα τρίτο του συνόλου). Το ποσό της ενέργειας που καταναλώθηκε για τη φυτοπροστασία στη συμβατική καλλιέργεια ήταν κατά 65% αυξημένο σε σχέση με την ολοκληρωμένη. Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλές ποσότητες εντομοκτόνων που χρησιμοποιήθηκαν για την αντιμετώπιση της καρπόκαψας και των άλλων εντόμων (21829 $MJ \cdot ha^{-1}$ για εντομοκτόνα στη συμβατική έναντι 3621 $MJ \cdot ha^{-1}$ στην ολοκληρωμένη). Όπως αναφέρθηκε, η φυτοπροστασία στην ολοκληρωμένη καλλιέργεια έγινε με τη συνεχή καθοδήγηση γεωπόνου-συμβούλου, με την αξιοποίηση κλιματολογικών στοιχείων από μετεωρολογικούς σταθμούς και χρήση κατάλληλου λογισμικού, με απόλυτη επιτυχία και με τους απαραίτητους και μόνο ψεκασμούς. Περαιτέρω μείωση των εφαρμογών φυτοπροστατευτικών ήταν εφικτή αλλά υπήρχε κίνδυνος απώλειας ποιότητας των καρπών και δυσανασχέτησης των παραγωγών.

Η συγκομιδή και μεταφορά των καρπών είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική εισροή ενέργειας και στις δύο μορφές καλλιέργειας (23% των συνολικών εισροών στη συμβατική και 22% στην ολοκληρωμένη). Το ποσό της ενέργειας που καταναλώθηκε για τη συγκομιδή στη συμβατική καλλιέργεια ήταν κατά 40% αυξημένο σε σχέση με την ολοκληρωμένη. Αυτό αποδίδεται στην αυξημένη παραγωγή του 1998 (σχεδόν διπλάσια). Είναι αμφίβολο αν μπορεί να

επιτευχθεί περαιτέρω μείωση των ενεργειακών εισροών για τη συγκομιδή και μεταφορά, λόγω του δύσβατου της περιοχής, του μεγέθους των μηλεόδεντρων και της οικογενειακής μορφής εκμετάλλευσης στην περιοχή Ζαγοράς. Δέντρα μικρότερου μεγέθους θα αύξαναν την αποτελεσματικότητα χρήσης της ανθρώπινης εργασίας και θα μείωναν τα απαιτούμενα ημερομίσθια σε μια περιοχή που δεν υπάρχουν πολλά έμπειρα εργατικά χέρια διαθέσιμα και η συγκομιδή των μήλων πρέπει να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η ενεργειακή εισροή για τη μεταφορά των προϊόντων αλλά και για τις μετακινήσεις των παραγωγών για όλες τις καλλιεργητικές εργασίες θα ήταν δυνατό να μειωθεί μόνο με κατάλληλο δίκτυο οδοποιίας που θα μείωνε τις εισροές ενέργειας από καύσιμο αλλά και θα βελτίωνε την ποιότητα των καρπών λόγω μείωσης της ταλαιπωρίας τους κατά τη μετακίνηση στο συσκευαστήριο.

Η λίπανση των μηλεόδενδρων επίσης κατανάλωσε ένα σημαντικό ποσοστό (περίπου 21% στη συμβατική και 22% στην ολοκληρωμένη) της εισρέουσας ενέργειας. Εδώ ας σημειωθεί, ότι η λίπανση που έγινε στην ολοκληρωμένη ήταν σημαντικά μειωμένη σε σχέση με τους συμβατικούς μηλεώνες της περιοχής και έγινε ορθολογικά βάσει των εκροών καρπών και βλαστών και, επιπλέον για το 2000, βάσει εδαφολογικών και φυλλοδιαγνωστικών αναλύσεων. Καθώς είναι γνωστό ότι γίνεται σπατάλη κυρίως σε αζωτούχα και φωσφορικά λιπάσματα στους συμβατικούς μηλεώνες (Ε. Σφακιωτάκης, αδημοσίευτα στοιχεία) και λόγω του υψηλού ενεργειακού ισοδύναμου παραγωγής μιας λιπαντικής τους μονάδας, ήταν αναμενόμενο ότι το ενεργειακό κόστος της λίπανσης θα είναι ιδιαίτερα υψηλό στους συμβατικούς μηλεώνες (17749 $MJ \cdot ha^{-1}$ στη συμβατική και 12115 $MJ \cdot ha^{-1}$ στην ολοκληρωμένη).

Τέλος, είναι προφανής η έντονη επίδραση της παραγωγής καρπών στους δείκτες παραγωγικότητας και απόδοσης της ενέργειας. Η υψηλή παραγωγή καρπών το 1998 και η μειωμένη παραγωγή τα έτη 1999 και 2000, που οφείλονταν στις αντίξοες καιρικές συνθήκες, είχαν σαν αποτέλεσμα την φαινομενικά καλή παραγωγικότητα της ενέργειας και τον βαθμό απόδοσης αυτής στη συμβατική καλλιέργεια το 1998. Αν υποθέταμε ότι η παραγωγή το 1998 ήταν παρόμοια με το 1999 και 2000 και με τις κατάλληλες μειώσεις στο κόστος συγκομιδής, τότε η παραγωγικότητα της ενέργειας και η απόδοση της θα ήταν καλύτερες κατά περίπου 40% για την ολοκληρωμένη διαχείριση.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά η εφαρμογή ολοκληρωμένης διαχείρισης στη μηλοκαλλιέργεια Ζαγοράς Πηλίου είχε σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των εισροών ενέργειας για τη φυτοπροστασία και λίπανση, δύο παράγοντες που επιδρούν δυσμενώς στο κόστος καλλιέργειας και στο περιβάλλον, σε σχέση με τη συμβατική μηλοκαλλιέργεια.

Συντελεστές παραγωγής, όπως η κατανάλωση καυσίμου και η χρήση μηχανημάτων, δεν επιδέχονται ουσιαστική βελτίωση στην ολοκληρωμένη

διαχείριση με τον παρόντα τρόπο παραδοσιακής μηλοκαλλιέργειας στην περιοχή, τον πολυτεμαχισμό και το δύσβατο του ορεινού όγκου.

Επίσης, η παραγωγή καρπών στη μηλοκαλλιέργεια επηρεάζει τα μέγιστα τις εκροές ενέργειας με ελάχιστη τροποποίηση των εισροών με αποτέλεσμα την έντονη τροποποίηση των δεικτών παραγωγικότητας, έντασης και βαθμού απόδοσης της ενέργειας.

Ευχαριστίες: Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν θερμά τον Αγροτικό Συνεταιρισμό Ζαγοράς Πηλίου και τις γεωπόνους του, κες. Ιωάννα Μπούτλα και Ιουλία Παπούλια για την πολύτιμη βοήθεια που πρόσφεραν στη συλλογή των στοιχείων.

Πίνακας 1: Απαιτούμενη ενέργεια ανά εκτάριο σε καλλιέργεια μηλιάς και κατανομή της κατά καλλιεργητική εργασία (Μ.Ο 3 επαν. συμβατική και 10 επαν. ολοκληρωμένη).

Καλλιεργητική εργασία	Συμβατική		Ολοκληρωμένη	
	$MJ \cdot ha^{-1}$	%	$MJ \cdot ha^{-1}$	%
Φυτοπροστασία	32548	37,6	19759	36
Ζιζανιοκτονία	10116	11,7	3201	5,9
Αραίωμα	2082	2,4	4103	7,3
Συγκομιδή	19635	22,7	12595	21,7
Λίπανση	17749	20,5	12115	22
Άρδευση	1438	1,7	353	0,7
Κλάδεμα	2956	3,4	3801	6,7
Σύνολο	86523		55927	

Πίνακας 2: Απαιτούμενη ενέργεια ανά εκτάριο σε καλλιέργεια μηλιάς και κατανομή της κατά συντελεστή παραγωγής (Μ.Ο 3 επαν. συμβατική και 10 επαν. ολοκληρωμένη).

Συντελεστής παραγωγής	Συμβατική		Ολοκληρωμένη	
	$MJ \cdot ha^{-1}$	%	$MJ \cdot ha^{-1}$	%
Εντομοκτόνα	21829	25,2	3621	6,7
Μηχανήματα	14056	16,2	13245	23,9
Καύσιμα	22932	26,5	17059	30,1
Λιπάσματα	15918	18,4	11481	20,8
Μυκητοκτόνα	2988	3,5	3959	6,9
Εργασία	2873	3,3	2522	4,5
Βοηθητικά	5927	6,9	4040	7,2
Σύνολο	86523		55927	

Πίνακας 3: Εκροές καρπών, κλαδευτικών και ενέργειας από μηλεώνες καλλιεργούμενους με συμβατική ή ολοκληρωμένη διαχείριση (Μ.Ο 3 επαν. συμβατική και 10 επαν. ολοκληρωμένη)

Διαχείριση	Καρποί ($kg \cdot ha^{-1}$)	Κλαδευ-τικά ($kg \cdot ha^{-1}$)	Ενέργεια καρπών ($MJ \cdot ha^{-1}$)	Ενέργεια κλαδευτικών ($MJ \cdot ha^{-1}$)	Σύνολο εκροών ($MJ \cdot ha^{-1}$)
Συμβατική	44900	3797	107744	69852	177617
Ολοκλ/μένη	23985	3636	57565	66902	124467

Πίνακας 4: Παραγωγικότητα, ένταση και βαθμός απόδοσης της ενέργειας της καλλιέργειας μηλιάς σε συμβατική και ολοκληρωμένη διαχείριση (Μ.Ο 3 επαν. συμβατική και 10 επαν. ολοκληρωμένη).

Διαχείριση	Παραγωγικότητα ($Kg \cdot MJ^{-1}$)	Ένταση ($MJ \cdot kg^{-1}$)	Βαθμός απόδοσης (καρποί + κλαδευτικά)	Βαθμός απόδοσης (μόνο καρποί)
Συμβατική	0,52	1,93	2,05	1,24
Ολοκληρωμένη	0,43	2,44	2,28	1,03

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fluck, R.C., Baird, C.D., 1982. *Agricultural Energetics*, AVI Publications, Westport, CT.
2. Tsatsarelis, C.A., 1992. Energy flow in sugarbeet production in Greece. *Applied Engineering in Agriculture*. 8 (5). 585-589.
3. Pimentel, D., Hall, C.W., 1984. Food and energy resources. *Academic Press,* New York.
4. Stanhill, G., 1980. The energy cost of protected cropping: A comparison of six systems of tomato production. *J. Agric. Eng. Res.* 25. 145-154.
5. Baldini, E., Alberghina, O., Bargioni, G., Cobianchi, D., Iannini, B., Tribulato, E., Zocca, A., 1982. Analisi energetiche di colture arboree da frutto. *Rivista di Ingegneria Agraria.* 30 (2). 73-78.
6. Pimentel, D., Pimentel, M., 1979. *Food Energy and Society*, Resource and Environmental Science Series, Edward Arnold, London.
7. Slesser, M., 1973. Energy subsidy as criterion in food policy. *J. Sci. Food Agric.* 24. 1193-1207.
8. Fluck, R.C., 1976. To evaluate labor energy in food production. *Agricultural Engineering*. 57 (1). 31-32.

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΣΙΤΑΡΙ

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εξετάζονται οι εισροές και εκροές ενέργειας για 5 μεθόδους κατεργασίας στην καλλιέργεια του σιταριού. Οι μέθοδοι είναι: 1) συμβατική κατεργασία με άροτρο (Σ), 2) μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ), 3) μειωμένη με περιστροφικό καλλιεργητή (ΠΚ), 4) μειωμένη με δισκοσβάρνα (Δ) και 5) ακαλλιέργεια (Α). Η ενεργειακή παραγωγικότητα στην μέθοδο (Σ) ήταν 0,176 kg/MJ, στην μέθοδο (ΒΚ) 0,182 kg/MJ, στις μεθόδους (ΠΚ) και (Δ) 0,127-0,135 kg/MJ και στην μέθοδο (Α) 0,058 kg/MJ. Η πλέον παραγωγική μέθοδος ήταν η (ΒΚ). Τα αποτελέσματα προέρχονται από πειραματισμό ενός έτους

Λέξεις κλειδιά: Σιτάρι, κατεργασία, εξοικονόμηση ενέργειας.

PERSPECTIVES FOR ENERGY CONSERVATION WITH REDUCED TILLAGE APPLICATION IN THE WINTER WHEAT CROP

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

ABSTRACT

The energy inputs and outputs with five methods of tillage in the winter wheat crop are estimated. The methods are: 1) Conventional tillage with moldboard plough (CT), 2) reduced tillage with heavy cultivator (HC), 3) reduced tillage with rotary cultivator (RC), 4) reduced tillage with disk harrow (DH) and 5) no-tillage (NT). Energy productivity for the (CT) method was 0,176 kg/MJ, for the (HC) 0,182 kg/MJ, for the (RC) and (DH) methods 0,127-0,135kg/MJ and for the (NT) 0,058 kg/MJ. The (HC) method is proved to be the most profitable. The results become from one year experimentation.

Key words: Wheat, tillage, energy conservation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε τριετές πείραμα διαπιστώθηκε ότι τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας με την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους σε εντατικές καλλιέργειες όπως είναι τα ζαχαρότευτλα, είναι περιορισμένα [8]. Στη μελέτη αυτή διαπιστώθηκε ότι το υψηλότερο μερίδιο των ενεργειακών εισροών καταλάμβανε η άρδευση (65%) ενώ η κατεργασία του εδάφους με τη συμβατική μέθοδο αντιπροσώπευε μόλις το 5,4% των συνολικών εισροών περιορίζοντας τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας. Επιπλέον, με τη μείωση της κατεργασίας διαπιστώθηκε μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών η οποία οφείλονταν στον ανταγωνισμό των ζιζανίων, στην μεταβολή των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και στο μειωμένο φύτρωμα [1,2,6]. Μετά το τέλος του πειράματος, στους ίδιους πειραματικούς αγρούς επιχειρήθηκε η σπορά σκληρού σιταριού με τις 5 μεθόδους προετοιμασίας του εδάφους που αναφέρονται στα υλικά και μέθοδοι. Σκοπός ήταν η εισαγωγή μιας χειμερινής καλλιέργειας στο σύστημα της αμειψισποράς για αποτελεσματικότερη διαχείριση των ζιζανίων. Επιπλέον το σιτάρι ως μη αρδευόμενη καλλιέργεια έχει μικρότερες ενεργειακές εισροές καθιστώντας σημαντικότερο το μερίδιο που αναλογεί για την προετοιμασία του εδάφους. Πειράματα στην ίδια περιοχή έχουν δείξει ότι είναι δυνατή με ικανοποιητικά αποτελέσματα η απευθείας σπορά σιταριού μετά από βαμβάκι [4].

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα σιταριού διεξήχθηκε την καλλιεργητική περίοδο 1999-2000 σε δύο πειραματικούς αγρούς, έναν αργιλώδη και έναν ιλυο-αργιλώδη. Τα τρία προηγούμενα έτη στους ίδιους αγρούς υπήρχε αντίστοιχο πείραμα με αμειψισπορές ζαχαρότευτλων, καλαμποκιού και βαμβακιού. Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με 4 επαναλήψεις. Στα τεμάχια εφαρμόστηκαν για τέταρτη συνεχή χρονιά οι εξής 5 μέθοδοι κατεργασίας:

1. Συμβατική κατεργασία (Σ) Όργωμα στα 20-25 cm και τελική προετοιμασία με δύο περάσματα με δισκοσβάρνα.
2. Μειωμένη κατεργασία (ΒΚ): Επέμβαση με βαρύ καλλιεργητή στα 20 cm και προετοιμασία της σποροκλίνης όπως στην (Σ)
3. Μειωμένη κατεργασία (ΠΚ): Επέμβαση με περιστροφικό καλλιεργητή στα 10-12 cm και τελική προετοιμασία με ένα πέρασμα με δισκοσβάρνα.
4. Μειωμένη κατεργασία (Δ): Δύο επεμβάσεις με δισκοσβάρνα στα 6-8 cm.
5. Ακαλλιέργεια (Α): Απ' ευθείας σπορά σε μη κατεργασμένο έδαφος.

Το μέγεθος των πειραματικών τεμαχίων ήταν 6×10 m. Οι επεμβάσεις πρωτογενούς κατεργασίας πραγματοποιήθηκαν στις 22/11//99 και δύο εβδομάδες αργότερα ολοκληρώθηκε η προετοιμασία της σποροκλίνης. Η σπορά του σιταριού πραγματοποιήθηκε με μια συμβατική σπαρτική γραμμικών καλλιεργειών στις 14/12/99. Χρησιμοποιήθηκε σπόρος της ποικιλίας *MEXIA* σε ποσότητα 23 kg/στρ Για τη λίπανση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε

ασβεστούχος νιτρική ουρία. Εφαρμόστηκαν στις 14/3 με επιφανειακή διανομή 15,5 μονάδες αζώτου και 5 μονάδες ασβεστίου. Στις 26/2 έγινε σε όλα τα τεμάχια ψεκασμός με 150 g/στρ του ζιζανιοκτόνου MCPA. Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στις 21/6 με την θεριζοαλωνιστική πειραματικών αγροτεμαχίων του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Όλες οι καλλιεργητικές εργασίες πραγματοποιήθηκαν με έναν γεωργικό ελκυστήρα 82 kW με κίνηση και στους τέσσερις τροχούς. Το γεγονός αυτό είχε ως μειονέκτημα την υπερεκτίμηση των ενεργειακών αναγκών για τις λιγότερο απαιτητικές εργασίες (σπορά, λίπανση, ψεκασμοί). Να σημειωθεί ωστόσο ότι το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζει καλύτερα την ελληνική γεωργική πραγματικότητα καθότι οι περισσότεροι από τους Έλληνες γεωργούς διαθέτουν μόνο έναν γεωργικό ελκυστήρα με τον οποίο συνήθως είναι αναγκασμένοι να πραγματοποιήσουν όλες τις γεωργικές εργασίες.

Κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων με ένα σύστημα δυναμομέτρησης καταγράφτηκε σε έναν Η/Υ η ελκτική δύναμη του ελκυστήρα καθώς και η ροπή και η γωνιακή ταχύτητα στον δυναμοδότη [10]. Επίσης με ένα ραντάρ καταγράφτηκε η γραμμική ταχύτητα του ελκυστήρα. Τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ενέργειας μεταβλητών στοιχείων (καύσιμα, λιπαντικά) [7]. Επιπλέον εκτιμήθηκε η απόσβεση της ενέργειας των σταθερών στοιχείων των μηχανημάτων [7]. Με μια διαδικασία ανάλογη με αυτή που περιγράφεται σε εργασία που παρουσιάζεται στο ίδιο συνέδριο [8] υπολογίστηκαν οι εισροές ενέργειας με τα υπόλοιπα γεωργικά εφόδια (λιπάσματα, φυτοφάρμακα κ.λ.π.). Για το άζωτο χρησιμοποιήθηκε ενεργειακό ισοδύναμο 76,6 MJ/kg και για το ασβέστιο 8,15 MJ/kg [5]. Η ενέργεια για την παραγωγή, μορφοποίηση, συσκευασία και διανομή του MCPA θεωρήθηκε ίση με 163,2 MJ/kg δ.ο. [5] Για κάθε μέθοδο κατεργασίας με βάση την απόδοση σε ξηρό βάρος σπόρου υπολογίστηκαν οι εκροές ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη την ανώτερη θερμογόνο δύναμη του σπόρου του σιταριού η οποία είναι ίση με 19,46 MJ/kg [3]. Από τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν για κάθε μέθοδο ο συντελεστής της ενεργειακής αποδοτικότητας ως ο λόγος των εκροών προς τις συνολικές εισροές ενέργειας και η ενεργειακή παραγωγικότητα ως ο λόγος της απόδοσης (σε σπόρο υγρασίας 13,5%) προς τις συνολικές εισροές ενέργειας.

Κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου μετρήθηκε η εξέλιξη του φυτρώματος της καλλιέργειας, το αδέλφωμα και το ύψος των φυτών. Για το σκοπό αυτό σε κάθε πειραματικό τεμάχιο ορίστηκαν σε τυχαίες θέσεις ένα πλαίσιο παρατηρήσεων διαστάσεων 0,5×0,5 m. Επίσης στις 24/2 και 10/5/00 συλλέχθηκε από 2 πλαίσια διαστάσεων 0,5×0,5 m που τοποθετήθηκαν επίσης σε τυχαίες θέσεις σε κάθε πειραματικό τεμάχιο το υπέργειο τμήμα του σιταριού και των ζιζανίων. Δείγματα των φυτών ξηράθηκαν σε κλίβανο στους 72^0C για 48 ώρες και υπολογίστηκε η ξηρά βιομάζα τόσο του σιταριού όσο και των ζιζανίων. Η τελική απόδοση εκτιμήθηκε με τη συγκομιδή με την θεριζοαλωνιστική μιας λωρίδας διαστάσεων 1,1 × 10 m σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Δείγμα σπόρου από κάθε τεμάχιο τοποθετήθηκε σε κλίβανο στους 105 ^{0}C για 72 ώρες για εκτίμηση της υγρασίας.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Ζιζάνια

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της ξηράς βιομάζας των ζιζανίων για τους δύο πειραματικούς αγρούς και για δύο ημερομηνίες, μια στην αρχή της ανάπτυξης της καλλιέργειας και μια στο τέλος. Παρατίθεται επίσης η ξηρά βιομάζα της καλλιέργειας για τις ίδιες ημερομηνίες. Όπως διαπιστώνεται, οι μέθοδοι (Σ) και (ΒΚ) παρουσίαζαν σημαντικά μειωμένη βιομάζα ζιζανίων. Οι μέθοδοι (ΠΚ) και (Δ) παρουσίαζαν υψηλότερη προσβολή. Πριν από την εφαρμογή του MCPA, η βιομάζα των ζιζανίων αποτελούσε περίπου το 1/3 της βιομάζας της καλλιέργειας. Με τον ψεκασμό του ζιζανιοκτόνου ωστόσο τα ζιζάνια καταστράφηκαν και από την μέτρηση στις 10/5 διαπιστώνεται ότι οι μέθοδοι αυτές αν και πάλι παρουσίαζαν περισσότερα ζιζάνια δεν αντιμετώπιζαν ουσιαστικό πρόβλημα διότι η βιομάζα της καλλιέργειας ήταν 8-12 φορές υψηλότερη. Αντίθετα με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, στην ακαλλιέργεια τα ζιζάνια ήταν δραματικά αυξημένα. Αυτό όμως οφείλονταν σε σημαντικό βαθμό στην αποτυχία εγκατάστασης της καλλιέργειας του σιταριού (Πίνακας 2).

Πίνακας 1. Ξηρά βιομάζα σιταριού και ζιζανίων

	Ξηρά βιομάζα ζιζανίων (g/m^2)		Ξηρά βιομάζα σιταριού (g/m^2)	
	24/2/00	10/5/00	24/2/00	10/5/00
Σ	0,09	1,92	37,82	266,68
ΒΚ	0,78	6,34	31,24	245,80
ΠΚ	9,09	16,68	25,88	195,79
Δ	8,31	21,01	20,66	178,99
Α	172,79	118,12	2,67	23,81
LSD $_{0,05}$	1,58	1,52	2,52	14,18
CV(%)	52,8	32,3	21,5	15,7

3.2. Εξέλιξη καλλιέργειας

Σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας σημειώθηκε μειωμένο φύτρωμα (Πίνακας 2). Ο πληθυσμός μετά την ολοκλήρωση του φυτρώματος στην μέθοδο (ΒΚ) ήταν μειωμένος κατά 10,9%, στη μέθοδο (ΠΚ) μειωμένος κατά 41,3%, στην μέθοδο (Δ) μειωμένος κατά 58,9% ενώ στην μέθοδο της ακαλλιέργειας υπήρξε αποτυχία του φυτρώματος. Οι μειωμένοι πληθυσμοί αναπληρώθηκαν εν μέρει από το υψηλότερο αδέλφωμα των φυτών στις τρεις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας. Ο τελικός πληθυσμός μετά το αδέλφωμα ήταν στην μέθοδο (ΒΚ) μειωμένος μόλις κατά 1,4%, στην μέθοδο (ΠΚ) μειωμένος κατά 19,7% και στην μέθοδο (Δ) μειωμένος κατά 40,4%.

Πίνακας 2. Στοιχεία ανάπτυξης και παραγωγής της καλλιέργειας του σιταριού.

	Πληθυσμός μετά το φύτρωμα (φυτά/m^2)	Αδέλφωμα (αδέλφια / φυτό)	Πληθυσμός μετά το αδέλφωμα (φυτά/m^2)	Τελικό ύψος φυτών (cm)	Υγρασία σπόρου (%)	Απόδοση (υγρασία 13%) (kg/στρ)
Σ	301,9	2,84	844,39	106,3	13,76	337,7
ΒΚ	268,9	3,15	824,20	106,2	12,93	328,2
ΠΚ	177,1	3,89	625,71	99,8	14,60	241,2
Δ	124,0	4,13	507,55	98,5	15,85	215,9
Α	7,5	3,53	12,00	71,7	17,64	94,6
$LSD_{0,05}$	16,0	0,32	44,88	5,6	0,75	12,6
CV(%)	18,4	20,8	15,6	8,4	6,2	10,5

Διαφορές μεταξύ των μεθόδων κατεργασίας διαπιστώθηκαν και ως προς την ανάπτυξη των φυτών. Τα φυτά στη συμβατική κατεργασία και τη μέθοδο (ΒΚ) αναπτύχθηκαν ταχύτερα και τελικά απέκτησαν σημαντικά μεγαλύτερο ύψος (Πίνακας 2). Σημαντικές ήταν επίσης οι διαφορές ως προς την ξηρά βιομάζα με το σιτάρι στη μέθοδο (Σ) να εμφανίζει την καλύτερη ανάπτυξη (Πίνακας 1).

Εξετάζοντας την απόδοση της καλλιέργειας διαπιστώνεται ότι σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία, στη μέθοδο (ΒΚ) σημειώθηκε μια ελαφρά μείωση της τάξης του 2,8% η οποία ωστόσο δεν ήταν στατιστικώς σημαντική. Στις άλλες δύο μεθόδους μειωμένης κατεργασίας όμως, η μείωση της απόδοσης ήταν ιδιαίτερα αισθητή. Σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία, στην μέθοδο (ΠΚ) υπήρχε μείωση της απόδοσης της τάξης του 28,6% και στην μέθοδο (Δ) μείωση της τάξης του 36,1%. Για την μέθοδο (Α) η απόδοση κρίνεται άνευ σημασίας λόγω της αποτυχίας εγκατάστασης της καλλιέργειας. Με ανάλυση συσχέτισης διαπιστώθηκε ότι μια αιτία για τη μείωση των αποδόσεων ήταν οι μειωμένοι πληθυσμοί (R^2 = 0,81). Διαφορές τέλος σημειώθηκαν και στην υγρασία του συγκομιζόμενου σπόρου (Πίνακας 2). Γενικά υπήρχε μια τάση για τις μεθόδους εντατικότερης κατεργασίας να εμφανίζουν λιγότερη υγρασία. Το γεγονός αυτό οφείλονταν στο ότι τα φυτά είχαν λιγότερα αδέλφια και άρα παρουσίαζαν πρωϊμότερη και πιο ταυτόχρονη ωρίμανση.

3.3. Ισοζύγια εισροών – εκροών ενέργειας

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η πραγματική απορροφόμενη ενέργεια από τα γεωργικά μηχανήματα καθώς και η ενέργεια των σταθερών στοιχείων. Με τον βαρύ καλλιεργητή η κατανάλωση ενέργειας ήταν υπο-διπλάσια του οργώματος. Σημαντική επίσης ήταν η εξοικονόμηση ενέργειας με τον περιστροφικό καλλιεργητή (περίπου 40% σε σχέση με το όργωμα) ενώ με τη δισκοσβάρνα η κατανάλωση ενέργειας ήταν 6,5 φορές μικρότερη από το όργωμα Το γεγονός αυτό ήταν συνέπεια και του μικρότερου βάθους εργασίας. Τέλος, η ενέργεια που καταναλώνεται με τα μηχανήματα για τις λοιπές καλλιεργητικές εργασίες ήταν επίσης περιορισμένη.

Πίνακας 3. Εισροές ενέργειας με τα γεωργικά μηχανήματα

	Απορροφόμενη ενέργεια στην έλξη	στο ΡΤΟ	Σύνολο	Ενέργεια μεταβλητών στοιχείων	Απόσβεση ενέργειας σταθερών στοιχείων	Σύνολο
Μηχανήματα κατεργασίας						
Άροτρο	17,1		17,1	193,4	25,98	219,37
Βαρύς καλλιεργητής	7,5		7,5	93,2	13,50	106,65
Περιστροφ καλλιεργ	1,7	18,8	20,5	113,0	15,86	128,86
Δισκοσβάρνα	1,7		1,7	29,1	4,20	33,32
Λοιπά μηχανήματα						
Σπαρτική σιτηρών	0,6		0,6	47,3	9,63	56,95
Ψεκαστικό	2,0	0,1	2,1	40,2	6,61	46,85
Λιπασματοδιανομέας	4,1	0,2	4,3	58,8	5,30	64,06
Θεριζοαλωνιστική				59,0	37,88	96,89

** Για τη θεριζοαλωνιστική δεν ήταν δυνατή η μέτρηση της απορροφόμενης ενέργειας. Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων υπολογίστηκε από στοιχεία της κατανάλωσης καυσίμου του Leach, (1975)*

Στον Πίνακα 4 συνοψίζονται οι εισροές ενέργειας με τις διάφορες καλλιεργητικές επεμβάσεις. Το μεγαλύτερο μερίδιο των ενεργειακών εισροών, (~64%) καταλαμβάνει η λίπανση. Ακολουθούν η κατεργασία του εδάφους και η σπορά (~15% έκαστη), η συγκομιδή (~5%) και η ζιζανιοκτονία (~0,5%). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρει και ο Τσατσαρέλης (1992) [11] Με τη μείωση της εντατικότητας της κατεργασίας προέκυψε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 6,1-6,9% για τις μεθόδους (ΒΚ) και (ΠΚ), της τάξης του 11,8% για την μέθοδο (Δ) και της τάξης του 15,5% για την μέθοδο (Α). Η μείωση των αποδόσεων όμως οδήγησε σε μια ανάλογη μείωση των εκροών ενέργειας. Εξετάζοντας την ενεργειακή παραγωγικότητα και τον συντελεστή ενεργειακής αποδοτικότητας προκύπτει ότι η πλέον αποδοτική μέθοδος ήταν η (ΒΚ). Ακολουθεί με μικρή διαφορά η (Σ) και έπονται με μεγάλη διαφορά οι μέθοδοι (ΠΚ) και (Δ). Για την (Α) οι συντελεστές δεν έχουν πρακτικό ενδιαφέρον καθότι η εγκατάσταση της καλλιέργειας απέτυχε όπως προαναφέρθηκε.

Πίνακας 4. Ισοζύγια εισροών – εκροών ενέργειας

	Σ	ΒΚ	ΠΚ	Δ	Α
Εισροές ενέργειας (MJ/στρ)					
1 κατεργασία	298	181	166	72	0
2 ζιζανιοκτονία	10	10	10	10	10
4 σπορά	289	289	289	289	289
5 λίπανση	1.228	1.228	1.228	1.228	1.228
7 συγκομιδή	97	97	97	97	97
σύνολο	1.922	1.805	1.790	1.696	1.624
Απόδοση (kg/στρ)	338	328	241	216	95
Εκροές ενέργειας (MJ/στρ)	5.814	5.651	4.153	3.716	1.629
Συντ. ενεργειακής αποδοτικότητας	3,03	3,13	2,32	2,19	1,00
Ενεργειακή παραγ/τητα (kg/MJ)	0,176	0,182	0,135	0,127	0,058

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας στο σιτάρι προέκυψε μια μείωση της παραγωγής της τάξης του 2,8% για την μέθοδο (ΒΚ) και της τάξης του 28,6-38,1% για τις μεθόδους (ΠΚ) και (Δ) αντίστοιχα. Για τη μέθοδο (Α) η απόδοση δεν μπορεί να θεωρηθεί ενδεικτική καθότι υπήρχε αποτυχία εγκατάστασης της καλλιέργειας κατά το φύτρωμα. Η μείωση της απόδοσης οφείλονταν σε ένα βαθμό στο μειωμένο φύτρωμα της καλλιέργειας. Το καλύτερο φύτρωμα σημειώθηκε στη συμβατική κατεργασία. Αιτίες που μπορεί να προκάλεσαν το φτωχό φύτρωμα για τις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας και ιδίως για την ακαλλιέργεια, είναι η μη επαφή του σπόρου με το έδαφος εξαιτίας της παρουσίας φυτικών υπολειμμάτων τα οποία συγκρατούσαν τον σπόρο μην επιτρέποντας τον να πέσει στο έδαφος, η μη αποτελεσματική κάλυψη του σπόρου εξαιτίας της παρουσίας μεγαλύτερων βώλων εδάφους (διαπιστώθηκε μακροσκοπικά για τις μεθόδους ΠΚ και Δ) και ίσως η παραγωγή τοξινών από τα διασπώμενα φυτικά υπολείμματα πλησίον του σπόρου. Σε μια αντίστοιχη έρευνα στην περιοχή του Βελεστίνου [4] είχε διαπιστωθεί ότι στη μειωμένη κατεργασία, η γραμμική σπορά του σιταριού έδινε καλύτερα αποτελέσματα από την επιφανειακή διανομή του σπόρου γεγονός που αποδόθηκε στην καλύτερη επαφή του σπόρου με το έδαφος για την πρώτη περίπτωση.

Τα αποτελέσματα από τα πειράματα των προηγούμενων ετών έδειξαν ότι ένας άλλος σημαντικός παράγοντες που οδηγεί στη μείωση των αποδόσεων των εαρινών καλλιεργειών στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας είναι ο ανταγωνισμός από τα ζιζάνια [1,2,6]. Στην παρούσα μελέτη όμως φαίνεται ότι με την εισαγωγή μιας χειμερινής καλλιέργειας σιταριού προέκυψε μια σημαντική άμβλυνση του προβλήματος με τα ζιζάνια κατά την περίοδο της ανάπτυξης του σιταριού για όλες τις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας πλην της ακαλλιέργειας. Αν και στις μεθόδους (ΠΚ) και (Δ) τα ζιζάνια ήταν πολύ περισσότερα από αυτά που μετρήθηκαν στην συμβατική κατεργασία, εντούτοις η ανάπτυξή τους σε σχέση με την ανάπτυξη του σιταριού ήταν περιορισμένη γι αυτό και δεν δημιουργούσαν σημαντικό πρόβλημα ανταγωνισμού με την καλλιέργεια. Απεναντίας, στις εαρινές καλλιέργειες των προηγούμενων ετών, η ανάπτυξη των ζιζανίων σε σχέση με την ανάπτυξη της καλλιέργειας ήταν ιδιαίτερα αυξημένη [1,2,6]. Στην μέθοδο της ακαλλιέργειας, τα ζιζάνια ήταν ιδιαίτερα αυξημένα. Το γεγονός όμως αυτό είχε άμεση σχέση με την απουσία της καλλιέργειας λόγω μη φυτρώματος του σπόρου. Να σημειωθεί ωστόσο ότι κατά την περίοδο της σποράς δεν ήταν απαραίτητη η εφαρμογή *glyphosate*, όπως γινόταν στις εαρινές καλλιέργειες κατά τα προηγούμενα έτη [1,2,6], καθότι την περίοδο αυτή δεν υπήρχαν καθόλου ζιζάνια στο χωράφι. Το γεγονός αυτό οφείλονταν στην επικράτηση των εαρινών ζιζανίων έπειτα από τριετή αμειψισπορά εαρινών καλλιεργειών.

Αντίθετα με ότι συμβαίνει στις αρδευόμενες εαρινές καλλιέργειες [6], για το σιτάρι οι εισροές ενέργειας που προέρχονται από την κατεργασία του εδάφους αποτελούν σημαντικό μερίδιο (~15%) των συνολικών ενεργειακών εισροών. Η πλέον επωφελής μέθοδος κατεργασίας ήταν η (ΒΚ). Σε σχέση με την συμβατική

κατεργασία σημειώθηκε εξοικονόμηση των εισροών ενέργειας της τάξης του 6,1% ενώ η μείωση της απόδοσης ήταν μόλις 2,8%. Συνεπώς για την μέθοδο (ΒΚ) υπολογίστηκε ο υψηλότερος συντελεστής ενεργειακής αποδοτικότητας (3,13) και η υψηλότερη ενεργειακή παραγωγικότητα (0,182 g/MJ). Στην συμβατική κατεργασία οι αντίστοιχες τιμές ήταν 3,03 και 0,176 g/MJ. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τα στοιχεία παλαιότερης έρευνας στην Ελλάδα [11] στην οποία εκτιμάται ότι ο συντελεστής ενεργειακής αποδοτικότητας σε μια μη αρδευόμενη καλλιέργεια σιταριού κυμαίνεται μεταξύ 2,35 – 2,90. Για τις μεθόδους (ΠΚ) και (Δ) η μείωση της απόδοσης οδήγησε σε μια σημαντική μείωση των ενεργειακών εκροών οι οποίες δεν ήταν δυνατό να αντισταθμιστούν από την εξοικονόμηση ενέργειας. Φάνηκε ότι η εισαγωγή βαρέως καλλιεργητή αντί για άροτρο δίνει μια πρώτη εναλλακτική λύση στην υποκατάσταση του οργώματος σε καλλιέργεια χειμερινού σιταριού όταν αυτό σπέρνεται μετά από εαρινές αρδευόμενες καλλιέργειες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cavalaris C. and Gemtos T.A. (1998). Soil tillage and rotation effect in sugar beet crop. Proc of Int. Conf. on Agricultural Engin.. Oslo 1998.
2. Cavalaris C. and Gemtos T.A. (1998). Soil tillage effect in cotton crop. Proc. of the 2nd International Conference on Cotton Crop. Athens 1998.
3. Fluck R.C. (1992). Energy of agricultural products. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in world agriculture, 6. Elsevier, p 39-43
4. Gemtos, T.A., Galanopoulou, St., and Kavalaris, C. (1998). Wheat establish after cotton with minimal tillage. Europ. Journ. of Agronomy. 8, pp 137-47.
5. Helsel, R.Z. (1992). Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, pp.177-201.
6. Καβαλάρης Χ., Γέμτος Θ.Α. (1999). Χρήση μεθόδων μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους στην καλλιέργεια του καλαμποκιού. Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Αθήνα 1999.
7. Καβαλάρης, Χ., Γέμτος, Θ.Α., Παπαθανασίου, Ι., Καραμούτης, Χ. & Γούλας, Χ. (2000). Ενεργειακά ισοζύγια ζαχαροτεύλων με 4 μεθόδους μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. Πρακτικά 2ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής.
8. Καβαλάρης, Χ. και Γέμτος, Θ.Α. (2003). Υπολογισμός συνολικών εισροών και εκροών ενέργειας στα ζαχαροτευτλα για πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους. Υπό εκτύπωση 3^{ο} Εθν συν. Γεωργ. Μηχανικής, Θεσ/νίκη 2003
9. Leach, G. (1976). Energy and food production. IPC Business Press Limited.
10. Papathanasiou, I., Cavalaris, C., Karamoutis, C. and Gemtos (2002). Design, construction and testing of an instrumented tractor to measure forces on agricultural implements and energy consumption during field work. Proc. 1st Conf of Hellenic Assoc. of ICT in Agr, Food and Environment p 144-53.
11. Tsatsarelis, C.A. (1993). Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. Agr., Ecosystems and Enviroments, 43. pp 109-118.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΚΑΙ ΕΚΡΟΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ ΓΙΑ 5 ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους στα ζαχαρότευτλα έγινε σύνταξη ισοζυγίων εισροών – εκροών ενέργειας. 1) συμβατική κατεργασία με άροτρο (Σ), 2) μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (ΒΚ), 3) μειωμένη με περιστροφικό καλλιεργητή (ΠΚ), 4) μειωμένη με δισκοσβάρνα (Δ) και 5) ακαλλιέργεια (Α). Η εξοικονόμηση ενέργειας με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας ήταν μικρή (1,5-3,6%). Παράλληλα υπήρχε μείωση της απόδοσης. Η ενεργειακή παραγωγικότητα στην μέθοδο (Σ) ήταν 0,95 kg/MJ, στην μέθοδο (ΒΚ) 0,91 kg/MJ, στις μεθόδους (ΠΚ) και (Δ) 0,73-0,74 kg/MJ και στην μέθοδο (Α) 0,65 kg/MJ.

Λέξεις κλειδιά: Ζαχαρότευτλα, κατεργασία, εξοικονόμηση ενέργειας.

ENERGY INPUTS AND OUTPUTS IN THE SUGAR BEET CROP FOR 5 METHODS OF SOIL TILLAGE

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

ABSTRACT

For five methods of tillage, energy inputs and outputs were estimated for the sugar beet crop. 1) Conventional tillage with moldboard plough (CT), 2) reduced tillage with heavy cultivator (HC), 3) reduced tillage with rotary cultivator (RC), 4) reduced tillage with disk harrow (DH) and 5) no-tillage (NT). Energy conservation with reduced tillage was limited (1,5-3,6%). Additionally there was a significant yield reduction. Energy productivity for the (CT) method was 0,95 kg/MJ, for the (HC) 0,91 kg/MJ, for the (RC) and (DH) methods 0,73-0,74 kg/MJ and for the (NT) 0,65 kg/MJ.

Key words: Sugar beet, tillage, energy conservation.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ζαχαρότευτλα αποτελούν για την ελληνική γεωργία την 5η σε σημασία αροτριαία καλλιέργεια. Οι αγρότες ωστόσο, ιδίως τα τελευταία έτη, αντιμετωπίζουν μια συρρίκνωση του εισοδήματος τους καθώς υπάρχει μια αύξηση των τιμών των αγροτικών εφοδίων τη στιγμή που η διεύρυνση της γεωργικής αγοράς στα πλαίσια της GATT και της CAP αποτρέπει την αύξηση των τιμών των αγροτικών προϊόντων. Η λύση για ένα βιώσιμο και ανταγωνιστικό μέλλον φαίνεται ότι μπορεί να προέλθει μόνο μέσα από την δραστική μείωση του κόστους παραγωγής και την αύξηση της παραγωγικότητας

Οι καλλιεργητικές επεμβάσεις που πραγματοποιούνται για την κατεργασία του εδάφους θεωρείται ότι αποτελούν έναν εξαιρετικά ενεργοβόρο τομέα της γεωργικής παραγωγής [1]. Με την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας μπορεί να προκύψει μείωση των ενεργειακών εισροών και κατά συνέπεια των εξόδων παραγωγής [6,11]. Επιπλέον, οι μέθοδοι αυτές προωθούν την αειφορική διαχείριση του εδάφους η οποία συνιστάται και από τους κώδικες ορθής γεωργικής πρακτικής. Λίγα πράγματα ωστόσο είναι γνωστά σχετικά με την προσαρμογή των τεύτλων σε συστήματα μειωμένης κατεργασίας ιδίως κάτω από τις ελληνικές συνθήκες παραγωγής. Έρευνες σε βορειότερες χώρες έχουν δείξει μια θετική ανταπόκριση με την απόδοση στην μειωμένη κατεργασία να είναι παρόμοια με την κατεργασία που περιλαμβάνει όργωμα [7,9].

Με προοπτική την διερεύνηση των δυνατοτήτων για εξοικονόμηση ενέργειας, στην παρούσα εργασία αξιολογούνται τέσσερα συστήματα μειωμένης κατεργασίας του εδάφους σε σύγκριση με μια μέθοδο συμβατικής κατεργασίας, ως προς την ενεργειακή τους παραγωγικότητα. Για τον λόγο αυτό γίνεται για κάθε μέθοδο χωριστά, κατάρτιση ισοζυγίων εισροών – εκροών λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των εισροών ενέργειας στην γεωργική παραγωγή.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διενεργήθηκε την τριετία 1997-99 στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Αξιολογήθηκαν πέντε μέθοδοι κατεργασίας: 1) Συμβατική κατεργασία (Σ) με όργωμα σε βάθος 25-30 cm, 2) μειωμένη κατεργασία (ΒΚ) με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20-25 cm ή υπεδαφοκαλλιεργητή σε βάθος 25-30 cm, 3) μειωμένη με περιστροφικό καλλιεργητή (ΠΚ) σε βάθος 10-12 cm, 4) μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ) σε βάθος 6-8 cm (Δ), 5) ακαλλιέργεια (Α), απ' ευθείας σπορά δηλαδή και καταστροφή της βλάστησης με *glyphosate* πριν το φύτρωμα της καλλιέργειας. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι καλλιεργητικές επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν κάθε χρονιά σε κάθε μέθοδο κατεργασίας.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν υπο-διαιρεμένες ομάδες (*strip blocks*) με 4 επαναλήψεις σε 2 αγρούς. Στα κύρια τεμάχια υπήρχαν 4 συστήματα αμειψισποράς (σε ένα ή δύο από τα οποία κάθε έτος υπήρχε η καλλιέργεια των τεύτλων). Στα υπο-τεμάχια διαστάσεων 6×10m τοποθετήθηκαν οι μέθοδοι κατεργασίας. Σπάρθηκαν δύο ποικιλίες τεύτλων η *RIHZOR* και η *TURBO*.

Πίνακας 1. Καλλιεργητικές επεμβάσεις κατεργασίας.

	1997					1998					1999				
	Σ	ΒΚ	ΠΚ	Δ	Α	Σ	ΒΚ	ΠΚ	Δ	Α	Σ	ΒΚ	ΠΚ	Δ	Α
Πρωτογενής κατεργασία															
Όργωμα	+					+					+				
Βαρύς καλλιεργητής		+					+								
Υπεδαφοκαλλιεργητής												+			
Περιστροφικός καλλιεργ.			+					+					+		
Δισκοσβάρνα				++					+					++	
Δευτερογενής κατεργασία															
Δισκοσβάρνα	++	++	++	++		++	+	+	+						
Καλλιεργητής προετοιμ											++	++	+	+	

Σε όλες τις καλλιεργητικές εργασίες χρησιμοποιήθηκε ένας γεωργικός ελκυστήρας 82 kW με κίνηση και στους τέσσερις τροχούς. Το γεγονός αυτό είχε ως συνέπεια την υπερεκτίμηση των ενεργειακών αναγκών για τις λιγότερο απαιτητικές εργασίες (σπορά, λίπανση, ψεκασμοί). Τα έτη 1998 και 1999, κατά την διάρκεια των επεμβάσεων κατεργασίας του εδάφους, μετρήθηκε η αναπτυσσόμενη δύναμη στην έλξη με τα διάφορα μηχανήματα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα δυναμομέτρησης το οποίο παρεμβλήθηκε μεταξύ γ.ε. και παρελκόμενων μηχανημάτων [10]. Επίσης για τα ισχυοδοτούμενα από το δυναμοδότη μηχανήματα μετρήθηκε η αναπτυσσόμενη ροπή καθώς και η γωνιακή ταχύτητα στον δυναμοδότη. Για το σκοπό αυτό παρεμβλήθηκε στον άξονα μετάδοσης της κίνησης ένα όργανο μέτρησης της ροπής και της συχνότητας περιστροφής [10]. Τέλος, με την χρήση ενός ραντάρ που προσαρμόστηκε στον γ.ε., μετρήθηκε η γραμμική ταχύτητα κατά την εργασία στο χωράφι. Όλα τα δεδομένα καταγράφονταν σε ένα φορητό Η/Υ που τοποθετήθηκε επάνω στον γ.ε. Από τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκε η απορροφόμενη ισχύ στην έλξη και στον δυναμοδότη και με βάση την απόδοση της εργασίας, η πραγματικά απορροφόμενη ενέργεια. Στην συνέχεια υπολογίστηκε η συνολική κατανάλωση ενέργειας μεταβλητών στοιχείων (καυσίμου και λιπαντικών) καθώς και η απόσβεση της ενέργειας που είναι ενσωματωμένη στα σταθερά στοιχεία των μηχανημάτων. Η διαδικασία υπολογισμού με στοιχεία από το 1998 περιγράφηκε σε προηγούμενη εργασία [13] Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται στοιχεία μετρήσεων από μια επιπλέον χρονιά (1999) και υπολογίζονται οι μέσοι όροι των δυο ετών. Επιπλέον υπολογίζονται οι εισροές ενέργειας για τις υπόλοιπες καλλιεργητικές εργασίες στον αγρό. Για τα λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα και τους σπόρους εκτιμήθηκε η ενέργεια για την παραγωγή, την μορφοποίηση, την συσκευασία και την διανομή [5]. Για την άρδευση υπολογίστηκε η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων από τη σχέση [12]:

$$DE_{στρ} = \frac{EU}{EF_p \times EF_l} \times \frac{RQ_{στρ}}{EF_c} \times TDH$$

όπου $DE_{στρ}$ η ενέργεια μεταβλητών στοιχείων για την άρδευση ενός στρέμματος, EU η ενέργεια που απαιτείται για την ανύψωση (άντληση), 1000 m^3 νερού από βάθος 1 m, EF_p = ο συντελεστής απόδοσης της μονάδας ισχυοδότησης της αντλίας. Στην περίπτωση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε μια ηλεκτροαντλία ισχύος 15 hp. Ο μέσος συντελεστής απόδοσης αυτών των ηλεκτροκινητήρων είναι 0,825 [12]. Ο συντελεστής μετατροπής της ορυκτής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι 0,25 [1] και ο συντελεστής απόδοσης του δικτύου διανομής είναι 0,85 [12]. Ο συντελεστής (EF_p) επομένως είναι ίσος με 0,25 × 0,85 × 0,85 = 0,18. EF_l είναι ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας (για την συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίστηκε ίσος με 0,76 [12]. $RQ_{στρ}$ = η ετήσια δόση άρδευσης (για το έτος 1997 ήταν 560 $m^3/στρ$ ενώ για τα έτη 1998 και 1999 520 $m^3/στρ$). EFc ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος διανομής και μεταφοράς του νερού που για την περίπτωση σταλακτηφόρων αγωγών ήταν ίσος με 0,91 [12]. TDH το συνολικό μανομετρικό ύψος του νερού που ήταν ίσο με 105,8 m. Για το σύστημα άρδευσης επιπλέον υπολογίστηκε η απόσβεση της ενέργειας των σταθερών στοιχείων [1] (αντλία, αγωγοί κ.λ.π)

Να σημειωθεί ότι στις ενεργειακές εισροές δεν συμπεριλήφθηκε η ενέργεια της ανθρώπινης εργασίας καθότι υπάρχει σημαντική διάσταση απόψεων σχετικά με το θέμα αυτό [4].

Η απόδοση των ζαχαροτεύτλων εκτιμήθηκε με την συγκομιδή δειγμάτων από 7,5 m^2 για κάθε ποικιλία σε κάθε μεταχείριση. Τα τεύτλα συγκομίστηκαν με το χέρι, αποκορυφώθηκαν και αναλύθηκαν ως προς την περιεκτικότητα σε ζάχαρη. Μεταξύ των δυο ποικιλιών δεν διαπιστώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ούτε αλληλεπιδράσεις με τις κατεργασίες, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των ποικιλιών. Διαιρώντας την απόδοση με τις συνολικές εισροές ενέργειας υπολογίστηκε για κάθε μέθοδο η ενεργειακή παραγωγικότητα (σε kg/MJ). Επίσης υπολογίστηκαν οι εκροές ενέργειας από το σύστημα της παραγωγής. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε η ενέργεια που εμπεριέχεται στα εμπορικά εκμεταλλεύσιμα παράγωγα των ζαχαρότευτλων που είναι η κρυσταλλική ζάχαρη, ο πολτός και η μελάσα. Η κρυσταλλική ζάχαρη αποτελεί περίπου το 85% της ακατέργαστης ζάχαρης, η μελάσα ανέρχεται περίπου στο 25-35% της παραγόμενης ζάχαρης και ο πολτός ισοδυναμεί με το 5-6% της νωπής παραγωγής [14]. Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη της ζάχαρης ανέρχεται στα 16,51 MJ/kg [8], του πολτού στα 12,1 MJ/kg [3] και της μελάσας στα 12,65 MJ/kg [3].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας κατά τις διάφορες καλλιεργητικές επεμβάσεις. Όπως διαπιστώνεται, με εξαίρεση τον περιστροφικό καλλιεργητή, η συνολική κατανάλωση ενέργειας είναι 10-20 φορές περισσότερη από την ενέργεια που απορροφάται από τα μηχανήματα. Αυτό οφείλεται στον χαμηλό συντελεστή μετατροπής της ενέργειας του καυσίμου σε ωφέλιμο μηχανικό έργο (20-27% ανάλογα με το ποσοστό φόρτισης του ελκυστήρα) καθώς στον χαμηλό συντελεστή αξιοποίησης της ισχύος στην έλξη (περίπου 70% της ισχύος στον δυναμοδότη για βαριά έλξη και 40% για ελαφρά). Σε σχέση με το όργωμα, οι ενεργειακές απαιτήσεις με τον βαρύ καλλιεργητή κυμαίνονταν περίπου στο ήμισυ. Το βάθος κατεργασίας όμως ήταν 5 cm μικρότερο. Με τον υπεδαφοκαλλιεργητή όπου η κατεργασία έγινε στο βάθος οργώματος η εξοικονόμηση ενέργειας ήταν περίπου 23%. Με τον περιστροφικό καλλιεργητή η πραγματικά απορροφόμενη ενέργεια ήταν μόλις 10% μικρότερη από το όργωμα. Ως προς την συνολική κατανάλωση ενέργειας ωστόσο, η εξοικονόμηση ήταν της τάξης του 50%. Αυτό οφείλεται στον σημαντικά υψηλότερο συντελεστή απόδοσης της ισχύος μέσω του δυναμοδότη. Για την δισκοσβάρνα και τον καλλιεργητή προετοιμασίας η κατανάλωση ενέργειας ήταν 90% μικρότερη από το όργωμα. Εκτός από την μικρότερη ελκτική δύναμη, τα μηχανήματα αυτά είχαν υψηλό βαθμό απόδοσης της εργασίας στον αγρό. Στα ίδια επίπεδα (45-65 MJ/στρ) κυμαίνονταν και η κατανάλωση ενέργειας με τα υπόλοιπα μηχανήματα. Από το σύνολο των γεωργικών μηχανημάτων, την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας είχε ο τευτλοεξαγωγέας.

Πίνακας 2. Εισροές ενέργειας με τα γεωργικά μηχανήματα

	Απορροφόμενη ενέργεια			Ενέργεια μεταβλητών στοιχείων	Απόσβεση ενέργειας σταθερών στοιχείων	Σύνολο
	στην έλξη	στο ΡΤΟ	Σύνολο			
Μηχανήματα κατεργασίας						
Άροτρο	23,2		23,2	240,9	28,30	269,19
Βαρύς καλλιεργητής	13,5		13,5	120,2	9,01	129,19
Υπεδαφοκαλλιεργητής	18,2		18,2	184,8	22,93	207,75
Περιστροφ καλλιεργ	2,3	18,8	21,0	126,9	14,34	141,24
Δισκοσβάρνα	2,5		2,5	39,6	5,84	45,49
Καλλιεργητής προετοιμ.	2,4		2,4	41,9	6,31	48,18
Λοιπά μηχανήματα						
Σπαρτική πνευματική	2,4	0,3	2,7	44,7	7,10	51,76
Ψεκαστικό	2,0	0,1	2,1	40,2	6,61	46,85
Λιπασματοδιανομέας	4,1	0,2	4,3	58,8	5,30	64,06
*Τευτλοεξαγωγέας**				236,1	210,16	446,27

** Για τον τευτλοεξαγωγέα δεν ήταν δυνατή η μέτρηση της πραγματικά απορροφόμενης ενέργειας. Η ενέργεια των μεταβλητών στοιχείων υπολογίστηκε από στοιχεία της κατανάλωσης καυσίμου του Leach, (1975)*

Πίνακας 3. Εισροές ενέργειας με τα γεωργικά εφόδια.

	Χρησιμοποιηθείσα ποσότητα			Ενεργειακή περιεκτικότητα (MJ/kg)	Χρησιμοποιηθείσα ενέργεια (MJ/στρ) (μ.ο. 1997, 98, 99)
	97	98	99		
Λιπάσματα (kg/στρ)					
N	8,5	14	14	76,6	932
P	14	7	7	16	149
K	30	2	7	12,8	166
Παρασιτοκτόνα (kg δ.ο. / στρ)					
Desmedipham	0,02	0,02	0,03	307,8	2,2
Phenmedipham	0,02	0,02	0,03	307,8	2,2
Ethofusanate	0,02	0,02	0,03	307,8	2,2
Metamitron	0,21	0,21	0,32	317,8	26,0
Parafinic Oil	0,30	0,30	0,45	25,5	3,0
Haloxyphop	0,01	0,01	0,02	307,8	3,5
Glyphosate	0,34	0,34	0,34	522	175,4
Maneb	1,20	0,80	1,00	254,1	207,3
Methidathion	0,2		0,2	204,3	50,8
Σπόρος (kg/στρ)	0,6	0,6	0,6	54,24	32,5

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται για κάθε έτος οι εισροές ενέργειας *με τα* γεωργικά εφόδια. Οι εισροές αυτές, εκτός από το *glyphosate* που εφαρμόστηκε μόνο στην ακαλλιέργεια, ήταν κοινές και για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας. Όπως φαίνεται, το 79% των εισροών με τα γεωργικά εφόδια προέρχονταν από τα λιπάσματα και κυρίως τα αζωτούχα για τα οποία η ενέργεια παραγωγής είναι ιδιαίτερα υψηλή [5].

Πίνακας 4. Ισοζύγιο εισροών – εκροών ενέργειας.

	Σ	ΒΚ	ΠΚ	Δ	Α
Εισροές ενέργειας (MJ/στρ)					
1 κατεργασία	371	238	187	142	0
2 ζιζανιοκτονία	53	53	53	53	232
3 παρασιτοκτόνα	260	260	260	260	260
4 σπορά	48	48	48	48	48
5 λίπανση	1.252	1.252	1.252	1.252	1.252
6 άρδευση	4.448	4.448	4.448	4.448	4.448
7 συγκομιδή	446	446	446	446	446
σύνολο	6.878	6.746	6.694	6.650	6.686
Απόδοση (kg/στρ)	6.518	6.143	4.894	4.918	4.348
Σακχαρικός τίτλος	13,5	13,7	13,6	13,6	13,8
Εκροές ενέργειας (MJ/στρ)	19.550	18.637	14.817	14.920	13.291
Ενεργειακή παραγ/τητα (kg/MJ)	0,95	0,91	0,73	0,74	0,65

Στον πίνακα 4 συνοψίζονται οι εισροές ενέργειας με βάση τους μέσους όρους των 3 ετών. Οι εισροές έχουν κατηγοριοποιηθεί σε καλλιεργητικές εργασίες. (π.χ. στην λίπανση περιλαμβάνονται τόσο η ενέργεια των λιπασμάτων όσο και η ενέργεια των μηχανημάτων για την εφαρμογή τους). Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, η κατεργασία του εδάφους καταλαμβάνει μικρό μερίδιο στο σύνολο των ενεργειακών εισροών (5,4% για την συμβατική κατεργασία). Αυτό συνεπάγεται ότι τα περιθώρια μείωσης είναι περιορισμένα. Με την μέθοδο (ΒΚ) προέκυπτε μια εξοικονόμηση εισροών της τάξης του 1,9%, με τις μεθόδους (ΠΚ) και (Α) της τάξης του 2,7-2,8% και με την μέθοδο (Δ) της τάξης του 3,3%. Παράλληλα όμως με την μείωση των εισροών διαπιστώθηκε μια πολύ πιο σημαντική μείωση της απόδοσης η οποία οδήγησε σε μια ανάλογη μείωση των εκροών ενέργειας. Σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, στην μέθοδο (ΒΚ) υπήρχε μια μείωση της απόδοσης της τάξης του 5,8%, στις μεθόδους (ΠΚ) και (Δ) της τάξης 24,5-25% και στην μέθοδο (Α) της τάξης του 33,3%. Κατά συνέπεια υπήρχε μείωση του συντελεστή ενεργειακής παραγωγικότητας για όλες τις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας. Σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, στην μέθοδο (ΒΚ) υπήρχε μείωση ίση με 0,04 kg/MJ, στις μεθόδους (ΠΚ) και (Δ) μείωση ίση με 0,21-0,22 kg/MJ και στην μέθοδο (Α) μείωση ίση με 0,30 kg/MJ.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όταν εξετάζεται αποκλειστικά η ενέργεια που καταναλώνεται για την κατεργασία του εδάφους διαπιστώνεται ότι με την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας είναι δυνατόν να προκύψει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό μπορεί να έχει ιδιαίτερη σημασία αν ληφθεί υπόψη ότι για την κατεργασία του εδάφους χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά πετρέλαιο το οποίο αποτελεί μια υπό εξάντληση πηγή ενέργειας. Όταν όμως εξετάζεται το σύνολο των ενεργειακών εισροών στην γεωργική παραγωγή, διαπιστώνεται ότι τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας είναι περιορισμένα. Αυτό συμβαίνει διότι η κατεργασία του εδάφους σε εντατικές καλλιέργειες όπως τα ζαχαρότευτλα όπου υπάρχουν σημαντικές εισροές ενέργειας μέσω της άρδευσης και της λίπανσης αποτελεί μικρό ποσοστό (περίπου 5%) των συνολικών εισροών. Τα περιθώρια αυτά ωστόσο επηρεάζονται σημαντικά και από τον τρόπο άρδευσης. Η προμήθεια νερού όχι με άντληση αλλά από αρδευτικά κανάλια προσφέρει σημαντική ελάφρυνση του ενεργειακού ισοζυγίου επιτρέποντας μεγαλύτερη βαρύτητα στην κατεργασία του εδάφους.

Παρά την εξοικονόμηση ενέργειας, με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας προέκυψε μια πολύ πιο σημαντική ελάττωση των εκροών ενέργειας εξαιτίας την μείωσης της απόδοσης της καλλιέργειας. Η μείωση της απόδοσης οφείλονταν σε αυξημένο ανταγωνισμό από ζιζάνια, αύξηση της συμπίεσης του εδάφους με αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των ριζών και σε ορισμένες περιπτώσεις σε μειωμένο φύτρωμα [2]. Ως αποτέλεσμα, υπήρχε ελάττωση του συντελεστή ενεργειακής παραγωγικότητας. Για την μέθοδο (ΒΚ) ωστόσο, η

ελάττωση ήταν μικρή (3,9% σε σχέση με την συμβατική κατεργασία). Αν συνεκτιμηθεί ότι με την μέθοδο (ΒΚ) προκύπτουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη (προστασία από την διάβρωση, βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους κ.α.) τότε η μέθοδος αυτή φαίνεται να αποτελεί την πλέον βιώσιμη εναλλακτική πρόταση για την υποκατάσταση του οργώματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bowers W. (1992). Agricultural field equipment. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsev. p 117-29.
2. Cavalaris C. and Gemtos T.A. (1998). Soil tillage and rotation effect in sugar beet crop. Intern. Conference on Agricultural Engineering. Oslo 1998.
3. Chancellor, W.J., Avlani, P.K., Cervinka V. and Alexander, J.T. (1980). Energy requirements for sugar beet production and processing. In: D. Pimentel (Editor), Handbook of Energy Utilization in Agriculture, Boca Raton, Fl: CRC Press. pp. 137-153.
4. Fluck, C.R. (1992). Energy of human labor. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, pp.31-52.
5. Helsel, R.Z. (1992). Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, pp.177-201.
6. 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, Vol 35, 4, p 183-198
7. Koch, H.J. and Marlander, B. (1994). Wetchen Beitrag Kann die Bodenbearbeitung zum integrierten Anbau von Zuckerruben leisten? Proc of the 57th Winter Congr of the Intern Inst. of Sugar Beet Research. pp.1-22.
8. Leach, G. (1976). Energy and food production. IPC Business Press Limited.
9. Miller, S.D. and Dexter, A.G. (1983). No-tillage sugarbeet production. Sugarbeet Research and Extension Reports. Vol 21 pp 124-25.
10. Papathanasiou, I., Cavalaris, C., Karamoutis, C. and Gemtos (2002). Design, construction and testing of an instrumented tractor to measure forces on agricultural implements and energy consumption during field work. Proc. 1st Conf of Hellenic Assoc. of ICT in Agr, Food and Environment p 144-53.
11. 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, Volume 49, Issue 3, 2 Pages 223-231
12. Sloggett, G. (1992). Estimating energy use in world irrigation. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, pp.203-217.
13. Καβαλάρης, Χ., Γέμτος, Θ.Α., Παπαθανασίου, Ι., Καραμούτης, Χ. & Γούλας, Χ. (2000). Ενεργειακά ισοζύγια ζαχαροτεύλων με 4 μεθόδους μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. 2ο Εθν Συνέδρ Γεωργικής Μηχανικής.
14. Σφήκας, Α.Γ. (1988). Ειδική γεωργία ΙΙ. Βιομηχανικά φυτά.

ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ (*BRASSICA SP.*) ΜΙΑ ΥΠΟΣΧΟΜΕΝΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ε. Νάματοβ, Α. Νικολάου, Μ. Μαρδίκης, και Κ. Πανούτσου
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενεργειας, 19° Λεωφ. Μαραθώνος, 19009 Πικέρμι, Ελλάδα.
Τηλ.: 2106603300, 2106603386. Φάξ: 2106603301, e-mail: namatov@cres.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ελαιοκράμβη (*Brassica* sp.) θεωρείται υποσχόμενη καλλιέργεια για την παραγωγή ελαίου στην Ευρώπη. Τελευταία, καλλιεργείται ευρέως στη Γαλλία, τη Γερμανία, την Αυστρία και την Ιταλία για την παραγωγή βιοντήζελ ως καυσίμου μεταφορών και θέρμανσης. Στην Ελλάδα έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία τέσσερα χρόνια ένας ικανός αριθμός πειραμάτων που δείχνουν ότι οι επιλεγμένες ποικιλίες παρουσιάζουν καλή προσαρμοστικότητα και ικανοποιητικές αποδόσεις. Στη συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα προσαρμοστικότητας, ανάπτυξης και παραγωγικότητας από πείραμα που διεξήχθηκε στην Κωπαΐδα το 1998–1999.

Λέξεις κλειδιά: Ελαικράμβη, *Brassica napus, Brassica carinata*, βιοντήζελ.

RAPESEED (*BRASSICA SP.*) A PROMISING CROP FOR BIODIESEL PRODUCTION IN GREECE

I. Namatov, A. Nikolaou, M. Mardikis and C. Panoutsou
Center for Renewable Energy Sources, 19th km Marathonos Ave., 19009 Pikermi, Greece.
Tel: +302106603300, +302106603386. Fax: +302106603301, e-mail: namatov@cres.gr

ABSTRACT

Rapeseed (*Brassica* sp.) is considered a promising crop for oil production in Europe Recently, it is widely cultivated in France, Germany, Austria and Italy as feedstock for the production of biodiesel, which can be used as transport and heating fuel. During the last four years, Brassica was studied in a number of experiments curried out in Greece where it was shown that, selected varieties present good adaptability and satisfactory yields. In this paper, we present the results from such a field experiment in Kopaida central Greece, in 1998-1999.

Key words: Rapeseed, *Brassica napus*, *Brassica carinata*, biodiesel

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ελαιοκράμβη *Brassica sp.* είναι ετήσιο ελαιοδοτικό φυτό με μέσο ύψος που κυμαίνεται από 50 έως 250 cm, πολλαπλασιάζεται με σπόρο και ευνοείται κυρίως στα μέτρια στραγγιζόμενα και αεριζόμενα εδάφη. Καλλιεργείται κυρίως για παραγωγή ελαίου. Παρουσιάζει χαμηλές απαιτήσεις σε λίπανση καθώς και σε νερό ανάλογα με τον τύπο καλλιέργειας [1, 2 και 3].
Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι ο σπόρος της ελαιοκράμβης μπορεί να αξιοποιηθεί για παραγωγή βιοντήζελ αλλά και βρώσιμου ελαίου, ενώ η πίτα που παράγεται μετά την εξαγωγή του λαδιού (εξαιρετικά πλούσια σε πρωτεΐνες) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή υψηλής ποιότητας ή ως λίπασμα.
Πρόσφατα, το εντεινόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοκαυσίμων την έφερε στο προσκήνιο σαν πρώτη ύλη για παραγωγή βιοντήζελ καθώς και για άλλες βιομηχανικές, μη-τροφικές χρήσεις.
Σε αυτή την εργασία θα παρουσιασθούν αποτελέσματα που αφορούν στην προσαρμοστικότητα και στην παραγωγικότητα δεκαπέντε ποικιλιών καθώς και στην περιεκτικότητα του παραγόμενου σπόρου σε λάδι. Τα αποτελέσματα προέρχονται από πείραμα που διεξήχθη στην κεντρική Ελλάδα (Κωπαΐδα) κατά το διάστημα 1998 - 1999.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δεκαπέντε ποικιλίες του γένους *Brassica sp.* (δεκατρείς ποικιλίες *Brassica carinata* και δύο ποικιλίες *Brassica napus,* Πίνακας 1) αξιολογήθηκαν στην Κωπαΐδα κατά την καλλιεργητική περίοδο 1998-1999.

Πίνακας 1: Ποικιλίες του γένους *Brassica sp* που εξετάστηκαν.

***Brassica carinata* Braun**					***Brassica napus* L.**
BRK 11	BRK 60	BRK 121	BRK 156.3	BRK 162	KARAT
BRK 13	BRK 94	BRK 131	BRK 159		LIBRAVO
BRK 34	BRK 95	BRK 132	BRK 160		

Στο πείραμα εφαρμόσθηκε το εντελώς τυχαιοποιημένο σχέδιο με τρεις επαναλήψεις και μέγεθος πειραματικού τεμαχίου 3 m x 5 m=15 m^2. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 11 Νοεμβρίου 1998 με πυκνότητα 13.000 φυτά/στρέμμα (200 σπόροι/m^2, περίπου 800 gr/στρέμμα). Η απόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 30 cm. Το βάθος σποράς ήταν 0,5–2 cm.
Πριν τη σπορά έγινε βασική λίπανση με προσθήκη των θρεπτικών στοιχείων N, P, και K σε δόσεις 3, 6 και 7 kg/στρέμμα, αντίστοιχα. Όταν τα φυτά είχαν

φτάσει σε ύψος 50 cm εφαρμόστηκε μια συμπληρωματική επιφανειακή λίπανση με 7 kg/στρέμμα λιπάσματος θειϊκής αμμωνίας [1]. Η καλλιέργεια ήταν ξηρική. Επειδή η ελαιοκράμβη είναι πολύ ευαίσθητη σε ζιζάνια, έγινε μια προσπαρτική ζιζανιοκτονία με Trifluralin (0,15 l/στρέμμα) και μια μεταφυτρωτική, καθώς και σκαλίσματα όποτε ήταν αναγκαίο. Στο στάδιο της άνθησης και στην τελική κοπή έγιναν οι ακόλουθες μετρήσεις:
1) Τελικό ύψος φυτού (cm), 2) Αριθμός φυτών/m^2, 3) Παραγωγικότητα σε χλωρή και ξηρή βιομάζα (tons/στρέμμα), και 4) Παραγωγικότητα σε σπόρο (kg/στρέμμα).
Η τελική κοπή πραγματοποιήθηκε στο τέλος της ωρίμανσης (τέλος Ιουνίου - αρχές Ιουλίου1999). Για τον προσδιορισμό των αποδόσεων των ποικιλιών σε ξηρή ουσία, δείγματα 500 gr, σε χλωρό βάρος τοποθετήθηκαν σε κλίβανο ξήρανσης στους 85°C έως τη σταθεροποίηση του βάρους τους.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Κλιματικά δεδομένα Κωπαΐδας

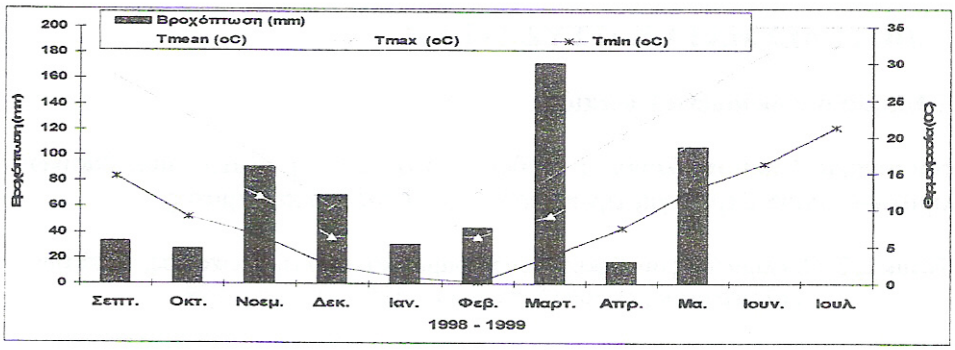
Στον πίνακα 2 που ακολουθεί παραθέτονται οι μέσες μηνιαίες τιμές βασικών κλιματικών παραμέτρων για την περίοδο εκτέλεσης του πειράματος.

Πίνακας 2: Οι κλιματικές συνθήκες στον πειραματικό αγρό της Κωπαΐδας, κατά την καλλιεργητική περίοδο Σεπτέμβριος 1998 – Ιούλιος 1999.

Μήνας	Tmean (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Βροχ. (mm)	Σχετική υγρασία (%)	Ηλιοφ. (ώρ/ημ)	Ημέρες με παγετό (ημ./μην.)
Σεπ.	21,4	28,2	14,6	33	63	8,3	0
Οκτ.	16,0	22,9	9,1	27	68	1,6	0
Νοε	11,9	17,3	6,5	91	75	3,9	0
Δεκ.	6,4	10,4	2,4	69	79	3,7	1
Ιαν.	6,6	12,3	0,9	31	77	6,2	0
Φεβ.	6,4	12,5	0,2	43	68	5,6	1
Μαρ.	9,2	14,6	3,8	172	71	7,8	0
Απρ.	14,0	20,4	7,6	17	57	8,1	0
Μαϊ.	19,3	25,7	12,9	11	51	9,5	0
Ιουν.	23,8	31,2	16,3	0	47	11,4	0
Ιουλ.	26,8	32,3	21,3	0	55	11,2	0

3.1.1 Θερμοκρασία

Στον πίνακα 2 καθώς και στο διάγραμμα 1, φαίνεται ότι η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στα πλαίσια του βέλτιστου εύρους ανάπτυξης της ελαιοκράμβης (20–25°C) [2, 3 και 4] τους μήνες Μάϊο, Ιούνιο και Ιούλιο, δηλαδή στη φάση της άνθησης, γεμίσματος των λοβών κι ωρίμανσης των φυτών. Όπως και στο σιτάρι, οι ποικιλίες των *Brassica carinata* και *Brassica napus* χρειάζονται μέτριες θερμοκρασίες (κάτω από 25°C) για τη βέλτιστη ανάπτυξη και την εξέλιξη τους κυρίως κατά την άνθηση και το γαλάκτωμα (γέμισμα των λοβών) [2, 3 και 4].
Χαμηλές μέσες θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν κατά την περίοδο Δεκεμβρίου 1998 - Φεβρουαρίου 1999, στην οποία η ανάπτυξη του φυτού είναι σχετικά αργή. Ωστόσο, οι θερμοκρασίες αυτές είναι πάνω από τη βασική θερμοκρασία για την ανάπτυξη της ελαιοκράμβης (5°C) [2, 3 και 4].



Διάγραμμα 1: Η μέση μηνιαία ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία (°C) καθώς και η μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm) στον πειραματικό αγρό της Κωπαΐδας, κατά την καλλιεργητική περίοδο Σεπτέμβριος 1998 – Ιούλιος 1999.

3.1.2 Βροχοπτώσεις

Στην αναφερόμενη καλλιεργητική περίοδο, το σύνολο των βροχοπτώσεων (588mm) ήταν αρκετό για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών και επίτευξη καλών αποδόσεων των *Brassica carinata* και *Brassica napus* [2 και 3]. Δεν παρατηρήθηκε βροχόπτωση κατά τον Ιούνιο και τον Ιούλιο κατά την ωρίμανση και τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

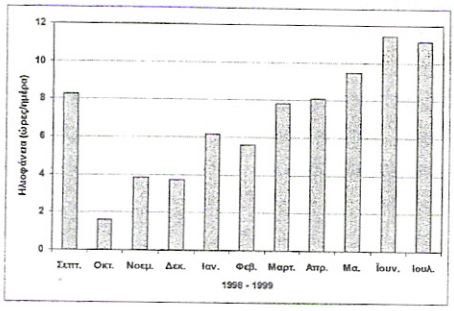
3.1.3 Σχετική υγρασία

Κατά τη διάρκεια της καλιεργητικής περιόδου, η σχετική υγρασία κυμάνθηκε από 47% (Ιούνιος 1999) έως 75% (Νοέμβριος 1998).

3.1.4 Ηλιοφάνεια

Η μέση ημερήσια ηλιοφάνεια κυμάνθηκε από 3,7 έως 11,4 ώρες. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στην πιο κρίσιμη φάση της ανάπτυξης και

εξέλιξης των φυτών, από το Μάϊο έως τον Ιούνιο και πιστεύεται ότι είχαν την πιο σημαντική συνεισφορά στην άνθηση και ωρίμανση του φυτού.



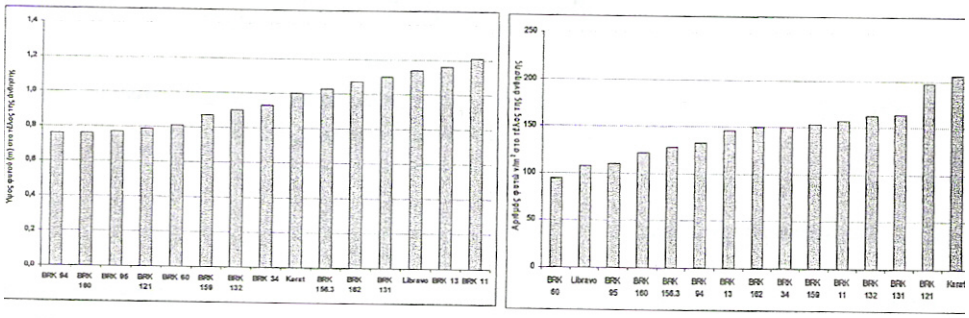
Διάγραμμα 2: Η μέση ηλιοφάνεια (ώρες/ημέρα) στον πειραματικό αγρό της Κωπαΐδας, κατά την καλλιεργητική περίοδο Σεπτέμβριος 1998 – Ιούλιος 1999.

3.1.5 Μέρες παγετού

Η κεντρική Ελλάδα χαρακτηρίζεται από ήπιο ημίξηρο κλίμα, με λίγες ημέρες παγετών το χειμώνα. Κατά την πειραματική περίοδο παρατηρήθηκαν μόνο δύο μέρες παγετών που όμως δε προκάλεσαν νεκρώσεις φυτών καθώς επίσης δεν είχαν επίδραση στην ανάπτυξη και στην απόδοση των φυτών.

3.2 Τελικό ύψος φυτού (τέλος άνθησης)

Το τελικό ύψος ήταν παρόμοιο σε όλες τις ποικιλίες και των δύο ειδών. Ειδικότερα, οι ποικιλίες μπορούν να ομαδοποιηθούν:
α) Σε εκείνες που είναι χαμηλότερες από 1 m και κυμαίνονται από 76 cm BRK 94 and BRK 160) έως 93 cm (BRK 34), και
β) Σε εκείνες που είναι πάνω από 1 m οι οποίες κυμαίνονται από 1 m (KARAT) ως 1,21 m (BRK 11).



Διάγραμμα 3: Τελικός ύψος (αριστερά) και αριθμός φυτών/m^2 (δεξιά), στο τέλος της άνθησης (14η Μαΐου 1999)

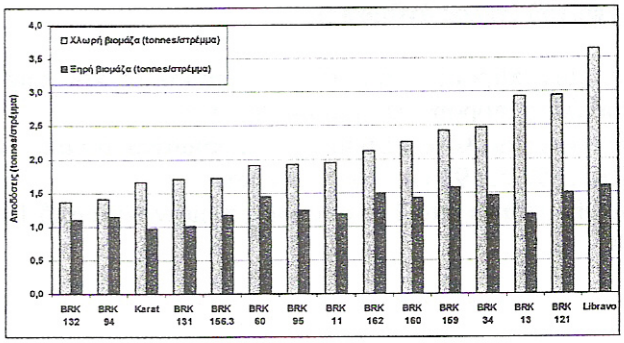
3.3 Αριθμός φυτών/m^2

Στο διάγραμμα 3 (δεξιά), παρουσιάζεται η πυκνότητα των φυτών για κάθε ποικιλία. Διακρίνουμε ότι η KARAT παρουσίασε το μεγαλύτερο αριθμό φυτών (206 φυτά/m^2) στο τέλος της άνθησης ακολουθούμενη από τη BRK 121 με 197 φυτά/m^2, ενώ ο αριθμός φυτών στις άλλες ποικιλίες κυμάνθηκε από 108 φυτά/m^2 (LIBRAVO) έως 164 φυτά/m^2 (BRK 131) με εξαίρεση τη BRK 60 με 94 φυτά/m^2 . Οι διαφορές μεταξύ των ποικιλιών ήταν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

3.4 Παραγωγικότητα

3.4.1 Παραγωγή βιομάζας

Στο διάγραμμα 4, παρουσιάζονται οι αποδόσεις σε χλωρή και ξηρή βιομάζα των εξεταζομένων ποικιλιών *Brassica sp.* Η LIBRAVO ήταν η πιο παραγωγική ποικιλία σε χλωρή και ξηρή βιομάζα (3,6 τόνους/στρέμμα και 1,6 τόνους/στρέμμα, αντίστοιχα). Οι αποδόσεις των άλλων ποικιλιών σε χλωρή βιομάζα κυμάνθηκαν από 1,4 τόνους/στρέμμα (BRK 132) έως 2,9 τόνους/στρέμμα (BRK 121). Οι τιμές σε ξηρή βιομάζα κυμάνθηκαν από 1τόνο/στρέμμα (KARAT) έως 1,6 τόνους/στρέμμα (BRK 159). Οι διαφορές μεταξύ των ποικιλιών ήταν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο 95%.



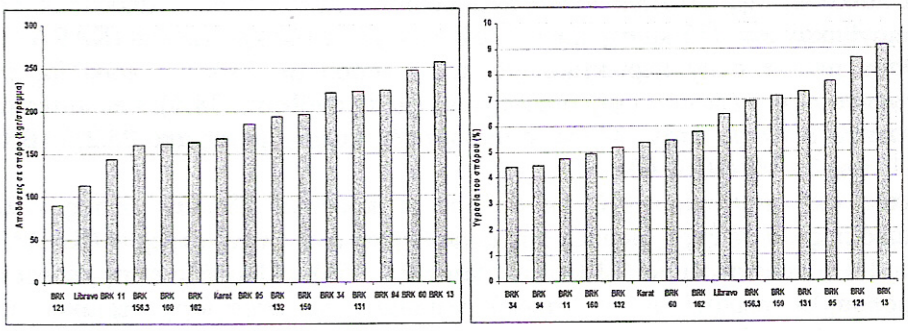
Διάγραμμα 4: Τελικές αποδόσεις σε χλωρή και ξηρή βιομάζα (τόνους) την εποχή συγκομιδής (Ιούνιος - Ιούλιος 1999).

3.4.2 Παραγωγή σπόρου

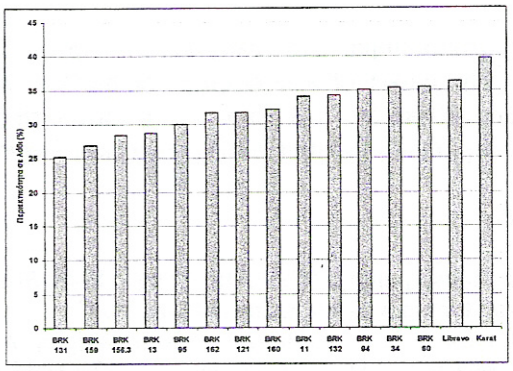
Στην τελική κοπή η οποία πραγματοποιήθηκε από το τέλος Ιουνίου έως τις αρχές Ιουλίου 1999, φαίνεται (διάγραμμα 5 αριστερά) ότι η BRK 13 και η BRK 60 ήταν οι πιο παραγωγικές ποικιλίες σε σπόρο (μέση απόδοση: 252 kg/στρέμμα), ακολουθούμενες από τις BRK 34, BRK 131, και BRK 94 (≈ 220 kg/στρέμμα). Οι υπόλοιπες ποικιλίες της *Brassica carinata* έδωσαν αποδόσεις

που κυμάνθηκαν από 90 kg/στρέμμα (BRK 121) έως 196 kg/στρέμμα (BRK 159). Όσον αφορά στις ποικιλίες της *Brassica napus* η KARAT έδωσε ικανοποιητικές αποδόσεις (168 kg/στρέμμα) ενώ η LIBRAVO δε ξεπέρασε τα 100 kg/στρέμμα.

Πρέπει να τονισθεί ότι κατά την τελική κοπή η μέση υγρασία του σπόρου όλων των εξεταζόμενων ποικιλιών ήταν κάτω από 8% με εξαίρεση αυτής των ποικιλιών BRK 13 (9.1%) και BRK 121 (8.6%). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όλες οι τιμές κυμάνθηκαν στο πλαίσιο των προτεινόμενων ορίων (κάτω από 12%) [2, 3 και 4].



Διάγραμμα 5: Παραγωγή σπόρου σε τόνους/στρέμμα (αριστερά) και υγρασία του σπόρου (%) (δεξιά) την εποχή συγκομιδής (Ιούνιος - Ιούλιος 1999).



Διάγραμμα 6: Περιεκτικότητα του παραγομένου σπόρου σε λάδι (%) την εποχή συγκομιδής (Ιούνιος - Ιούλιος 1999).

Όσον αφορά στην περιεκτικότητα του παραγομένου σπόρου σε λάδι οι ποικιλίες της *Brassica napus* έδωσαν τις υψηλότερες τιμές (36.3% η LIBRAVO και 39.7% η KARAT), ενώ της *Brassica carinata* κυμάνθηκαν από 25.2 % (BRK 131) έως 35.4% (BRK 60). Επίσης αρκετές διαφορές για τις τρεις παραπάνω παραμέτρους ήταν στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα του σχετικού πειράματος προκύπτει ότι η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης (*Brassica sp.*) για παραγωγή βιοντήζελ είναι εφικτή στον ελληνικό χώρο και παρουσιάζει καλή προσαρμοστικότητα και ικανοποιητικές αποδόσεις. Μεταξύ των δεκαπέντε εξεταζόμενων ποικιλιών η BRK 13 και η BRK 60 ήταν οι πιο παραγωγικές σε σπόρο (μέση απόδοση: 252 kg/στρέμμα), ακολουθούμενες από τις BRK 34, BRK 131 και BRK 94 (μέση απόδοση: 220 kgr/στρέμμα). Οι υπόλοιπες ποικιλίες της *Brassica carinata* έδωσαν αποδόσεις πάνω από 150 kg/στρέμμα με εξαίρεση την BRK 121 που έδωσε 90 kg/στρέμμα. Οι ποικιλίες της *Brassica napus* παρουσίασαν επίσης υψηλές αποδόσεις που κυμάνθηκαν από 113 kg/στρέμμα (LIBRAVO) έως 168 kg/στρέμμα (KARAT).
Όσον αφορά στην περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι, οι ποικιλίες της *Brassica napus* έδωσαν υψηλότερες τιμές (μέση απόδοση: 38%), ενώ αυτές της *Brassica carinata* ήταν λιγότερο αποδοτικές κυμαινόμενες από 25.2% (BRK 131) έως 35.4% (BRK 60).
Εκτός από την παραγωγή σε σπόρο, οι ποικιλίες έδωσαν επίσης καλές αποδόσεις και σε ξηρή βιομάζα που κυμάνθηκαν από 1 τόνο/στρέμμα (KARAT) έως 1,6 τόνους/στρέμμα (LIBRAVO και BRK 159). Η βιομάζα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω ως στερεό καύσιμο για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, ως συστατικό σε ζωοτροφές, στρωμνή ζώων, ως συστατικό σε οργανικά λιπάσματα, κ.ά.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου FAIR CT96-1946: "Brassica carinata: The outset of a new crop for biomass and industrial non-food" που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Γενική Διεύθυνση για τη Γεωργία) και τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ευρωπαϊκό Δίκτυο ελαιοκράμβης. 999 FAIR CT96 – 1946, *Brassica carinata*: "The outset of a new crop for biomass and industrial non-food".
2. Weiss, E.A. 1983. Oilseed Crop pp. 160-215 (eds. G. Wrigley, AICTA.).
3. Kimber, D. and McGregor, D. I.. (CAB INTERNATIONAL) Brassica Oilseeds Production and Utilization.
4. Canadian Council Organization. www.canola-council.org/manual/canolafr.htm.

ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΣΑ Η/Υ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

Αγ. Θ. Φιλίντας, Κ. Ι. Δούκας, Θ. Α. Γιαλαμάς, Β. Α. Στανιός
Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, Τ.Κ. 411 10, Λάρισα, Ελλάδα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα πολυμέσα (multimedia) στον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή, είτε σε αυτόνομο σύστημα είτε σε χρήση στον παγκόσμιο ιστό (WWW), συναντούν ολοένα κι αυξανόμενη αποδοχή και καταξίωση στην διεθνή εκπαιδευτική κοινότητα ως ένα πολυδύναμο περιβάλλον φιλόξενο για δραστηριότητες εκπαιδευτικής έρευνας και διερευνητικής μάθησης. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια έρευνας και συνδυασμού των παραπάνω τεχνολογιών μέσω της δημιουργίας ενός πρωτότυπου εκπαιδευτικού λογισμικού Η/Υ για την χρήση του στην ενισχυτική διδασκαλία των φοιτητών του τμήματος Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας του Τ.Ε.Ι. Λάρισας.

Λέξεις κλειδιά: Πολυμέσα Η/Υ, εργαλείο ενίσχυσης στη Γεωργική Μηχανική.

COMPUTER MULTIMEDIA AS A TOOL TO ENCHACE EDUCATIONAL PROCESS IN AGRICULTURAL ENGINEERING

Ag. Th. Filintas, K. I. Doukas, Th. A. Gialamas, B. A. Stanios
Department of Agricultural Engineering and Irrigation, School of Agriculture, Technological Educational Institute of Larissa, 41110, Larissa, Greece.

ABSTRACT

Computer Assisted Instruction and Learning multimedia as an independent system or in use in World Wide Web have appointed to the educational community as a multi-functional platform for educational research and exploratory learning purposes. In the present study an attempt is made to combine and research the above technologies in a prototype piece of educational PC software which aims to be used to echance higher education (university) courses in the Department of Agricultural Engineering and Irrigation of School of Agriculture in the Technological Educational Institute of Larissa, Greece.

Keywords: PC multimedia, enchace courses in Agricultural Engineering.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Θεωρίες μάθησης σε σχέση με τη γένεση και εισαγωγή της εκπαιδευτικής τεχνολογίας στο χώρο της εκπαίδευσης

Η εκπαιδευτική τεχνολογία (ΕΤ), ως σύγχρονη έννοια εμφανίστηκε στις Η.Π.Α. ως συνέχεια της ανάπτυξης των ιδεών σχετικά με την προγραμματισμένη διδασκαλία (ΠΔ) και βασίστηκε σε ορισμένες από τις σπουδαιότερες αρχές της πειραματικής ψυχολογίας. Καθοριστικό ρόλο στη γένεση της ΕΤ έπαιξε η δημοσίευση το 1960 ενός άρθρου του Skinner με τίτλο:«The Science of Learning and the Art of Teaching», (Η επιστήμη της μάθησης και η τέχνη της διδασκαλίας) [1]. Ο Skinner πίστευε ότι οι διδακτικές μηχανές (ΔΜ) θα μπορούσαν να δημιουργήσουν περιβάλλοντα ευνοϊκά για τη μάθηση που θα ανέτρεπαν τα μειονεκτήματα του εκπαιδευτικού συστήματος [2]. Πίστευε επίσης ότι οι ΔΜ θα μπορούσαν να εφαρμόσουν ορισμένες γενικές αρχές μιας διδασκαλίας, η οποία θα στηριζόταν στον προγραμματισμό διαδοχικών ερωτήσεων προς το διδασκόμενο, γι' αυτό και η διδασκαλία αυτή ονομάστηκε (ΠΔ) [1, 3]. Από τις συμπεριφορικές θεωρίες μάθησης το μοντέλο του Gagne, με τον προσδιορισμό των συνθηκών μάθησης και κυρίως των εσωτερικών συνθηκών (ετοιμότητα για μάθηση, προαπαιτούμενες γνώσεις), είχε σημαντική επίδραση στην ΕΤ. Σύμφωνα με τον Gagne, η μάθηση εξαρτάται από το περιβάλλον που αλληλεπιδρά ο άνθρωπος [5]. Η ΠΔ επέδρασε στον τομέα του παιδαγωγικού σχεδιασμού, της ανάπτυξης διδακτικού υλικού πολυμέσων και του κλάδου που διαμορφώθηκε μετά ως διδασκαλία υποβοηθούμενη από Η/Υ [4, 6].

1.2 Η πληροφορική και τα πολυμέσα στην εκπαίδευση

Η εισαγωγή της πληροφορικής στην εκπαίδευση είχε ως αποτέλεσμα το σχεδιασμό και την πραγματοποίηση μαθημάτων όπως: διδασκαλία ή μάθηση υποβοηθούμενη από υπολογιστή (Computer Assisted Instruction-CAI, Computer Assisted Learning-CAL, διδασκαλία ευφυώς υποβοηθούμενη από υπολογιστή-ΕΙΑΟ) κ.ά.. Μεγάλα χρηματικά ποσά διατέθηκαν σε όλες τις χώρες για τον εξοπλισμό των σχολείων και την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών. Χαρακτηριστικά, οι Scaife & Wellington σημειώνουν ότι η έκταση των επενδύσεων για μικροϋπολογιστές στη δεκαετία του '80 στην Αγγλία είναι σε τέτοιο επίπεδο, που κανένα άλλο είδος (item) της εκπαιδευτικής τεχνολογίας δε συγκρίνεται ούτε είναι πιθανό να συγκριθεί ως προς αυτό [7]. Στην υποβοηθούμενη από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Η/Υ) μάθηση κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζουν τα πολυμέσα (multimedia) όρος που σημαίνει παρουσίαση της πληροφορίας με περισσότερους από έναν τρόπους [8] ή είναι ο συνδυασμός σε μια παραγωγή:κειμένου, ήχου, εικόνας (ακίνητης και κινητής) και βίντεο διανθισμένων με ισχυρή δόση διαλογικότητας με τον χρήστη [9]. Στη γαλλική βιβλιογραφία, ο όρος πολυμέσα, αναφέρεται σε δίκτυα υπολογιστών που επιτρέπουν τη διάδοση κειμένων, γραφικών, ήχου και κινούμενης εικόνας βίντεο [10, 11]. Ο Η/Υ ενοποιεί όλα τα ανωτέρω μέσα θέτοντας τα υπό τον έλεγχο των τελικών χρηστών που μπορούν να εργάζονται εξατομικευμένα, ή σε ομάδες ή να

συνεργάζονται με απομακρυσμένα άτομα μέσω δικτύων Η/Υ. Τα πολυμέσα λοιπόν, στον Η/Υ, είτε σε αυτόνομο σύστημα είτε σε χρήση στον παγκόσμιο ιστό (World Wide Web), γράφουν μια ιστορία πολυεπίπεδης χρήσης γενικότερου σκοπού με ολοένα αυξανόμενη αποδοχή και καταξίωση στη συνείδηση της διεθνούς εκπαιδευτικής κοινότητας ως ένα πολυδύναμο περιβάλλον εκπαίδευσης φιλόξενο για δραστηριότητες εκπαιδευτικής έρευνας και διερευνητικής μάθησης. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια έρευνας και συνδυασμού των παραπάνω τεχνολογιών μέσω της δημιουργίας ενός πρωτότυπου εκπαιδευτικού λογισμικού Η/Υ που αφορά το αντικείμενο του Μηχανολογικού Εργαστηρίου (ΜΕ) για την χρήση του στην ενισχυτική διδασκαλία των φοιτητών του τμήματος Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας του Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Απώτερος σκοπός είναι η πληρέστερη συνδυαστική εκπαίδευση των φοιτητών παράλληλα με την κλασσική διδασκαλία τους και ο εφοδιασμός τους με επιπλέον γνώσεις και δεξιότητες για τη χρήση τους στον σχεδιασμό, τις κατασκεύες και τις επισκεύες Γεωργικών Μηχανημάτων.

2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Τα πολυμέσα (multimedia) στον Η/Υ, είτε σε αυτόνομο σύστημα είτε σε χρήση στον παγκόσμιο ιστό (WWW), έχουν αξιοποιηθεί ευρέως ιδιαίτερα όσον αφορά στο χώρο της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης με ανάπτυξη διάφορων εφαρμογών που κινούνται σε ένα ευρύ φάσμα από την απλή δημοσίευση παραδόσεων και εργασιών ως την ανάπτυξη πολύπλοκων εφαρμογών (οι οποίες περιλαμβάνουν προσομοιώσεις, πολύπλοκα γραφικά, ποικίλες επικοινωνιακές και συνεργατικές δυνατότητες). Οι εφαρμογές αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο σε συνδυασμό με τις πανεπιστημιακές παραδόσεις όσο και σαν αυτόνομα εκπαιδευτικά μέσα. Ενδεικτικά, αναφέρουμε κάποιες εφαρμογές και κάποιες εργασίες, όπως οι παρακάτω:

- Της ARKTOS Software, (1996), το πακέτο λογισμικού «Φυσική», όπου οι συγγραφείς με χρήση γραφικών επιχειρούν να μεταφέρουν με απλό τρόπο στο χρήστη ένα σύνολο από δυσνόητες έννοιες των Φυσικών Επιστημών.
- Του Γ. Μανουσάκη, (1995), το πακέτο λογισμικού «Η μαγεία της Χημείας μέσα από πειράματα», όπου με ψηφιοποιημένη εικόνα βίντεο ο χρήστης μπορεί να έχει μια πλήρη και πραγματική εικόνα για πολλά πειράματα χημείας εκ του φυσικού [8].
- Των Yavepbaum και Liebowitz καθώς και των Bothum et al οι οποίοι σχεδίασαν και υλοποίησαν εκπαιδευτικές εφαρμογές βασισμένες στο WWW κάνοντας χρήση προσομοιώσεων, κινούμενων γραφικών και μεθόδων αυτόματης αξιολόγησης της προόδου των μαθητών σε πανεπιστημιακά μαθήματα που αφορούσαν τη Διοίκηση και τη Φυσική αντίστοιχα [12, 13].
- Των Reed and Aljeh καθώς και των Goldberg et al που ανέπτυξαν εφαρμογές οι οποίες περιλάμβαναν εκπαιδευτικό υλικό και αναφορές στο WWW σε συνδυασμό με προσομοιώσεις στους τομείς των αεροπροωθούμενων κινητήρων και των λειτουργικών συστημάτων Η/Υ αντίστοιχα. Οι εφαρμογές που ανέπτυξαν οι ανωτέρω

χρησιμοποιούνταν παράλληλα με τις πανεπιστημιακές παραδόσεις, έχοντας ταυτόχρονα ένα τμήμα των φοιτητών να παρακολουθεί το μάθημα με την παραδοσιακή του μορφή. Οι αναφορές συγκλίνουν στο γεγονός ότι οι φοιτητές που έκαναν χρήση της εφαρμογής σε συνδυασμό με τα παραδοσιακά μαθήματα σημείωσαν καλύτερες επιδόσεις στις εξετάσεις [14, 15].

Τα αποτελέσματα αυτών που συνδύασαν τα πολυμέσα με έρευνα δείχνουν ότι οι εκπαιδευτικές εφαρμογές ήταν περισσότερο αποτελεσματικές σε συνδυασμό με μαθήματα που γίνονταν με παραδοσιακό τρόπο.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

3.1 Τα αλληλεπιδραστικά πολυμέσα-υπερμέσα

Τα αλληλεπιδραστικά πολυμέσα-υπερμέσα (interactive multimedia-hypermedia) καθορίζουν έναν τομέα που περιλαμβάνει ποικιλία συστημάτων, βασισμένα στον Η/Υ, ο οποίος επιτρέπει τη δημιουργία, ενοποίηση και το χειρισμό κειμένων, ποικίλων γραφικών, σταθερών/κινούμενων εικόνων βίντεο, ήχων και αναδραστικών διαδικασιών για εφαρμογή στην εκπαίδευση και στην κατάρτιση, στη δημόσια πληροφόρηση και αρχειοθέτηση, στο εμπόριο και στις υπηρεσίες [16].

3.2 Εκπαιδευτική εφαρμογή σε περιβάλλον πολυμέσων

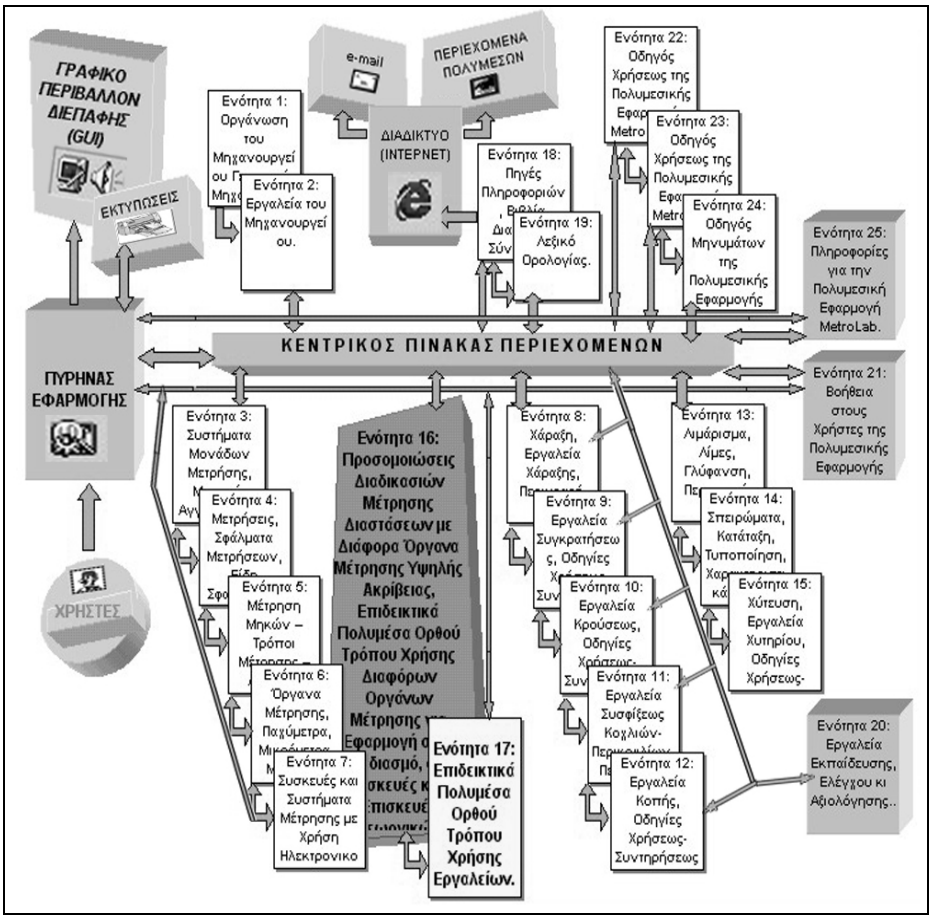
Θεωρώντας ότι η γνώση που έχουμε αποκτήσει για τον κόσμο αποτελείται από μια σειρά νοητικά σχήματα και θεωρώντας την μάθηση ως μια διαδικασία δόμησης των νεοπροσλαμβανόμενων πληροφοριών με τις ήδη υπάρχουσες στη μνήμη, [17], τότε ο αριθμός των συνδέσμων μεταξύ της ήδη υπάρχουσας αποθηκευμένης στη μνήμη γνώσης και της προσδοκώμενης νέας γνώσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της μαθησιακής διαδικασίας. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τη δυνατότητα «περιήγησης» μια εφαρμογής πολυμέσων-υπερμέσων σύμφωνα με τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες του κάθε χρήστη ή ομάδας χρηστών, προσδίδει στις εφαρμογές αυτές τη μορφή του «ιδανικού» μαθητοκεντρικού μαθησιακού περιβάλλοντος [18]. Στη καθημερινή πράξη δεν επαληθεύεται πλήρως η προηγούμενη άποψη, καθώς αποτελεσματική πρόσβαση στην πληροφορία δεν σημαίνει απαραίτητα πρόοδο στην κατεύθυνση της γνώσης [19]. Ακόμη, έχουμε υπερφόρτωση του χρήστη ή των χρηστών με πληθώρα πληροφοριών και αύξηση της αίσθησης αποπροσανατολισμού τους λόγω της ανοικτής τοπολογίας και της πολυπλοκότητας της φύσης τέτοιων εφαρμογών [20]. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι ο σχεδιασμός μιας πολυμεσικής εφαρμογής παίζει πρωταρχικό και σημαίνοντα ρόλο, τόσο στο περιεχόμενο, στον τρόπο δόμησης και στην παρουσίασή του, όσο και στις ανάγκες των χρηστών και στην φιλικότητα χρήσης της εφαρμογής, ώστε να έχουμε ένα θετικό εκπαιδευτικό αποτέλεσμα. Όσον αφορά το σχεδιασμό της εφαρμογής μια βασική αρχή που αναφέρεται στην αναπαράσταση σύνθετων γνωστικών αντικειμένων -όπως το ΜΕ- με τη χρήση υπερμεσικών εφαρμογών, αφορά στην κατ' αρχήν κατάτμηση του συνόλου του περιεχομένου σε επιμέρους αυτοτελείς όμως νοηματικές ενότητες και η διασύνδεσή τους στη συνέχεια με συνδέσμους [21]. Άλλη βασική αρχή στο σχεδιασμό πολυμεσικής εφαρμογής είναι ότι ανάλογα με τις ανάγκες των παρουσιαζόμενων πληροφοριών πρέπει να γίνει ορθολογική επιλογή των χρησιμοποιούμενων μέσων αναπαράστασης

της εκάτοτε πληροφορίας που θα δίνεται στο χρήστη. Η εφαρμογή για την ενίσχυση της διδασκαλίας του μαθήματος του ΜΕ κάνει χρήση της μεταφοράς διάφορων πηγών μάθησης όπως του βιβλίου σημειώσεων του φοιτητή, βιβλίων τρίτων και πηγών του Διαδυκτίου σε μια προσπάθεια να υποστηριχθεί η ολιστική παρουσίαση του περιεχομένου μέσω μιας οικείας προς το χρήστη εικόνας. Το ΜΕ αποτελεί ένα διαθεματικό αντικείμενο καθώς εμπλέκει μια σειρά γνωστικά πεδία όπως Μηχανολογία, Μαθηματικά, Φυσική, κτλ. Για να αντιμετωπιστεί η συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα το υλικό δομήθηκε (βλέπε Διάγραμμα Δομής) σε ανεξάρτητες ενότητες (πολυμεσικές σελίδες), οι οποίες συνδέονται ιεραρχικά μέσω ενός κεντρικού πίνακα περιεχομένων, αλλά και μέσω κατωτέρου επιπέδου πινάκων περιεχομένων που αναφέρονται στην κάθε ενότητα. Σε εννοιολογικό επίπεδο, οι διάφορες ενότητες συνδέθηκαν μεταξύ τους σύμφωνα με το πρότυπο δικτύου μέσω λέξεων ή γραφημάτων κλειδιών που περιλαμβάνονται στο υλικό. Για την εννοιολογική διασύνδεση χρησιμοποιήθηκε η εμπειρία της διδακτικής ομάδας του μαθήματος σε σχέση με την κατανόηση των εννοιών από τους φοιτητές. Επιπλέον το παρουσιαζόμενο υλικό έχει συμπληρωθεί με δυναμικές βιβλιογραφικές αναφορές στο χώρο του Διαδικτύου, οι οποίες στοχεύουν στο να δράσουν ως επιπρόσθετη βοήθεια και ως μονοπάτια εξερεύνησης για την αναζήτηση πληροφοριακού υλικού από τους φοιτητές. Επιπρόσθετα υπάρχει στη διάθεση των φοιτητών λεξικό ορολογίας δυναμικά διασυνδεδεμένου με το περιεχόμενο των ενοτήτων. Στην εφαρμογή έχουν ολοκληρωθεί μια σειρά από εργαλεία τα οποία είναι προσβάσιμα μέσω ειδικών σελίδων εργαλείων. Η εφαρμογή Metrolab (σχ.1) έχει αναπτυχθεί με τη βοήθεια του εργαλείου Multimedia Authoring Toolbook, που παρέχει ένα ιδιαίτερα φιλικό περιβάλλον ανάπτυξης εκπαιδευτικών εφαρμογών πολυμέσων και με Visual Pascal που υποστηρίζουν την εύκολη ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής (GUI).

Σχήμα 1. Αρχική οθόνη και οθόνη ενότητας από την πολυμεσική εφαρμογή.

Στην εφαρμογή Metrolab προσομοιώνονται οι διαδικασίες μέτρησης διαφόρων διαστάσεων με χρήση ποικίλων οργάνων μέτρησης υψηλής ακρίβειας, καθώς και ο ορθός τρόπος χρήσης των διαφόρων οργάνων μέτρησης και εργαλείων. Η σχεδιαστική ιδέα γύρω από την οποία αναπτύχθηκε η προσομοίωση είναι να δοθεί στο χρήστη μια επιπρόσθετη πρακτική απόκτησης γνώσης και κατανόησης τεχνικών καθώς και ανάπτυξης δεξιοτήτων στο αντικείμενο του ΜΕ, (Σχήμα 2). Έτσι, οι φοιτητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν την εφαρμογή με απώτερο σκοπό τον εφοδιασμό τους με επιπλέον γνώσεις και δεξιότητες ώστε να είναι σε θέση να τις χρησιμοποιήσουν στην Γεωργική Μηχανική. Το εισαγωγικό παράθυρο της

εφαρμογής αποτελείται από 1 παράθυρο με 2 σειρές πλήκτρων επιλογής (radio buttons), ένα αναδιπλούμενο μενού ένα πλήκτρο επιλογής βοήθειας και ένα πλήκτρο εξόδου.



Σχήμα 2. Διάγραμμα δομής και Λειτουργίας της πολυμεσικής εφαρμογής.

Ο χρήστης καλείται να εισάγει τις παραμέτρους που του ζητούνται. Συγκεκριμένα επιλέγει σύστημα μέτρησης (S.I. ή Whitworth) από το αναδιπλούμενο μενού και κατόπιν επιλέγει συγκεκριμένο μηχανολογικό μέσο (ΜΜ) από τα αντίστοιχα πλήκτρα επιλογής διαλέγει κατηγορία ΜΜ (εργαλεία, όργανα μέτρησης, κλπ). Με την επιλογή εμφανίζεται ένα άλλο παράθυρο το οποίο παρουσιάζει εν συντομία το σχετικό θεωρητικό υπόβαθρο στο μεσαίο μέρος του παραθύρου κάτω από την εικόνα του ΜΜ και στο κάτω μέρος του, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει την εκκίνηση μιας προσομοίωσης της χρήσης και εφαρμογής του ΜΜ με δυνατότητα επιλογής εκκίνησης προσομοίωσης ορισμένων ΜΜ σε χρήση μέτρησης/εων διαφόρων δεδομένων. Αυτή η επιλογή παρέχει μια μεγάλη δυνατότητα γνωριμίας, εκμάθησης και απόκτησης δεξιοτήτων μετρήσεων με διάφορα ΜΜ με τη χρήση πολυμεσικών προσομοιώσεων καθώς και δοκιμασιών ελέγχου των γνώσεων των φοιτητών. Η

εφαρμογή υποστηρίζει μηνύματα λάθους, καθώς και παρουσίαση μηνυμάτων που αφορούν τις σειρές παραμέτρων που χρησιμοποιεί. Η δομή και η λειτουργία της εφαρμογής φαίνεται δείχνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 2.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εκπαίδευση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς στους οποίους αναπτύσσεται και εφαρμόζεται η τεχνολογία των πολυμέσων [7, 8, 16]. Η εκπαιδευτική εφαρμογή που σχεδιάστηκε αποτελεί ένα πρωτότυπο λογισμικού Η/Υ για την χρήση του στην ενισχυτική διδασκαλία των φοιτητών του τμήματος Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας του Τ.Ε.Ι. Λάρισας, σκοπός του οποίου είναι ο καθορισμός και η τεκμηρίωση του σχεδιαστικού πλαισίου, πάνω στο οποίο στηρίχτηκε η ανάπτυξη της εφαρμογής. Το λογισμικό αποτελεί ένα συνδυασμό ενός εκπαιδευτικού προγράμματος υλοποιημένου σε πολυμεσικό περιβάλλον διεπαφής στο γνωστικό αντικείμενο του ΜΕ με μια εφαρμογή προσομοίωσης ορισμένων μηχανολογικών μέσων σε χρήση παρουσίασης εφαρμογής μέτρησης/εων δεδομένων η οποία παρέχει δυνατότητα γνωριμίας, εκμάθησης και απόκτησης δεξιοτήτων μετρήσεων καθώς και δοκιμασιών ελέγχου των γνώσεων των φοιτητών. Η εκπαιδευτική εφαρμογή των πολυμέσων κάνει χρήση των πολυμεσικών-υπερμεσικών δυνατοτήτων αναπαράστασης της πληροφορίας σε μια προσπάθεια υποστήριξης ενός δυναμικού μοντέλου μάθησης σε συνδυασμό με παρουσίαση στο χρήστη μιας σειράς από τεχνικές εφαρμογής, μετρήσεων και δεδομένα, ώστε να είναι σε θέση να οικοδομήσει ένα ποιοτικό μοντέλο των εννοιών που παρουσιάζονται. Επιπλέον θα ήταν χρήσιμη η επέκταση της προσομοίωσης σε άλλους τομείς που σχετίζονται με το ΜΕ (συγκολλήσεις, υλικά εφαρμογών κτλ) και η δυναμική σύνδεση των παραπάνω μηχανολογικών μέσων προορισμένων για τη χρήση τους στον σχεδιασμό, τις κατασκεύες και τις επισκεύες Γεωργικών Μηχανημάτων.

Τρεις σπουδαίοι παράγοντες που δείχνουν ότι τα πολυμέσα θα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην εκπαίδευση είναι οι ακόλουθοι : 1)Το σχετικά μικρό κόστος των συσκεύων που είναι απαραίτητες. 2)Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση του Η/Υ με πολυμέσα ως μέσου υποβοήθησης της μάθησης έναντι άλλων παλαιοτέρων προσεγγίσεων, δεδομένου του υψηλού βαθμού αλληλεπιδραστικότητας τους με τον χρήστη. 3)Η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας. Σύμφωνα με αρκετές έρευνες, η εφαρμογή των πολυμέσων στην εκπαίδευση θα συνεχίσει, σε παγκόσμια κλίμακα, να έχει αυξητικές τάσεις από πλευράς αριθμού χρηστών [8, 16].

Δική μας επιθυμία είναι η αύξηση και ο εμπλουτισμός των δυνατοτήτων της εφαρμογής. Οι δυνατότητες που θα μπορούσε να προσφέρει μια τέτοια εφαρμογή σε συνδυασμό με δομημένο, σε εκπαιδευτικές πολυμεσικές εφαρμογές υλικό είναι πολύ μεγάλες, καθώς θα μπορούσε να υποστηρίξει τόσο την ενίσχυση πανεπιστημιακών μαθημάτων, όσο και προγράμματα διαρκούς εκπαίδευσης και κατάρτισης Γεωργικών Μηχανικών. Ακόμη αναμένονται ως έμμεσα αποτελέσματα η εξοικείωση των φοιτητών με τη χρήση του Η/Υ σαν εργαλείου διερευνητικής μάθησης, αναζήτησης και παρουσίασης πληροφοριών, η ανάπτυξη ικανοτήτων κριτικής σκέψης, αξιολόγησης και αξιοποίησης των πληροφοριών,

συνεργατικού πνεύματος και δεξιοτήτων μετρήσεων κι ελέγχου. Οι ανωτέρω ικανότητες και δεξιότητες αποτελούν πλέον βασικές απαιτήσεις τόσο της κοινωνίας της πληροφορίας όσο και του επιστημονικού πεδίου στο οποίο στοχεύουν οι φοιτητές να ενταχθούν και να δραστηριοποιηθούν μετά τη λήψη του πτυχίου τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.Skinner, B.F., 1960. The Science of Learning and the Art of Teaching.
A.A.Lumsdaine and R.Glaser, Teaching Machines and Programmed Learning. *National education Association of the United States.* 99-113.
2.Hawkridge, D., 1976. Next Year Jerusalem! The rise of educational technology. *British Journal of Educational Tachnology*, 7(1), 7-30.
3.Skinner, B.F., 1961. *Teaching Machines*. Scientific American Frontiers of Psychological Research., S.F. , London: W.H. Freeman and Company. 267-277.
4.Scholer, M., 1983. La Technologie de I'Education. Concepts, bases et application. Canada: *Presses Universite de Montreal et Ministere de I'Education du Quebec.*
5.Gagne, R.M., 1977. *The conditions of Learning*. 3d edit., Holt, Rinrhart and Winston.
6.Morgan, P., 1978. Educational Technology-adolescence to adulthood, *Education and Communication Technology Journa.,* 26(2), 142-152.
7.Scaife, J., Wellington, J., 1993. *Information Technology in Science and Technology Education*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
8.Κόκκος, Α., Λιονταράκης, Α., Μάτραλης, Χ., Παναγιωτακόπουλος, Χ., 1998. *Το εκπαιδευτικό υλικό και οι νέες τεχνολογίες.* Τόμος Γ, ΕΑΠ.
9.Ομάδα Εργαστηρίου Πολυμέσων Τμήματος Πληροφορικής Α.Π.Θ., 1996. *Multimedia στη θεωρία και στη πράξη,* εκδόσεις Α.Τζιόλα Ε., Θεσσαλονίκη.
10.Agnola, M., 1996. *Passeport pour le multimedia.* Paris: CFPJ (Centre de Formation et de Perfectionnement des Journalistes).
11.Cedro, J.-M., 1995. *Le multimedia.* France: Milan (Lew Essentials).
12.Yaverbaum, G., Liebowitz, J., 1998. Gofigure Inc: A Hypermedia Web-based Case. *Computers & Education.* 30, 147-156.
13.Bothun, G., Kevan, S., Micklavzina, S, and Mason, D., 1996. Networked Physics Curriculum: From Static Web to Dynamic Java. *International Journal of Modern Physics C.* 8(1). 79-95.
14.Reed,. J., and Afjeh, A., 1998. Developing interactive educational software for the World Wide Web with Java. *Computers & Education.* 30, 183-194.
15.Goldberg, M., Salari, S., and Swoboda, P., 1996. *World Wide Web - Course Tool: An Environment for Building WWW - Based Courses.*
16.Latchem, C., Williamson, J., Henderson-Lancett, L., 1993. *Interactive multimedia: practice and promise.* London: Kogan Page.
17. Πόρποδας, Δ. Κ., 1996. *Γνωστική Ψυχολογία-Η διαδικασία της μάθησης.* Τόμος 1, Αθήνα..
18. Forrester, M., 1995. Indications of Learning Processes in a Hypertext Environment. *Innovations in Education and Training International.* 32(3), 256-268.
19.Laurilland, D., 1994. *Rethinking University Teaching. A framework for the effective use of educational technology.* London and New York: Routledge.
20.Conklin, J., 1987. Hyperyext:An Introduction and Survey. *IEEE Comp.,* Vol.20 n.9.
21. Verbyla, J., Ashman, H., 1994. A user-configurable hypermedia-based interface via the functional model of link. *Hypermedia*.6. 3. 193-209.

ΑΠΛΗ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΗΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΔΙΑΣΤΡΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Γεώργιος Τερζίδης
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σταθερή στράγγιση διαστρωμένων εδαφών με παράλληλους αγωγούς (σωλήνες ή τάφρους) έχει επιλυθεί προσεγγιστικά από αρκετούς ερευνητές. Οι επικρατέστερες και πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι αυτές που δόθηκαν από τον Ernst το 1962 [1]* και από τους Toksöz-Kirkham το 1971 [2] με διαφορετική όμως μεθοδολογία και προσέγγιση, έτσι ώστε τα αποτελέσματά τους σε πολλές περιπτώσεις να διαφέρουν περισσότερο από 5%. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια νέα, απλή και ακριβής μέθοδος, που βασίζεται σε τροποποίηση της μεθόδου Ernst και δίνει αποτελέσματα σχεδόν ίδια με αυτά της μεθόδου Toksöz-Kirkham.

Λέξεις κλειδιά: ΕΓΜΕ, συνέδρια, στράγγιση, διαστρωμένα εδάφη, ισαποχή.

SIMPLE AND ACCURATE METHOD OF LAYERED SOILS STEADY DRAINAGE

George Terzidis
Dept. of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering
School of Agriculture, Aristotle Univercity, Thessaloniki, 54124, Greece

ABSTRACT

The steady state drainage of layered soils with parallel tiles or ditches has been solved approximately by several investigators. The most extensively and widely used methods are those that have been proposed by Ernst in 1962 [1] and by Toksöz-Kirkham in 1971 [2] with different methodology and approximation, so that their results in many cases to have a difference of more than 5%. In this work a new, simple and accurate method is presented, which is based on a modified Ernst' s method and the results it gives are almost the same as those of Toksöz-Kirkham' s method.

Keywords: EGME, conferences, drainage, layered soils, drain distance.

(*) Οι αριθμοί εντός αγκυλών δηλώνουν τη χρησιμοποιηθείσα βιβλιογραφία στην οποία αναφέρονται οι αρχικές εργασίες των συγγραφέων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της σταθερής στράγγισης διαστρωμένου εδάφους, που αποτελείται από δύο διαπερατές στρώσεις και οι παράλληλοι στραγγιστικοί αγωγοί (σωλήνες ή τάφροι) να βρίσκονται σε οποιαδήποτε θέση από τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρώσεων, έχει επιλυθεί προσεγγιστικά από αρκετούς ερευνητές. Οι επικρατέστερες και πιο διαδεδομένες λύσεις είναι αυτές που δόθηκαν από τον Ernst (1962, 1963) [1] και από τους Toksöz-Kirkham (1971a,b) [2] με διαφορετική όμως μεθοδολογία και προσέγγιση.

Η μέθοδος του Ernst, που αποτελεί επέκταση της μεθόδου Hooghoudt (1940) [1], χρησιμοποιεί τις παραδοχές των Dupuit-Forchheimer για το τμήμα που θεωρείται ότι είναι της οριζόντιας ροής και την παραδοχή της ακτινικής καμπυλόγραμμης ροής για την περιοχή κοντά στους στραγγιστικούς αγωγούς. Για την εφαρμογή της σε πρακτικά προβλήματα απαιτείται ένα νομογράφημα, που κατασκευάστηκε από τον Van Beers (1965) [1] και δίνει τις τιμές ενός γεωμετρικού παράγοντα, ο οποίος εξαρτιέται από τις εδαφολογικές και γεωμετρικές συνθήκες ροής.

Η μέθοδος των Toksöz-Kirkham, που αποτελεί επέκταση της μεθόδου του Kirkham (1958) [3], δεν χρησιμοποιεί τις παραδοχές των Dupuit-Forchheimer, αλλά θεωρεί τη ροή διδιάστατη και λύνει την αντίστοιχη εξίσωση Laplace που προκύπτει με τη δυναμική θεωρία. Η περιοχή λύσης, λόγω συμμετρίας, περιορίζεται στο χώρο που περικλείεται μεταξύ των κατακόρυφων επιπέδων που διέρχονται από το μεσοδιάστημα και από το κέντρο του ενός στραγγιστικού αγωγού, καθώς και μεταξύ του οριζόντιου αδιαπέρατου υποστρώματος και της καμπυλόγραμμης υπόγειας στάθμης. Η εξαγωγή των εξισώσεων και των οριακών συνθηκών, καθώς και η αναλυτική λύση του προβλήματος στράγγισης εδάφους δύο στρώσεων παρουσιάζονται λεπτομερώς από τους Toksöz-Kirkham (1971a,b) [2]. Η αναλυτική λύση είναι σε μορφή πεπλεγμένων σειρών Fourier με άπειρους όρους και η εφαρμογή τους σε πρακτικά προβλήματα γίνεται μόνο με τη χρήση Η/Υ ή με τα ειδικά νομογραφήματα που κατασκευάστηκαν από τους ίδιους. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η μαθηματική λύση αυτού του προβλήματος, όπως διατυπώθηκε με διάφορες παραδοχές και γραμμικοποιήσεις των οριακών συνθηκών του, είναι μεν ακριβής για το μαθηματικό πρόβλημα, αλλά είναι προσεγγιστική για το φυσικό πρόβλημα, το οποίο είναι μη γραμμικό. Οπωσδήποτε η μέθοδος των Toksöz-Kirkham θεωρείται ότι είναι πιο ακριβής για τα περισσότερα πρακτικά προβλήματα στραγγίσεων (Luthin,1966) [1] και η ακρίβειά της έχει ελεγχθεί πειραματικά με μετρήσεις εργαστηρίου και υπαίθρου (Khan, et.al.,1989) [4].

Ο Τερζίδης το 1975 ακολουθώντας σχεδόν ίδια μεθοδολογία με αυτήν που χρησιμοποίησε ο Dagan (1964, 1965) [5] αλλά με περιοχές γραμμικοποίησης της καμπυλόγραμμης ροής κοντά στους στραγγιστικούς αγωγούς σε διαφορετικές αποστάσεις, επέτυχε την εξαγωγή απλών εξισώσεων υπολογισμού της ισαποχής των στραγγιστικών αγωγών με ακρίβεια ίδια ή και καλύτερη αυτής της μεθόδου των Toksöz-Kirkham. Μάλιστα οι Τερζίδης-Καραμούζης (1986) [6] συγκρίνοντας τις παραπάνω τρεις μεθόδους με ακριβή πειραματικά δεδομένα άλλων ερευνητών, απέδειξαν ότι η μέθοδος Ernst με

την κλασσική της μορφή και παρά τις σχετικές βελτιώσεις της από τους Van Beers (1965), Wesseling (1973) και Ernst (1978) [1,7], έδωσε τα μεγαλύτερα σφάλματα.

Σε σχετικά πρόσφατο σύγγραμμα του Διεθνούς Ινστιτούτου Έγγειων Βελτιώσεων του Wegeningen της Ολλανδίας, ο Ritzema (1994) [8] στη σελίδα 265 αφού διατυπώνει μία παράδοξη άποψη υπέρ της μεθόδου Hooghoudt και απορρίπτει τις εξισώσεις Kirkham και Dagan, στο τέλος συνιστά: "Εάν όμως το προφίλ του εδάφους αποτελείται από δύο ή περισσότερες στρώσεις με διαφορετικές υδραυλικές αγωγιμότητες, θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση του Ernst."

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι αδυναμίες της κλασσικής μεθόδου Ernst και προτείνεται μια νέα τροποποιημένη μορφή της, η οποία δίνει αποτελέσματα σχεδόν ίδια με αυτά της μεθόδου Toksöz-Kirkham.

2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ERNST

Ο L.F. Ernst (1952, 1962, 1978) [1,7] σε δημοσιεύματά του, που προέρχονται από τη διδακτορική του διατριβή, παρουσιάζει την εξαγωγή μιας γενικής εξίσωσης υπολογισμού της ισαποχής των παράλληλων στραγγιστικών αγωγών σε διαστρωμένα εδάφη δύο στρώσεων με διαφορετικούς συντελεστές υδραυλικής αγωγιμότητας, χρησιμοποιώντας τις παρακάτω παραδοχές:

Η ροή του υπόγειου νερού προς τους στραγγιστικούς αγωγούς (τάφρους ή σωλήνες) μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις συνιστώσες ροές: α) στην κατακόρυφη ροή, β) στην οριζόντια ροή και γ) στην ακτινική ροή.

Το άθροισμα των απωλειών των υδραυλικών φορτίων ή υψών των τριών συνιστωσών ροών ισούται με το συνολικό υδραυλικό φορτίο ή ύψος.

Ισχύει ο νόμος του Darcy και οι παραδοχές των Dupuit- Forchheimer.

Τα επίπεδα στα οποία βρίσκονται τα κέντρα των στραγγιστικών σωλήνων, η διαχωριστική επιφάνεια και το αδιαπέρατο υπόστρωμα είναι οριζόντια και παράλληλα μεταξύ τους σε σταθερές αποστάσεις. Με βάση τις παραπάνω παραδοχές προκύπτει η γενική εξίσωση (Τερζίδης και Καραμούζης, 1986) [6]:

$$H_0 = \Delta H_v + \Delta H_h + \Delta H_r = R\frac{D_v}{K_v} + R\frac{L^2}{8\sum(KD)_h} + R\frac{L}{\pi K_r}\ln\frac{aD_r}{u} \qquad (2.1)$$

όπου οι δείκτες v, h, r υποδηλώνουν κατακόρυφη, οριζόντια και ακτινική διεύθυνση, αντίστοιχα και H_0 = το συνολικό υδραυλικό ύψος ή το ύψος της υπόγειας στάθμης πάνω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών στο μεσοδιάστημά τους (σε m), $R \equiv q_0$ = η ειδική παροχή επαναπλήρωσης ανά μονάδα επιφάνειας (σε m/day), L = η ισαποχή μεταξύ των στραγγιστικών αγωγών (σε m), K_r = ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας στην περιοχή της ακτινικής ροής (σε m/day), K_v = ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας για την κατακόρυφη ροή (σε m/day), D_v = το πάχος της περιοχής στην οποία θεωρείται ότι υπάρχει κατακόρυφη ροή (σε m), $\sum(KD)_h$ = ο συντελεστής διοχετευτικότητας των στρώσεων στις οποίες θεωρείται ότι υπάρχει οριζόντια ροή σε (m^2/day), u = η βρεχόμενη περίμετρος του στραγγιστικού αγωγού (σε

m), a = ο γεωμετρικός παράγοντας για την ακτινική ροή, ο οποίος εξαρτιέται από τις εδαφολογικές και γεωμετρικές συνθήκες ροής.

Οι τιμές των D_v, $\sum(KD)_h$, D_r, a και u μπορούν να εξετασθούν με κάποια λεπτομέρεια, με τη βοήθεια των Σχημάτων 1α έως 1δ. Η κατακόρυφη ροή λαμβάνει χώρα στη στρώση μεταξύ της μεγίστης υπόγειας στάθμης στο μεσοδιάστημα και του πυθμένα των στραγγιστικών αγωγών. Συνήθως το πάχος της στρώσης για κατακόρυφη ροή μπορεί να παρθεί σαν $D_v = h_0 + H_0$ για τις τάφρους και $D_v = H_0$ για τους στραγγιστικούς σωλήνες. Η οριζόντια ροή λαμβάνει χώρα σ' όλο το πάχος του υδροφόρου στρώματος, δηλαδή $\sum(KD)_h = K_1D_1 + K_2D_2$. Αν το βάθος του αδιαπέρατου υποστρώματος αυξάνει, η τιμή του K_2D_2 επίσης αυξάνει, κάνοντας το $\sum(KD)_h$ να τείνει στο άπειρο και την υδραυλική αντίσταση στο μηδέν. Για να αποφευχθεί αυτό, το συνολικό πάχος της στρώσης κάτω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών D_0 ή D_0+D_2 περιορίζεται στο L/4 όταν το αδιαπέρατο υπόστρωμα είναι βαθύτερα του L/4 κάτω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών.

Η ακτινική ροή λαμβάνεται υπόψη στη στρώση κάτω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών, δηλαδή $D_r = D_0$, με τον περιορισμό και πάλι ότι το D_r δεν είναι μεγαλύτερο του L/4, όπως και στην περίπτωση της οριζόντιας ροής.

Για την περίπτωση των στραγγιστικών σωλήνων αποτελεσματικής ακτίνας r_0 η εξίσωση (2.1) μπορεί να γραφεί με την παρακάτω μορφή:

$$H_0 = R\frac{H_0}{K_1} + R\frac{L^2}{8(K_1D_1 + K_2D_2)} + R\frac{L}{\pi K_r}\ln\frac{aD_r}{\pi r_0} \qquad (2.2)$$

Οι δευτεροβάθμιες αλγεβρικές εξισώσεις (2.1) και (2.2) είναι οι βασικές γενικές εξισώσεις της μεθόδου Ernst, από τις οποίες προκύπτουν οι ειδικές μορφές εφαρμογής ανάλογα με τις ειδικότερες εδαφολογικές συνθήκες και τις θέσεις των στραγγιστικών αγωγών ως προς τη διαχωριστική επιφάνεια των δυο στρώσεων του εδάφους (Wesseling 1973, Τερζίδης-Παπαζαφειρίου 1994) [7].

3.ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ERNST-ΤΕΡΖΙΔΗ

3.1 Γενικές εξισώσεις

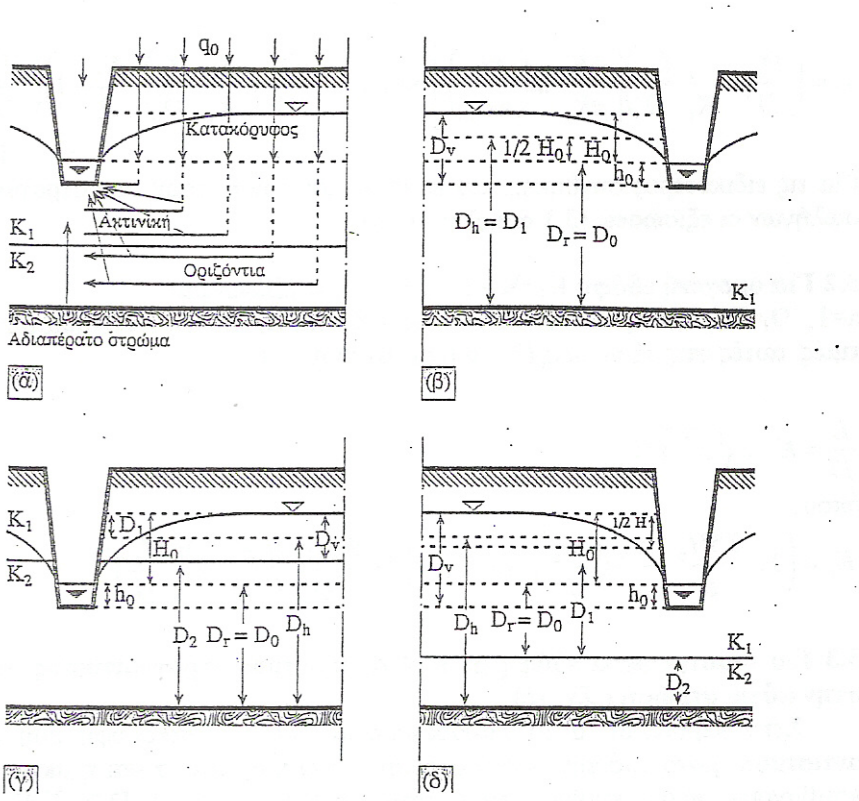
Πολλαπλασιάζοντας την εξίσωση (2.2) επί K_1/RD^2, εκτελώντας τις σχετικές αλγεβρικές πράξεις και ανακατατάσσοντας τους όρους, λαμβάνεται μια δευτεροβάθμια αλγεβρική εξίσωση ως προς (L/D), η οποία μπορεί να γραφεί και με την παρακάτω αδιάστατη συνοπτική μορφή:

$$\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 2E\left(\frac{L}{D}\right) - 8\Gamma = 0 \qquad (3.1)$$

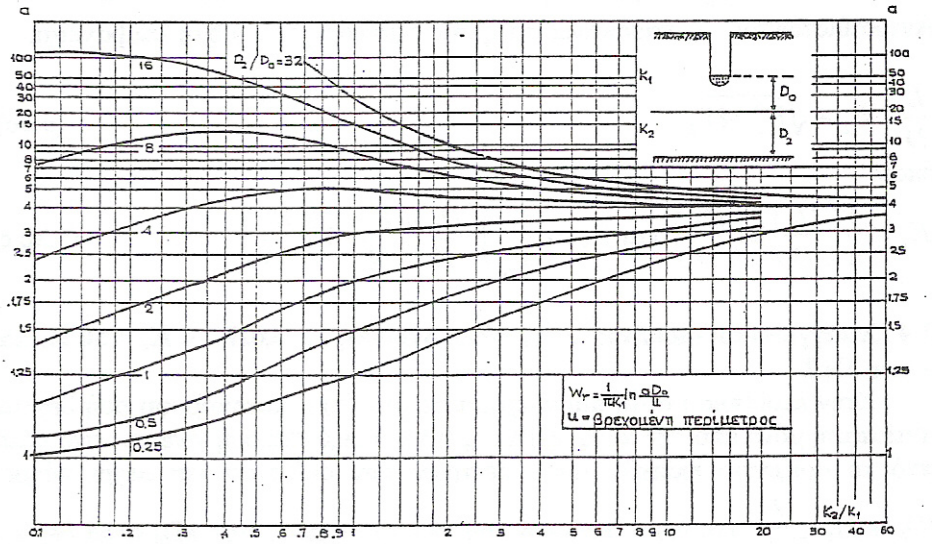
Η θετική λύση της εξίσωσης (3.1) ή (2.2) είναι:

$$\frac{L}{D} = E + \sqrt{E^2 + 8\Gamma} \qquad (3.1\alpha)$$

όπου:



Σχήμα 1. Γεωμετρία και συμβολισμοί μεθόδου Ernst.



Σχήμα 2. Νομογράφημα γεωμετρικού παράγοντα a (Van Beers, 1965).

$$E=\left(\frac{D_1}{D}+\frac{K_2}{K_1}\frac{D_2}{D}\right)\left[\frac{4K_1}{\pi K_r}\ln\left(\frac{\pi r_0}{aD_r}\right)\right] \text{ και } \Gamma=\left(\frac{D_1}{D}+\frac{K_2}{K_1}\frac{D_2}{D}\right)\left(\frac{K_1}{R}-1\right)\left(\frac{H_0}{D}\right) \quad (3.1b,c)$$

Για τις ειδικότερες συνθήκες των εδαφών και των θέσεων των στραγγιστικών σωλήνων οι εξισώσεις (3.1 α,b,c) γίνονται:

3.2 Για ομογενή εδάφη $K_2=K_1=K$, (Σχ. 1b), λαμβάνονται:
a=1, $D_1=D_0+0,5H_0$, $K_2=K_1$, $D_2=0$, $K_r=K_1$ και $D_r=D_0=D$. Αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στις εξισώσεις (3.1 α,b,c) λαμβάνεται:

$$\frac{L}{D}=E_1+\sqrt{E_1^2+8\Gamma_1} \quad (3.2\alpha)$$

όπου

$$E_1=\left(1+\frac{0,5H_0}{D}\right)\frac{4}{\pi}\ln\left(\frac{\pi r_0}{D}\right) \text{ και } \Gamma_1=\left(1+\frac{0,5H_0}{D}\right)\left(\frac{K}{R}-1\right)\left(\frac{H_0}{D}\right) \quad (3.2b,c)$$

3.3 Για διαστρωμένα εδάφη με $K_1<K_2$ **και τους στραγγιστικούς σωλήνες στην κάτω στρώση** (Σχ. 1c)

Στην περίπτωση αυτή παραδεχόμαστε ότι η κατακόρυφη ροή δέχεται αντίσταση μόνο από την πάνω στρώση, ενώ η οριζόντια και η ακτινική ροή λαμβάνουν χώρα κυρίως στην κάτω στρώση όπου $K_2D_2>K_1D_1$. Έτσι λαμβάνονται $\sum(KD)_h=K_2D_2$, $K_r=K_2$, $D_r=D_0=D$ και a=1. Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στις εξισώσεις (2.3 α,b,c) λαμβάνεται:

$$\frac{L}{D}=E_2+\sqrt{E_2^2+8\Gamma_2} \quad (3.3\alpha)$$

όπου

$$E_2=\frac{4}{\pi}\left(\frac{D_2}{D}\right)\ln\left(\frac{\pi r_0}{D}\right) \text{ και } \Gamma_2=\left(\frac{K_2}{K_1}\right)\left(\frac{D_2}{D}\right)\left(\frac{K_1}{R}-1\right)\left(\frac{H_0}{D}\right) \quad (3.3b,c)$$

3.4 Στραγγιστικοί σωλήνες στην πάνω στρώση με $0,02K_1<K_2<50K_1$ **και a από Σχ.2**

Στην περίπτωση αυτή παραδεχόμαστε ότι: (α) η κατακόρυφη ροή δέχεται αντίσταση μόνο από την πάνω στρώση, (β) η οριζόντια ροή γίνεται μόνο κάτω από το οριζόντιο επίπεδο των κέντρων των σωλήνων και μέχρι πάχους $D_0+D_2\le\frac{L}{4}$ και (γ) η ακτινική ροή γίνεται σε απόσταση aD_0 αλλά δέχεται αντίσταση μόνο από την πάνω στρώση (K_1). Έτσι λαμβάνονται $\sum(KD)_h=D_0K_1+D_2K_2$, $K_r=K_1$, $D_r=D_0$, $D=D_0+D_2$ και a από Σχ.2.

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές στις εξισώσεις (3.1α,b,c), λαμβάνεται:

$$\frac{L}{D} = E_3 + \sqrt{E_3^2 + 8\Gamma_3} \qquad (3.4\alpha)$$

όπου

$$E_3 = \left(\frac{D_0}{D} + \frac{K_2}{K_1}\frac{D_2}{D}\right)\left[\frac{4}{\pi}\ln\left(\frac{\pi r_0}{aD_0}\right)\right] \text{ και } \Gamma_3 = \left(\frac{D_0}{D} + \frac{K_2}{K_1}\frac{D_2}{D}\right)\left(\frac{K_1}{R} - 1\right)\left(\frac{H_0}{D}\right) \qquad (3.4b,c)$$

Οι εξισώσεις (3.4α,b,c) αποτελούν ουσιαστικά **την τροποποιημένη μέθοδο Ernst** και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διευρυμένες συνθήκες:

$$0{,}02 \le \frac{K_2}{K_1} \le 50 \quad \text{και} \quad 0 \le \frac{D_0}{D} \le 1 \qquad (3.4d)$$

Οι αντίστοιχες εξισώσεις **της κλασσικής μεθόδου Ernst** βασίζονται στην παραδοχή ότι η οριζόντια ροή γίνεται στο μέσο πάχος των διαστρώσεων, δηλαδή $\sum(KD)_h = (D_0 + 0{,}5H_0)K_1 + D_2K_2$ και μπορούν να γραφούν με ανάλογη μορφή:

$$\frac{L}{D} = E_3' + \sqrt{E_3'^2 + 8\Gamma_3'}\,, \qquad \text{όπου} \qquad (3.5\alpha)$$

$$E_3' = \left(\frac{D_0 + 0{,}5H_0}{D} + \frac{K_2}{K_1}\frac{D_2}{D}\right)\left[\frac{4}{\pi}\ln\left(\frac{\pi r_0}{aD_0}\right)\right] \qquad (3.5b)$$

$$\Gamma_3' = \left(\frac{D_0 + 0{,}5H_0}{D} + \frac{K_2}{K_1}\frac{D_2}{D}\right)\left(\frac{K_1}{R} - 1\right)\left(\frac{H_0}{D}\right) \qquad (3.5c)$$

και χρησιμοποιούνται για στενότερες συνθήκες:

$$0{,}1 \le \frac{K_2}{K_1} \le 20 \quad \text{και} \quad 0{,}1 \le \frac{D_0}{D} \le 0{,}9 \qquad (3.5d)$$

4.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ERNST ΚΑΙ ΤΕΡΖΙΔΗ- ERNST ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ TOKSÖZ-KIRKHAM

Με βάση την ακρίβεια της φυσικής και μαθηματικής ανάλυσης της μεθόδου των Toksöz-Kirkham και την ευρύτατη αποδοχή της στη διεθνή βιβλιογραφία, ας θεωρήσουμε τη μέθοδο αυτή σαν την πλέον ακριβή και ας τη συγκρίνουμε με τις μεθόδους Τερζίδη-Ernst και Ernst σε διάφορα θεωρητικά παραδείγματα.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τιμές της ισαποχής στραγγιστικών σωλήνων που υπολογίστηκαν με τις εξισώσεις (3.4α,b,c) της τροποποιημένης μεθόδου Τερζίδη-Ernst για 24 παραδείγματα διαστρωμένων εδαφών με διαφορετικούς συντελεστές υδραυλικών αγωγιμοτήτων τους (K_1, K_2) και σε τρεις διαφορετικές θέσεις πάνω από το αδιαπέρατο υπόστρωμα των δύο στρώσεων. Οι τιμές αυτές συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές που υπολογίστηκαν με Η/Υ από τις εξισώσεις της μεθόδου των Toksöz-Kirkham και βρέθηκε ότι ο μέσος όρος της διαφοράς τους σε απόλυτες τιμές είναι 1,2% και η μέγιστη τιμή 2,6%.

Πίνακας 1. Σύγκριση υπολογισμένης ισαποχής με τις μεθόδους τροποποιημένη Τερζίδη-Ernst και Toksöz-Kirkham

Δίνονται: H_0=0,6 m, D_0=a=1,6m, 2r=0,2 m, K_1=1,2 m/ d, R=0,006 m/d, K_2, b και D όπως προκύπτουν από τα πηλίκα K_1/K_2 και D_0/D

$\frac{K_2}{K_1}$	$\frac{D_0}{D}=0,8,\ \frac{D_2}{D}=0,2$, D=2				$\frac{D_0}{D}=0,4,\ \frac{D_2}{D}=0,6$, D=4				$\frac{D_0}{D}=0,2,\ \frac{D_2}{D}=0,8$, D=8			
	a (Σχ.2)	Τερζίδη-Ernst	Toksöz-Kirkham	Διαφορά %	a (Σχ.2)	Τερζίδη-Ernst	Toksöz-Kirkham	Διαφορά %	a (Σχ.2)	Τερζίδη-Ernst	Toksöz-Kirkham	Διαφορά %
0,02	1,00	36,0	36,0	0,00	1,00	36,41	36,5	-0,26	1,0	37,20	36,8	1,10
0,1	1,02	36,29	36,8	-1,39	1,28	37,76	38,0	-0,63	2,4	39,66	39,0	1,70
0,2	1,05	36,63	36,8	-0,45	1,45	39,59	40,0	-1,02	3,3	43,11	43,0	0,26
0,5	1,15	37,61	36,8	2,21	1,85	44,33	45,0	-1,48	4,7	51,03	50,0	2,06
1,0	1,25	39,25	-	-	2,50	50,20	-	-	5,0	60,45	-	-
2,0	1,40	42,25	43,0	-1,74	2,80	59,48	59,0	0,81	4,6	72,94	72,0	1,30
5,0	1,87	49,21	48,0	2,53	3,15	75,63	74,0	2,21	4,4	90,11	90,0	0,13
10,0	2,40	57,44	56,0	2,56	3,40	88,96	90,0	-1,15	4,2	102,09	101,0	1,08
50,0	3,70	84,03	83,0	1,24	3,90	111,96	112,0	-0,04	4,0	118,74	118,0	0,62

Πίνακας 2. Σύγκριση υπολογισμένης ισαποχής με τις μεθόδους Ernst και Toksöz-Kirkham (ίδια παραδείγματα με Πίνακα 1)

$\frac{K_2}{K_1}$	$\frac{D_0}{D}=0,8,\ \frac{D_2}{D}=0,2$, D=2				$\frac{D_0}{D}=0,4,\ \frac{D_2}{D}=0,6$, D=4				$\frac{D_0}{D}=0,2,\ \frac{D_2}{D}=0,8$, D=8			
	a	Ernst	Toksöz-Kirkham	Διαφορά %	a	Ernst	Toksöz-Kirkham	Διαφορά %	a	Ernst	Toksöz-Kirkham	Διαφορά %
0,02*	1,00	38,92*	36,0	8,11*	1,00	38,84*	36,5	6,42*	1,0	38,85*	36,8	5,57*
0,1	1,02	39,18	36,8	6,47	1,28	41,39	38,0	6,29	2,4	41,82	39,0	7,24
0,2	1,05	39,47	36,8	7,25	1,45	42,01	40,0	5,03	3,3	44,86	43,0	4,33
0,5	1,15	40,30	36,8	9,51	1,85	46,28	45,0	2,84	4,7	52,16	50,0	4,32
1,0	1,25	41,76	-	-	2,50	51,66	-	-	5,0	-	-	-
2,0	1,40	44,48	43,0	3,44	2,80	60,48	59,0	2,51	4,6	73,36	72,0	1,89
5,0	1,87	50,86	48,0	5,96	3,15	76,14	74,0	2,89	4,4	90,27	90,0	0,30
10,0	2,40	58,59	56,0	4,62	3,40	89,22	90,0	-0,87	4,2	102,16	101,0	1,15
50,0	3,70	84,33	83,0	1,60	3,90	111,99	112,0	-0,03	4,0	118,74	118,0	0,63

(*) Χρησιμοποιήθηκε K_2=0,αδιαπέρατο D= D_0=1.6m και τιμές a από Σχ.2

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι τιμές της ισαποχής των ίδιων παραδειγμάτων που εδώ υπολογίστηκαν με τις εξισώσεις (3.5α,b,c) της κλασσικής μεθόδου Ernst. Σύγκριση των τιμών αυτών με τις αντίστοιχες τιμές της μεθόδου Toksöz-Kirkham δείχνει ότι ο μέσος όρος της διαφοράς τους σε απόλυτες τιμές είναι 6,12%, με μέγιστη 9,51% και ελάχιστη 2,84% για τις περιπτώσεις $K_2 < K_1$. Ενώ για τις περιπτώσεις $K_2 > K_1$ ο μέσος όρος της διαφοράς τους είναι 2,16%, με μέγιστη 5,96% και ελάχιστη 0,30%. Ο Πίνακας 2 δικαιολογεί το συμπέρασμα του Ritzema ότι η μέθοδος του Ernst είναι κατάλληλη περισσότερο για τις περιπτώσεις $K_2 > K_1$. Όπως όμως αποδεικνύεται και από τον Πίνακα 1 αυτό οφείλεται στις διαφορετικές παραδοχές της οριζόντιας ροής και στις οριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται στις τρεις αυτές μεθόδους.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η κλασσική μέθοδος του Ernst, που χρησιμοποιείται ευρέως στις Ευρωπαϊκές χώρες, εισάγει μεγάλα σφάλματα στους υπολογισμούς της ισαποχής κυρίως στις περιπτώσεις $K_2 < K_1$. Η παραδοχή να θεωρείται αδιαπέρατη η κάτω στρώση εδάφους με $K_2 \leq 0{,}1K_1$, εισάγει επίσης σημαντικά σφάλματα.
2. Η τροποποιημένη μέθοδος Τερζίδη-Ernst δίνει τα ίδια σχεδόν αποτελέσματα με τη δυναμική μέθοδο των Toksöz-Kirkham αλλά με πολύ απλούστερο τρόπο και με τη βοήθεια ενός μόνο νομογραφήματος.
3. Οι παραδοχές των Dupuit-Forchheimer για την περιοχή των μικρών κλίσεων της υπόγειας στάθμης (οριζόντια ροή) σε συνδυασμό με την παραδοχή της ακτινικής ροής στην περιοχή κοντά στους στραγγιστικούς αγωγούς απλοποιούν σημαντικά τα σχετικά προβλήματα και δίνουν αποτελέσματα σχεδόν ίδια με αυτά της δυναμικής διδιάστατης ροής των Toksöz-Kirkham.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wesseling, J., 1973. *Drainage Principles and Applications*. II. Theories of field drainage and watershed runoff, Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Publ. 16, Vol. II, Wageningen.
2. Toksöz, S., and Kirkham, Don, 1971a,b. Steady Drainage of Layered Soils: I. Theory, II. Nomographs, J. Irrig and Drainage Div., *Amer. Soc. Civil Eng. Proc. 97* (IR1):1-37.
3. Kirkham, Don, 1958. Seepage of Steady Rainfall Through Soil Into Drains, *Amer. Geophys. Union Trans.* 39: 892-908.
4. Khan, G.I., Shukla, K.N., Chauhan, H.S., and Ram, Sewa, 1989. Verification of Kirkham's Problem of Layered Soil Drainage, J. Irrig and Drainage Div., *Amer. Soc. Civil Eng.*, Vol. 115, (IR4):521-529.
5. Dagan, G., 1965. Steady Drainage of a Two-Layered Soil, J.Irrig. and Drainage Div., *Amer. Soc. Civil Eng., Proc 91* (IR3):51-64.
6. Τερζίδης, Γ.Α., και Καραμούζης, Δ.Ν., 1986. *Στραγγίσεις Γεωργικών Εδαφών*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
7. Τερζίδης, Γ.Α., και Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1997. *Γεωργική Υδραυλική*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
8. Ritzema, H.P., 1994. *Drainage Principles and Applications*, Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Publ. 16, Second Edition (Completely Revised), Wageningen.

Ευρετήριο Συγγραφέων

	Σελίδα
Ακριτίδης Κ.	431
Αλεξίου Ι.	77
Αλμπανάκης Κ.	257
Αντωνόπουλος Β.	301
Αργυροκαστρίτης Ι.	318
Βαρζακάκος Γ.	167
Βατσανίδου Α.	362
Βαφειάδης Δ.	413
Βουγιούκας Σ.	431
Βύρλας Π.	77
Γέμτος Θ.	87,95,103,111,144,222,230,290,473,481
Γεωργακοπούλου Δ.	153
Γεωργίου Π.Ε.	11,53
Γεωργούσης Χ.	309
Γιαλαμάς Θ.	238,497
Γιαννόπουλος Σ.	3
Γκιτσάκης Ν.	36
Γράβαλος Ι.	207,327
Δημαρέλη Π.	153,167
Δημητριάδης Α.	431
Δημόπουλος Γ.Χ.	43
Δούκας Κ.	497
Εσκίογλου Π.	127,136
Ζέρβα Γ.	77,222
Θεοχάρης Μ.	337
Καβαλάρης Χρ.	87,95,473,481
Καλλιβρούσης Λ.	214

Καλπάκης Σ. 273
Καλφούντζος Δ. 77,265
Καμβύση Ι. 180
Κανάκη Μ. 174
Καραγιάννης Ε. 127,136
Καραμούζης Δ.Ν. 11,53
Καραμούτης Χρ. 87,95,473
Καραρίζος Πλ. 127,136
Κατσούλας Ν. 354,387,395
Κερκίδης Π. 318
Κιτσοπανίδης Γ. 144
Κίττας Κ. 188,354,362,370,379,387,395
Κολιού Α. 265
Κοντές Α. 379
Κουτάλου Β. 36
Κουτσοφίτης Ζ. 238
Κωτσόπουλος Θ. 345
Κωτσόπουλος Σ. 77
Λαμπρινός Γ. 153,167,175,180,421
Λέλλης Θ. 61,69,441
Λιθουργίδης Α.Σ. 119
Λιναρδοπούλου Μ. 441
Λόλας Π. 290
Λύκας Χ. 188
Λυχναράς Β. 457
Μακρυγιώργος Χ. 257
Μανάκος Α.Κ. 43
Μανωλοπούλου Ε. 153,159,167,174,180
Μαργαριτόπουλος Ι. 362
Μαργώνη Σ. 257
Μαρδίκης Μ. 449,489

Μαρίτσα Ι.	159
Μαρκινός Αθ.	222,230
Μαρτζόπουλος Γ.	61,345,403,413,441
Μητρόπουλος Δ.	153,175,180
Μιχαηλίδου Δ.	301
Μπαλτάς Ε.Α.	20,29
Μπαμπατζιμόπουλος Χ.	309
Μπαρτζάνας Θ.	370,379
Μπιμπή Α.	188
Μπλούκα Αν.	441
Μυγδάκος Ε.	144
Νάματοβ Ε.	489
Νάνος Γ.	188,465
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ.	345,403,413
Νικολάου Α.	457,489
Ντιούδης Π.	61,69,441
Ντούπη Β.	282
Οικονόμου Ν.	421
Πανούτσου Κ.	457,489
Παπαδάκης Γ.	199,214
Παπαδόπουλος Α.	249
Παπαδόπουλος Φ.	249
Παπαθανασίου Ι.	87,95,473
Παπαϊωάννου Χ.	354,362
Παπακωνσταντίνου Η.	465
Παπαμιχαήλ Ι.	457
Παπαμιχαήλ Δ.	87
Παπαμιχαήλ Δ.Μ.	11,53
Παπανίκος Ν.	265
Παπαοικονόμου Μ.	222
Παρισσόπουλος Γ.	249

Πατέρας Δ.	222
Παυλάτου-Βε Α.	282
Παυλίκου Ν.	159
Πέτκου Ι.	465
Σακελλαριάδης Σ.	282
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ.	69,265
Σκρέτα Ν.	465
Σουϊπας Σ.	290
Σπυρίδης Α.	36
Σταθάκος Θ.	111
Στανιός Β.	497
Σφακιωτάκης Ε.	465
Στραπάτσα Α.	465
Τέντας Ι.	265
Τερζίδης Γ.	505
Τζιμόπουλος Χ.	3
Τούλιος Λ.	222
Τσατσαρέλης Κ.Α.	119,465
Τσιούρης Σ.	273
Τσιτσιπής Ι.Α.	362
Φιλίντας Αγ.	61,69,238,441,497
Φουντάς Σ.	103,230
Χαρίτση Σ.	159
Χοτζακιάνης Ι.	403
Ψιλοβίκος Α.	257
Ψιλοβίκος Αρ	257
Blackmore S.	103,230
Cracinescu A.	214
Mohamed E.	199
Obeid D.	354
Ochola W.O.	318
Predescu M.	214