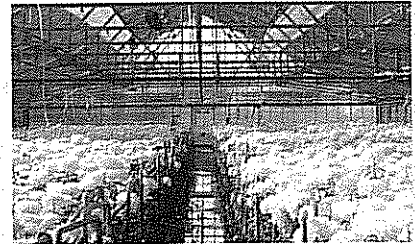
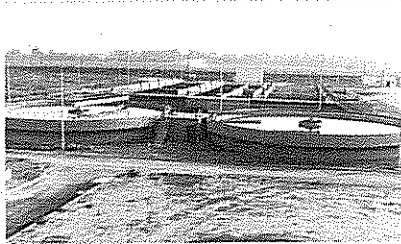
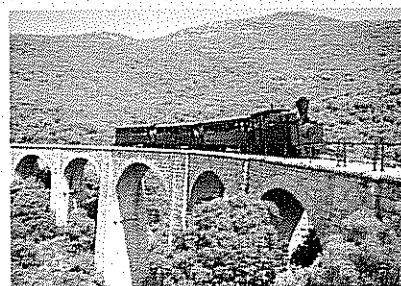




ΕΤΑΙΡΕΙΑ  
ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΛΛΑΔΟΣ



## ΠΡΑΚΤΙΚΑ 2ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ



ΒΟΛΟΣ  
28 - 30 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2000

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ ΤΟΥ ΤΜ. ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Με τη συνδρομή: ΔΗΜΟΥ ΒΟΛΟΥ, ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Τ.Ε.Ε. Μαγνησας

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (Ε.Γ.Μ.Ε.)  
HELLENIC SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (HelAgEng)

## ΠΡΑΚΤΙΚΑ

# 2ο ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Επιμέλεια Έκδοσης  
Μ. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη

ΒΟΛΟΣ  
28 – 30 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2000

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Με τη συνδρομή : ΔΗΜΟΥ ΒΟΛΟΥ, ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΓΕΩΤ.Ε.Ε.),  
ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ (Τ.Ε.Ε.) Ν. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

---

Η αναπαραγωγή των εργασιών έχει γίνει φωτογραφικά και την ευθύνη της εμφάνισης κάθε εργασίας έχουν οι συγγραφείς της.

---



Εκτύπωση • βιβλιοδεσία  
ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΓΙΑΧΟΥΔΗ - ΓΙΑΠΟΥΛΗ  
ΤΗΛ - FAX: 031 - 216.779  
Κ. ΜΕΛΕΝΙΚΟΥ 15 • ΘΕΣΣ/ΝΙΚΗ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ) διανύει τον 8<sup>ο</sup> χρόνο ύπαρξής της. Ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1993 με έδρα την Αθήνα και είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωργικών Μηχανικών (EurAgEng). Η επωνυμία της αποδίδεται στην αγγλική ως “Hellenic Society of Agricultural Engineers” (HelAgEng). Τα μέλη της σήμερα φθάνουν τα 121.

Το παρόν τεύχος των πρακτικών περιέχει 72 επιστημονικές ανακοινώσεις που παρουσιάστηκαν στο 2<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, το οποίο έλαβε χώρα στο Βόλο, στις 28-30 Σεπτεμβρίου 2000. Για την κρίση των εργασιών αυτών προς δημοσίευση στα Πρακτικά, εργάστηκαν μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής και άλλοι ειδικοί επιστήμονες. Το συνέδριο οργανώθηκε υπό την αιγίδα του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, με τη συνδρομή του Δήμου Βόλου, του ΓΕΩΤ.Ε.Ε. και του Τ.Ε.Ε. Μαγνησίας.

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 απέκτησαν γνώσεις σε ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω γνωστικά αντικείμενα.

Η συζήτηση και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από το Συνέδριο πιστεύουμε ότι θα εδραιώσουν το ρόλο του Γεωργικού μηχανικού στη χώρα μας. Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες προς τα μέλη της Οργανωτικής και 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 Θεσσαλίας, το Δήμαρχο Βόλου, το Νομάρχη Ν. Μαγνησίας καθώς και τους άλλους χορηγούς και εκθέτες απευθύνονται ειλικρινείς ευχαριστίες για την οικονομική ενίσχυση που προσέφεραν ώστε να πραγματοποιηθεί με επιτυχία το παρόν συνέδριο.

Βόλος, Σεπτέμβριος 2000

Καθηγήτρια, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη  
Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

## **Οργανωτική Επιτροπή**

Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ., Πρόεδρος  
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.  
Γέμτος Θ., Αναπλ. Καθηγητής Π.Θ.  
Δαναλάτος Ν., Λέκτορας Π.Θ.  
Πρίντζος Ι., Πρόεδρος Τ.Ε.Ε. Ν. Μαγνησίας  
Μανουόδης Ν., Γεωπόνος, Δ/νση Γεωργικής Ανάπτυξης Ν. Μαγνησίας  
Καλφούντζος Δ., Ερευνητής ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.  
Ντιούδης Π., Επίκ. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Λάρισας  
Σουφλιάς Κ., Γεωπόνος Περιφέρειας Θεσσαλίας  
Βλειώρας Σ., Γεωπόνος, εκπρ. ΓΕΩΤ.Ε.Ε. Κεντρικής Ελλάδος  
Στεργιοπούλου Σ., Γεωπόνος, Μ.Δ.Ε., Π.Θ.

## **Επιστημονική Επιτροπή**

Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Αναστασιάδου - Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.  
Γέμτος Θ., Αναπλ. Καθηγητής Π.Θ.  
Γιαννόπουλος Σ., Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Δαλέζιος Ν., Καθηγητής Π.Θ.  
Δαναλάτος Ν., Λέκτορας Π.Θ.  
Ζήσης Θ., Αναπλ. Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Θεοδωρίκας Σ., Καθηγητής Π.Θ.  
Καραμούζης Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Καραντούνιας Γ., Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α.  
Κερκίδης Π., Καθηγητής Γ.Π.Α.  
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.  
Κορίτσης Σ., Καθηγητής Γ.Π.Α.  
Λαμπρινός Γ., Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α.  
Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Μήτσος Ι., Καθηγητής 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., Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.  
Παπαμιχαήλ Δ., Αναπλ. Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Πιτσιλής Π., Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α.  
Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.  
Σακκάς Ι., Καθηγητής Δ.Π.Θ.  
Σιδηράς Ν., Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α.  
Τερζίδης Γ., Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Τζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.  
Τζώρτζιος Σ., Αναπλ. Καθηγητής Π.Θ.  
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

## ***Κριτές Επιστημονικών Εργασιών***

Αναστασιάδου – Παρθενίου Ε., Αντωνόπουλος Β., Γέμτος Θ., Γεωργακάκης Δ., Γιαννόπουλος Σ., Δαλέζιος Ν., Δαναλάτος Ν., Δημητρίου Ι., Θεοδωρίκας Σ., Θεοδώρου Α., Καραθάνος Β., Καραμούζης Δ., Καραντούνιας Γ., Καρυώτης Θ., Κερκίδης Π., Κίττας Κ., Κοσμάς Κ., Λαμπρινός Γ., Μαρτζόπουλος Γ., Μήτσιος Ι., Μισοπολινός Ν., Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Μπριασούλης Δ., Νάνος Γ., Νικήτα – Μαρτζοπούλου Χ., Παπαδάκης Γ., Παπαδόπουλος Α., Παπαμιχαήλ Δ., Παρισσόπουλος Γ., Πατέρας Δ., Πιτσιλής Π., Σακελλαρίου – Μακρραντωνάκη Μ., Σιδηράς Ν., Τερζίδης Γ., Τζιμόπουλος Χ., Τζώρτζιος Σ., Τσαντήλας Χ., Τσατσαρέλης Κ., Τσιακάρας Π.

## ***Γραμματεία Συνεδρίου***

Ροϊδη Φ., Αγγελάκη Α., τηλ. (0421) 74327, 74317  
fax : (0421) 74324, 74317  
e-mail : msak@arg.uth.gr

## ***Χορηγοί του 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου της Ε.Γ.Μ.Ε.***

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  
Δήμος Βόλου  
Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΓΕΩΤ.Ε.Ε.)  
Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τμήμα Μαγνησίας (Τ.Ε.Ε.)  
ΑΓΡΕΚ, Θερμοκήπια  
ΑΓΡΟΔΟΜΗ, Συστήματα Άρδευσης  
PIPE LIFE HELLAS A.E., Βιομηχανία Πλαστικών Σωλήνων  
Παντελής Παπαδόπουλος Α.Ε.Β.Ε., Μηχανήματα  
Παύλος Ι. Κοντέλλης Α.Ε.Β.Ε., Εισαγωγές Μηχανημάτων – Αυτοκινήτων  
Σύνδεσμος Εισαγωγέων – Αντιπροσώπων Μηχανημάτων  
Ένωση Κατασκευαστών Γεωργικών Μηχανημάτων  
Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης & Αποχέτευσης Λάρισας (Δ.Ε.Υ.Α.Λ.)

## ***Οικονομική ενίσχυση για το 2<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο της Ε.Γ.Μ.Ε.***

Νομαρχία Ν. Μαγνησίας  
Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.)  
NETAFIM A.E., Εξοπλισμός & Συστήματα Άρδευσης  
MONSANTO ΕΛΛΑΣ Ε.Π.Ε., Γεωργικά Φαρμακευτικά

## ***Εκθέτες***

SGIENTACT A.E., Περιβαλλοντικός & Εργαστηριακός Εξοπλισμός  
ΕΒΟΞ Α.Ε. – ΑΦΟΙ ΖΗΚΑ Ο.Ε.  
PIPE LIFE HELLAS A.E., Βιομηχανία Πλαστικών Σωλήνων  
ΑΓΡΟΔΟΜΗ, Συστήματα Άρδευσης  
ROTEX A.E., Αντλητικές Μηχανές  
NAAN, Συστήματα Αρδέσεων  
Παντελής Παπαδόπουλος Α.Ε.Β.Ε., Μηχανήματα  
Παύλος Ι. Κοντέλλης Α.Ε.Β.Ε., Εισαγωγές Μηχανημάτων – Αυτοκινήτων  
Σύνδεσμος Εισαγωγέων – Αντιπροσώπων Μηχανημάτων  
Ένωση Κατασκευαστών Γεωργικών Μηχανημάτων

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΣΗΓΗΤΩΝ

- Ακριτίδης Κ.  
Αλεξίου Ι.  
Αλεξοπούλου Ε.  
Αναστασιάδου – Παρθενίου Ε.  
Αντωνόπουλος Β.  
Αρβανίτης Κ.  
Αριστοπούλου Α.  
Βασιλειάδης Λ.  
Βλειώρας Δ.  
Βλειώρας Σ.  
Βύργλας Π.  
Γαλάνης Μ.  
Γάτσιος Φ.  
Γέμτος Θ.  
Γεωργίου Π.  
Γεωργούσης Χ.  
Γιαγλάρας Π.  
Γιακουμάκης Σ.  
Γιαννόπουλος Σ.  
Γκόλια Ε.  
Γούλας Χ.  
Δαλέζιος Ν.  
Δαναλάτος Ν.  
Δέρκας Ν.  
Δερμίσσης Β.  
Δήμας Ε.  
Δημητριάδης Α.  
Δημητρίου Ι.  
Δομενικιώτης Χ.  
Ευθυμιάδης Π.  
Ζαλίδης Γ.  
Ζέρβα Γ.  
Ζήσης Θ.  
Θεοδώρου Α.  
Θεοχάρης Μ.  
Θεοχαρόπουλος Σ.  
Καβαδάκης Γ.  
Καβαλάρης Χ.  
Κάβουρας Σ.  
Καλαϊτζίδου – Πάικου Ν.  
Καλφούντζος Δ.  
Καραγιάννη – Χρήστου Μ.  
Καραϊβάζογλου Π.  
Καραμάνης Μ.  
Καραμούζης Δ.  
Καραμούτης Χ.  
Καραντούνας Γ.  
Καραρίζος Π.  
Κατσούλας Ν.  
Κίττας Κ.  
Κλάδης Γ.  
Κοζής Γ.  
Κουλουμπής Π.  
Κουμπουλής Φ.  
Κουτσομήτρος Σ.  
Κυλινδρής Θ.  
Κυρίτσης Σ.  
Κωτσόπουλος Σ.  
Λαμπρινός Γ.  
Λέλλης Θ.  
Λεμπέσης Γ.  
Λόης Δ.  
Λουκάς Α.  
Λουλούδη Α.  
Λουλούδη Β.  
Λύκας Χ.  
Μαλιδέρου Ε.  
Μανωλιάδης Ο.  
Μανωλοπούλου Ε.  
Μαρτζόπουλος Γ.  
Μασλάρης Ν.  
Μητρόπουλος Δ.  
Μήτσιος Ι.  
Μήτσιου Χ.  
Μιμίδης Θ.  
Μισοπολινός Ν.  
Μπαλόπουλος Ε.  
Μπαμπατζιμόπουλος Χ.  
Μπαρμπαγιάννης Ν.  
Μπαρτζάνας Θ.  
Μπερμπερίδης Κ.  
Μπιλάλης Δ.  
Μπόγδανος Κ.  
Μπράμπα Δ.  
Μπριασούλης Δ.  
Μυστριώτης Α.  
Νάματοβ Ε.  
Νατιώτη Ε.  
Νάτσης Α.  
Νικήτα – Μαρτζοπούλου Χ.  
Νικολάου Α.  
Νούσιος Γ.



Ντιούδης Π.  
Ντόντορος Δ.  
Παναγάκης Π.  
Παναγιωτόπουλος Κ.  
Πανούτσου Κ.  
Παπαγιαννοπούλου Α.  
Παπαδάκης Γ.  
Παπαδόπουλος Α.  
Παπαδόπουλος Φ.  
Παπαθανασίου Ι.  
Παπαμιχαήλ Δ.  
Παπανίκος Ν.  
Παπατόλιος Κ.  
Παρισόπουλος Γ.  
Πασγιάνος Γ.  
Πεχλιβανίδης Γ.  
Πιτσιλής Ι.  
Ρίζου Ζ.  
Ροσμαράκης Σ.  
Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη Μ.  
Σαραντόπουλος Δ.  
Schettini Ε.  
Σερσελούδης Χ.  
Σιγριμής Ν.  
Σιδηράς Ν.  
Σκαρπέτης Μ.  
Σπυρίδης Α.

Σταθάκος Θ.  
Σταματοπούλου Ι.  
Σταυρόπουλος Δ.  
Στεργιοπούλου Σ.  
Talab Τ.  
Τάσιου Δ.  
Τερζούδη Χ.  
Τζανετοπούλου Ι.  
Τζιμόπουλος Χ.  
Τζώρτζιος Σ.  
Τσάμης Π.  
Τσάτσα Α.  
Τσατσαρέλης Κ.  
Τσιρογιάννης Ι.  
Τσιώτας Κ.  
Τσουλουχά Φ.  
Φαρσιρώτου Ε.  
Fatnassi Η.  
Φείδαρος Δ.  
Φλωράς Σ.  
Φλώρου Ε.  
Φόνσος Μ.  
Φουντάς Σ.  
Χατζηγιαννάκης Ε.  
Χρηστίδου Σ.  
Χριστοδούλου Ε.  
Ψόχιου Ε.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

### ΕΝΟΤΗΤΑ 1<sup>η</sup> ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

«Εμπειρικά και θεωρητικά μοντέλα που προσδιορίζουν τη θραύση χωμάτινων φραγμάτων».....	17
<b>Χ. Τζιμόπουλος, Α. Σπυρίδης</b>	
«Σύγκριση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων με τη βοήθεια εκτιμήσεων πλημμυρικών απορροών».....	26
<b>Δ. Παπαμιχαήλ, Π. Γεωργίου, Δ. Καραμούζης</b>	
«Εκτίμηση της πιθανότητας επανεμφάνισης των ροών αιχμής ορεινών λεκανών απορροής».....	34
<b>Α. Λουκάς, Α. Βασιλειάδης, Χ. Δομενικιώτης, Ν. Δαλέζιος</b>	
«Αρδευτικές διώρυγες διαφορικής τραχύτητας».....	42
<b>Ι. Δημητρίου</b>	
«Παροχές σχεδιασμού σε σχέση με τη μείωση της δασικής βλάστησης στην Ανατολική Αττική».....	50
<b>Σ. Γιακουμάκης, Σ. Ροσμαράκης, Μ. Φόνσος</b>	
«Αριθμητική προσομοίωση ελεύθερης επιφάνειας σε υδατορρέυματα μεταβαλλόμενης διατομής».....	60
<b>Ε. Φαρσιρώτου</b>	
«Αδιάστατα διαγράμματα υπολογισμού παροχής σε παραβολική διώρυγα με ελεύθερη υδατόπτωση».....	68
<b>Ε. Χατζηγιαννάκης, Ε. Αναστασιάδου – Παρθενίου</b>	
«Επίδραση των αναβαθμών στην κίνηση του νερού της θάλασσας προς το υδατόρευμα».....	77
<b>Γ. Πεγλιβανίδης, Β. Δερμίσης</b>	
«Περιβαλλοντικοί δείκτες για πολυκριτηριακή διαχείριση αρδεύσεων στο αγροτεμάχιο».....	85
<b>Ο. Μανωλιάδης</b>	
«Πειραματικές διαδικασίες διήθησης – στράγγισης σε στρωματοποιημένα εδάφη».....	93
<b>Δ. Καλφούντζος, Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Χ. Τζιμόπουλος</b>	
«Τεχνητός εμπλουτισμός υδροφορέα λεκάνης Ολυνθίου».....	101
<b>Θ. Ζήσης, Ν. Καλαϊτζίδου – Πάικου, Δ. Καραμούζης</b>	
«Αλγόριθμος προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης της εδαφικής υγρασίας ακόρεστου πορώδους μέσου με διπλό πορώδες».....	109
<b>Σ. Γιαννόπουλος, Χ. Τζιμόπουλος</b>	
«Εκτίμηση οριακών βρόχων υστέρησης - Αναλυτική και πειραματική προσέγγιση του τριβλήματος».....	117
<b>Χ. Τζιμόπουλος, Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Σ. Στεργιοπούλου</b>	

«Στοχαστική μελέτη του υδατικού ισοζυγίου ενός καλλιεργούμενου εδάφους».....	124
<b>Χ. Γεωργούσης, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος</b>	
«Σύγκριση υπολογισμένων τιμών δυναμικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών με τις εξισώσεις Penman και Penman - Monteith» .....	133
<b>Ι. Αλεξίου, Σ. Κωτσόπουλος, Γ. Ζέρβα, Π. Βύρλας</b>	
«Ανάπτυξη συστήματος μέτρησης υδραυλικών χαρακτηριστικών σταλάκτη και σταλακτηφόρου σωλήνα» .....	141
<b>Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος, Δ. Λόης</b>	
«Διατάξεις άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων».....	149
<b>Π. Ντιούδης, Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Ν. Μασλάρης, Γ. Νούσιος</b>	
«Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων».....	157
<b>Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Δ. Καρφούντζος, Ν. Παπανίκος</b>	

## ΕΝΟΤΗΤΑ 2<sup>η</sup> ΕΝΕΡΓΕΙΑ

«Ενεργειακές εισροές – εκροές κύριων καλλιεργειών της χώρας μας».....	167
<b>Κ. Τσατσαρέλης</b>	
«Προσομοίωση ξηραντηρίου μηδικής σε σωρό μεγάλου βάθους».....	177
<b>Κ. Ακριτιδής, Α. Δημητριάδης</b>	
«Εξοικονόμηση ενέργειας σε ξηραντήρια με μερική ανάκτηση της λανθάνουσας θερμότητας».....	187
<b>Α. Δημητριάδης, Κ. Ακριτιδής, Κ. Αρβανίτης</b>	
«Αξιολόγηση της ανάπτυξης και παραγωγικότητας οκτώ γενότυπων σόργου για παραγωγή βιομάζας και ενέργειας» .....	197
<b>Α. Νικολάου, Ε. Νάματοβ, Γ. Καβαδάκης, Κ. Τσιώτας, Κ. Πανούτσου, Ν. Δαναλάτος</b>	
«Ανάπτυξη και παραγωγικότητα βιομάζας και σακχάρων καλλιέργειας γλυκού σόργου (cv. Keller) στην Κεντρική Ελλάδα» .....	205
<b>Γ. Καβαδάκης, Α. Νικολάου, Ε. Αλεξοπούλου, Ε. Νατιώτη, Χ. Μήτσιου, Κ. Πανούτσου, Ν. Δαναλάτος</b>	
«Νέες τεχνικές ελέγχου ασταθών βιολογικών αντιδραστήρων επεξεργασίας βιομάζας: Θεωρία και προσομοίωση» .....	213
<b>Κ. Αρβανίτης, Ν. Σιγριμής, Γ. Πασγιάνος</b>	
«Επίδραση της θερμοκορτίνας στην ενεργειακή συμπεριφορά του θερμοκηπίου» .....	221
<b>Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας, Π. Γιαγλάρας, Μ. Καραμάνης, Χ. Λύκας</b>	
«Ενεργειακά ισοζύγια ζαχαρότευτλων με 4 μεθόδους μειωμένης κατεργασίας του εδάφους» .....	229
<b>Χ. Καβαλάρης, Θ. Γέμτος, Ι. Παπαθανασίου, Χ. Καραμούτης, Χ. Γούλας</b>	

«Εξοικονόμηση ενέργειας κατά τον σχεδιασμό και τη μελέτη μιας ηυκτικής εγκατάστασης».....	237
<b>Δ. Ντόντορος, Γ. Λαμπρινός</b>	

### ΕΝΟΤΗΤΑ 3<sup>η</sup> ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

«Μελέτη διάβρωσης των εδαφών της Κεντρικής Ελλάδας» .....	247
<b>Σ. Θεοχαρόπουλος, Ε. Φλώρου, Φ. Τσουλουχά, Μ. Καραγιάννη - Χρήστου, Π. Κουλουμπής, Σ. Χρηστίδου</b>	
«Εκτίμηση της επίδρασης των καλλιεργητικών τεχνικών βαμβακιού στην διάβρωση του εδάφους» .....	255
<b>Χ. Τερζούδη, Θ. Γέμος</b>	
«Επίπεδα συγκέντρωσης βορίου σε εδάφη καλλιεργούμενα με καπνό και νερά άρδευσης της Θεσσαλίας».....	263
<b>Ι. Μήτσιος, Ε. Γκόλια, Ζ. Ρίζου</b>	
«Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων σε εδάφη και νερά άρδευσης της περιοχής Θεσσαλίας» .....	271
<b>Ι. Μήτσιος, Ε. Γκόλια, Ε. Χριστοδούλου</b>	
«Αλάτωση και νατρίωση εδαφών. Προσέγγιση του προβλήματος μελέτης και βελτίωσης με αριθμητικές μεθόδους».....	281
<b>Ν. Μισοπολινός</b>	
«Ποιότητα του εδάφους : Μια νέα οπτική προσέγγισης και διαχείρισης των εδαφικών πόρων» .....	289
<b>Ν. Μισοπολινός, Γ. Ζαλίδης, Κ. Παναγιωτόπουλος</b>	
«Η επίδραση της μηχανικής διατάραξης στη διασπορά της αργίλου τεσσάρων Alfisols από τη Βόρεια Ελλάδα» .....	297
<b>Κ. Παπατόλιος, Κ. Παναγιωτόπουλος, Ν. Μπαρμπαγιάννης</b>	
«Εκτίμηση της ποιότητας των νερών άρδευσης και προβλήματα αλατότητας και νατρίωσης σε εδάφη του Ν. Μαγνησίας» .....	305
<b>Ι. Μήτσιος, Φ. Γάτσιος, Σ. Φλωράς</b>	
«Διαθεσιμότητα εδαφικού φωσφόρου σε αντιπροσωπευτικές χαρτογραφικές μονάδες της Θεσσαλίας».....	312
<b>Ι. Μήτσιος, Ι. Σταματοπούλου, Α. Τσάτσα</b>	

### ΕΝΟΤΗΤΑ 4<sup>η</sup> ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

«Πειραματική διερεύνηση της σκίασης με δέντρα για έλεγχο της θερμοκρασίας σε κτίρια».....	323
<b>Γ. Παπαδάκης, Π. Τσάμης, Ε. Μαλιδέρου, Σ. Κυρίτσης</b>	

«Δίχτυα εντομοστεγανότητας σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Ανάλυση του συστήματος και ανασκόπηση» .....	331
<b>Π. Γιαγλάρας, Θ. Μπαρτζάνας, Κ. Κίττας</b>	
«Υπολογισμός θερμικής απόδοσης ενός παθητικού και ενός υβριδικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης θερμοκηπίων».....	340
<b>Χ. Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Τ. Talab, Γ. Μαρτζόπουλος</b>	
«Επίδραση κρίσιμων παραγόντων στη γήρανση φιλμ πολυαιθυλενίου (LDPE) κατά τη χρήση του ως υλικού κάλυψης θερμοκηπίου» .....	350
<b>Α. Αριστοπούλου, Δ. Μπριασούλης</b>	
«Αριθμητική προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς LDPE φύλλων θερμοκηπίου» .....	358
<b>Δ. Μπριασούλης, Ε. Schettini</b>	
«Προσομοίωση της ροής του φυσικού αερισμού θερμοκηπίου».....	366
<b>Θ. Μπαρτζάνας, Η. Fatnassi, Δ. Φείδαρος, Ν. Βλάχος, Κ. Κίττας</b>	
«Υλοποίηση σε μικροελεγκτή αλγόριθμου ελέγχου θερμοκρασίας θερμοκηπίου».....	374
<b>Φ. Κουμπουλής, Μ. Σκαρπέτης, Π. Γιαγλάρας, Κ. Κίττας</b>	
«Αριθμητική προσομοίωση της κατανομής ανεμοπιέσεων σε θερμοκηπιακές κατασκευές» .....	382
<b>Α. Μυστριώτης, Δ. Μπριασούλης</b>	
«Κρίσιμοι συνδυασμοί φορτίσεων για τυπική Ελληνική θερμοκηπιακή κατασκευή, στα πλαίσια του κανονισμού prEN 13031-1:1999. Πρώτη προσέγγιση» .....	390
<b>Ι. Τσιρογιάννης, Δ. Μπριασούλης</b>	
«Διαπνοή και στοματική αγωγιμότητα φυτών τριανταφυλλιάς. Μετρήσεις με πορόμετρο».....	398
<b>Σ. Κάβουρας, Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας</b>	
«Η ανεμοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες» .....	406
<b>Μ. Θεοχάρης</b>	

## ΕΝΟΤΗΤΑ 5<sup>η</sup>

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ – ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

«Ο παγκόσμιος ιστός ως εργαλείο ενίσχυσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας στη Γεωργική Μηχανική. Εφαρμογή: Διδασκαλία του μαθήματος «Διαχείρισης μικροκλίματος θερμοκηπίου» .....	417
<b>Μ. Καραμάνης, Κ. Κίττας</b>	
«Εκτίμηση του χρόνου συλλογής με μέτρηση αναπνοής στον αγρό» .....	425
<b>Δ. Μητρόπουλος, Γ. Κοζής, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Λαμπρινός</b>	
«Αφυδάτωση μήλων ποικιλιών Delicious Pilafa και Granny Smith κατά την απόθιξη».....	433
<b>Δ. Μητρόπουλος, Γ. Λαμπρινός</b>	

«Μεταβολή του χρώματος μήλων Delicious Pilafa και Granny Smith που συντηρούνται σε αποθήκη».....	441
<b>Δ. Μητρόπουλος, Γ. Λαμπρινός</b>	
«Εκτίμηση βάρους νεαρών χοιριδίων με χρήση τεχνικών επεξεργασίας εικόνας» .....	449
<b>Π. Παναγάκης, Κ. Μπερμπερίδης, Δ. Μπριασούλης, Π. Καραϊβάζογλου, Ε. Δήμας</b>	
«Πολυμεταβλητός έλεγχος υγρασίας και θερμοκρασίας σε καταναμημένο σύστημα γεωργικών μονάδων».....	457
<b>Φ. Κουμπουλή, Μ. Σκαρπέτης, Π. Γιαγλάρας, Κ. Κίττας</b>	

## ΕΝΟΤΗΤΑ 6<sup>η</sup> ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

«Όργανα για μέτρηση απορροφόμενης ισχύος από παρελκόμενα ενός ελκυστήρα».....	465
<b>Θ. Γέμτος, Ι. Παπαθανασίου, Θ. Κυλινδρή, Χ. Καραμούτης</b>	
«Επίδραση του βαθμού συμπίεσης του εδάφους της αρχικής υγρασίας και της θερμοκρασίας, στην βλάστηση και την αρχική ανάπτυξη του βαμβακιού» .....	473
<b>Θ. Λέλλης, Α. Λουλούδη, Β. Λουλούδη</b>	
«Σύγκριση της απόδοσης των μηχανημάτων για κατεργασία εδάφους συμβατική και σε αναχώματα» .....	481
<b>Θ. Σταθάκος, Θ. Γέμτος</b>	
«Επανασχεδιασμός βαρέως καλλιεργητή με σκοπό τη βελτίωση της αποδιδόμενης εργασίας» .....	489
<b>Ι. Παπαθανασίου, Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Θ. Γέμτος</b>	
«Πειραματική μελέτη της επίδρασης του προϋνίου και της μάχαιρας αρότρου στην ποιότητα άροσης και στην κατανάλωση ενέργειας» .....	497
<b>Α. Νάτσης, Γ. Παπαδάκης, Ι. Πιτσιλής</b>	
«Ανάπτυξη συστήματος μέτρησης ελκτικής ισχύος γεωργικών και δασικών ελκυστήρων» .....	502
<b>Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος, Δ. Λόης, Χ. Σερσελούδης, Γ. Κλάδης</b>	
«Επίδραση τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας σε εδαφικά και φυτικά χαρακτηριστικά σε καλλιέργεια βαμβακιού» .....	510
<b>Δ. Μπιλάλης, Ν. Σιδηράς, Π. Ευθυμιάδης</b>	
«Αξιοπιστία μηχανικών μέσων μετατόπισης του ξύλου» .....	519
<b>Π. Καραρίζος</b>	
«Διαχείριση ζιζανίων σε συστήματα μειωμένης κατεργασίας εδάφους. Εμπειρία από εφαρμογή τους στην Ελλάδα» .....	527
<b>Μ. Γαλάνης</b>	
«Απόψεις Βρετανών γεωργών για τη συμβολή του Precision Farming στη διαχείριση καλλιεργειών» .....	535
<b>Σ. Φουντάς</b>	

## ΕΝΟΤΗΤΑ 7<sup>η</sup> ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

«NO <sub>3</sub> σε νερό και σε λαχανικά. Υπάρχει σχέση; » .....	545
<b>Σ. Βλειώρας, Δ. Τάσιου, Δ. Βλειώρας</b>	
«Προσεγγίσεις για την εκτίμηση της ρύπανσης των ρεμάτων του Νομού Μαγνησίας από γεωργικές και άλλες δραστηριότητες».....	553
<b>Ι. Μήτσιος, Φ. Γάτσιος, Δ. Σαραντόπουλος</b>	
«Η σημασία των αγρομετεωρολογικών δεικτών στην εξέλιξη της καλλιέργειας του σιταριού στην περιοχή της Λάρισας» .....	561
<b>Ν. Δαλέζιος, Χ. Δομενικιώτης, Σ. Τζώρζιος, Α. Λουκάς, Ι. Τζαντοπούλου</b>	
«Χωροχρονικές διακυμάνσεις του Βενθικού οικοσυστήματος στον Αμβρακικό κόλπο» .....	569
<b>Κ. Μπόγδανος, Γ. Λεμπέσης, Ε. Ψόχιου, Δ. Μπράμπα, Α. Θεοδώρου, Ε. Μπαλόπουλος</b>	
«Το πρόβλημα της ρύπανσης των υπόγειων εδαφικών και υδρολιθολογικών σχηματισμών από τη διακίνηση καυσίμων - Ο ρόλος των οριζόντιων γεωτρήσεων» .....	577
<b>Θ. Μιμίδης, Σ. Κουτσομήτρος, Δ. Σταυρόπουλος</b>	
«Επιφανειακές στρώσεις λυμάτων από εναλλασσόμενα στόμια» .....	585
<b>Ι. Δημητρίου</b>	
«Μείωση του BOD <sub>5</sub> αστικών υγρών αποβλήτων με δεξαμενές σταθεροποίησης».....	591
<b>Α. Παπαδόπουλος, Φ. Παπαδόπουλος, Γ. Παρισόπουλος</b>	
«Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εγγειοβελτιωτικών έργων Πηνειού Ηλείας στον προστατευόμενο βιότοπο της λιμνοθάλασσας Κοτυχίου και τα έργα αποκατάστασής του».....	598
<b>Γ. Καραντούνιας, Ν. Δέρκας</b>	
«Μεθοδολογία εκτίμησης του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων νερών από την εφαρμογή φυτοφαρμάκων εδάφους» .....	606
<b>Β. Αντωνόπουλος</b>	

# *Υδατικοί Πόροι*





# ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΧΩΜΑΤΙΝΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.

Χρήστος Τζιμόπουλος<sup>1</sup>-Ανθimos Σπυρίδης<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης-Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καταστροφή ενός φράγματος αποτελεί το σοβαρότερο πρόβλημα στην ιστορία του, διότι αφενός μεν καταστρέφεται πλήρως ένα μεγάλο παραγωγικό και δημιουργικό έργο χωρίς τη δυνατότητα αμέσου επεμβάσεως για την αποκατάστασή του, αφετέρου δε δημιουργούνται σοβαρές επιπτώσεις κατάντη με ανθρώπινα ενδεχομένως θύματα και με τεράστιες υλικές ζημιές. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η καταστροφή των χωμάτινων φραγμάτων, δίνοντας μια συνοπτική εικόνα τόσο των εμπειρικών τύπων που έχουν προταθεί όσο και αναλυτικών μοντέλων βασισμένων στην εξίσωση συνεχείας του νερού στον ταμευτήρα του φράγματος και σε εξίσωση που περιγράφει τη διάβρωση των πρανών, με εφαρμογή στο φράγμα τής Παπαδιάς.

## DAM BREACH EMPIRICAL AND ANALYTICAL MODELS-THE CASE OF EARTHFILL DAMS

C. Tzimopoulos<sup>1</sup>,A. Spyrides<sup>1</sup>

1. Aristotle University of Thessaloniki. Dep. of Rural Engineering.

## SUMMARY

During the dam failure catastrophic flooding occurs and the impounded water escapes through the breach into the downstream valley. The dam failure may also result in loss of human life and property. In the last years dams' failure in the world have been too many and the resulting loss too high. In this paper a summary of the theory of dams' failure is given, especially in the case of earthfill dams, describing some empirical models as well as analytical one. Finally it is given the outflow hydrograph of the Papadias dam and a comparison is made between empirical and analytical models

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καταστροφή ενός φράγματος αποτελεί το σοβαρότερο πρόβλημα στην ιστορία του, διότι αφενός μεν καταστρέφεται πλήρως ένα μεγάλο παραγωγικό και δημιουργικό έργο χωρίς τη δυνατότητα αμέσου επεμβάσεως για την αποκατάστασή του, αφετέρου δε δημιουργούνται σοβαρές επιπτώσεις κατάντη με ανθρώπινα ενδεχομένως θύματα και με τεράστιες υλικές ζημιές. Πραγματικά όταν θραύεται ένα φράγμα απελευθερώνονται τεράστιες ποσότητες νερού σε μικρό χρονικό διάστημα, δημιουργώντας πλημμυρικά κύματα, τα οποία και προκαλούν ανυπολόγιστες καταστροφές κατάντη σε πολιτικές και στρατιωτικές εγκαταστάσεις. Είναι δυνατόν οι καταστροφές αυτές να αποτελέσουν μια εθνική καταστροφή, να επηρεάσουν την εθνική οικονομία και να επηρεάσουν επίσης την έκβαση ενός πολέμου. Ο Singh(1996) αναφέρει την περίπτωση 1000 καταστροφών σε φράγματα από τον 12<sup>ο</sup> αιώνα και έπειτα, από τις οποίες οι 200 συνέβησαν τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, προκαλώντας την απώλεια 8000 ανθρώπων και ζημιές εκατομμυρίων δολαρίων. Η ετήσια πιθανότητα της καταστροφής ενός φράγματος εκτιμήθηκε σε  $10^{-1}$  και η πιθανότητα της καταστροφής του φράγματος κατά τη διάρκεια της ζωής του (100 χρόνια) εκτιμήθηκε σε  $10^{-2}$  (Singh, 1996).

Οι μηχανισμοί της θραύσεως ενός φράγματος δεν είναι ακριβώς γνωστοί είτε πρόκειται για φράγματα από σκυρόδεμα είτε πρόκειται για χωμάτινα φράγματα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μέχρι και το 1973 περίπου οι ερευνητές μηχανικοί θεωρούσαν ότι η θραύση ενός φράγματος συμβαίνει ακαριαία. Έτσι ερευνητές όπως ο Ritter (1892), Rí (1946), Dressler (1954), Stoker (1957), Su and Barnes (1970) και Sakkas and Strelkoff (1973) δέχθηκαν ότι η θραύση περικλείει όλο το φράγμα και συμβαίνει ακαριαία. Άλλοι ερευνητές όπως ο Schocklitsch (1917), και το U.S. Army Corps of Engineers (1960) αναγνώρισαν την ανάγκη να δεχθούν μερική μάλλον παρά πλήρη θραύση. Εντούτοις και αυτοί αποδέχτηκαν ότι η θραύση συμβαίνει ακαριαία. Οι παραδοχές για στιγμιαία και πλήρη θραύση έγιναν για λόγους συμφωνίας με ορισμένες μαθηματικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν για την ανάλυση των πλημμυρικών κυμάτων, που προέρχονταν από τη θραύση του φράγματος. Οι παραδοχές αυτές είναι κατάλληλες ίσως για την περίπτωση των τοξωτών φραγμάτων από σκυρόδεμα, αλλά είναι εντελώς ακατάλληλες για την περίπτωση χωμάτινων φραγμάτων και φραγμάτων βαρύτητας από σκυρόδεμα.

Οι Fread and Harbaugh (1973) για πρώτη φορά θεώρησαν ότι το φράγμα θραύεται προοδευτικά μέσα σε  $s^7$  ένα χρονικό διάστημα  $t$  κατά το οποίο ο πυθμένας παίρνει μια τελική τιμή  $b$  και η διατομή του είναι τραπεζοειδής, η τιμή δε του  $b$  εξαρτιέται από τα υλικά του φράγματος και από τον τρόπο και το βαθμό συμπύκνωσης των υλικών.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης της καταστροφής χωμάτινων φραγμάτων, δίνοντας μια συνοπτική εικόνα τόσο των εμπειρικών τύπων που έχουν προταθεί όσο και αναλυτικών μοντέλων βασισμένων στην εξίσωση συνεχείας του νερού στον υδροσταμιευτήρα του φράγματος και σε εξίσωση που περιγράφει τη διάβρωση των πρηνών, με εφαρμογή στο φράγμα τής Παπαδιάς.

## 2. ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.

### 2.1. Φράγματα από σκυρόδεμα.

Τα φράγματα βαρύτητας από σκυρόδεμα παρουσιάζουν μια μερική θραύση, καθόσον μια ή περισσότερες μονολιθικές διατομές που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής του φράγματος επιπονούνται από το νερό που διαφεύγει. Ο

χρόνος του σχηματισμού της θραύσης ανέρχεται σε λίγα λεπτά. Είναι βεβαίως δύσκολο κατά τον Fread(1992) να προβλέψει κανείς τον αριθμό των μονόλιθων που μπορεί να μετακινηθούν ή να καταστραφούν στα φράγματα βαρύτητας κατά τη διάρκεια της καταστροφής τους.

*Τα τοξωτά φράγματα από σκυρόδεμα έχουν την τάση να καταστρέφονται πλήρως και γίνεται αποδεκτό ότι ο σχηματισμός θραύσης απαιτεί μόνο λίγα λεπτά.*

## 2.2. Χωμάτινα φράγματα.

*Τα χωμάτινα φράγματα υπερέχουν αριθμητικά από τους άλλους τύπους φραγμάτων, δεν καταστρέφονται πλήρως ούτε η καταστροφή τους είναι ακαριαία. Κατά την ανάπτυξη της πλήρους θραύσεως παρουσιάζουν ένα μέσο πλάτος ( $\bar{b}$ ) που κυμαίνεται στα όρια:  $h_d < \bar{b} < 3h_d$ , όπου  $h_d$  είναι το ύψος του φράγματος.(Fread 1992). Τα πλάτη θραύσεως για τα χωμάτινα φράγματα είναι συνήθως πολύ μικρότερα από το ολικό μήκος του φράγματος, ενώ η θραύση χρειάζεται ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα για το σχηματισμό της, λόγω της διάβρωσης των υλικών του φράγματος από το διαφεύγον νερό. Ο ολικός χρόνος καταστροφής του φράγματος κυμαίνεται από λίγα λεπτά μέχρι λίγες ώρες, εξαρτώμενος από:*

- το ύψος του φράγματος,
- τον τύπο των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή,
- τον τρόπο και την ποιότητα κατασκευής,
- το μέγεθος και τη διάρκεια της υπερχειλίζουσας ροής του διαφεύγοντος νερού.

Ο χρόνος της καταστροφής είναι η διάρκεια του χρόνου από την εμφάνιση της θραύσης στο ανάντη πρηνές του φράγματος έως ότου η θραύση συντελεστεί πλήρως. Για καταστροφές από υπερχειλίση ως *έναρξη της δημιουργίας της θραύσεως θεωρείται όταν το καάντη πρηνές υφίσταται διάβρωση και η δημιουργηθείσα ρωγμή επεκταθεί δια μέσου της στέψης του φράγματος μέχρι το ανάντη πρηνές.*

Καταστροφές από διασωλήνωση συμβαίνουν όταν μια αρχική θραύση δημιουργείται σε κάποιο σημείο κάτω από τη στέψη του φράγματος λόγω διάβρωσης εσωτερικής από το διαφεύγον νερό, και δημιουργείται ένας αγωγός δια μέσου του φράγματος. Ο χρόνος της καταστροφής είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερος για την περίπτωση της διασωλήνωσης παρά για καταστροφές από υπερχειλίση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ανάντη πλευρά του φράγματος διαβρώνεται πολύ αργά κατά τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης της διασωλήνωσης.

## 2.3. Θραύση από υπερχειλίση

Οι Fread and Harbaugh (1973) θεωρούν ότι το φράγμα θραύεται προοδευτικά μέσα σ' ένα χρονικό διάστημα  $\tau$  κατά το οποίο ο πυθμένας παίρνει μια τελική τιμή  $b$  και η διατομή του είναι τραπεζοειδής με κλίσεις πρανών 1:Z (σχ. 1). Η τελική τιμή της παραμέτρου  $b$  συνδέεται με το μέσο πλάτος θραύσεως  $\bar{b}$  με την ακόλουθη σχέση:

$$b = \bar{b} - 0.5Zh_d \quad (1)$$

Στο προτεινόμενο μοντέλο γίνεται δεκτό ότι ο πυθμένας της θραύσης ξεκινά από ένα σημείο (σχ.1) και διευρύνεται με γραμμικό ή μη γραμμικό νόμο κατά τη διάρκεια του χρόνου ( $\tau$ ), έως ότου το τελικό πλάτος  $b$  αναπτυχθεί πλήρως και ο πυθμένας της θραύσης φθάσει λόγω διάβρωσης στο τελικό υψόμετρο  $h_{bm}$ . Το υψόμετρο του πυθμένα της θραύσης αποτελεί μια συνάρτηση του χρόνου ( $\tau$ ) που έχει την ακόλουθη έκφραση:

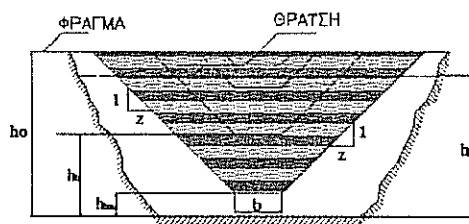
$$h_b = h_d - (h_d - h_{bm})(t_b/\tau)^p \quad \text{εάν } 0 < t_b \leq \tau. \quad (2)$$

Στην παραπάνω εξίσωση  $h_{bm}$  είναι το τελικό υψόμετρο του πυθμένα κατά τη θραύση που πολλές φορές συμπίπτει με τον πυθμένα του ταμιευτήρα,  $t_b$  είναι ο χρόνος

μετρούμενος από την έναρξη της θραύσης και  $\rho$  είναι μια παράμετρος που προσδιορίζει το βαθμό μη γραμμικότητας π.χ.  $\rho=1$  σημαίνει γραμμική αύξηση, ενώ  $\rho=2$  σημαίνει τετραγωνική αύξηση και η περιοχή διακύμανσης του  $\rho$  είναι  $1 \leq \rho \leq 4$ , ενώ συνήθως χρησιμοποιείται η γραμμική περίπτωση. Το στιγμιαίο πλάτος του πυθμένα ( $b_i$ ) της θραύσης δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$b_i = b(t_b/\tau)^\rho \quad \text{εάν } 0 < t_b \leq \tau. \quad (3)$$

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης της καταστροφής του φράγματος, ο σχηματισμός της θραύσης ενεργοποιείται μόλις το υψόμετρο της επιφάνειας του ταμιευτήρα ( $h$ ) υπερβεί μια καθορισμένη τιμή  $h_f$ . Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη δημιουργία μιας υπερχειλίζουσας ποσότητας νερού από το φράγμα που δεν δημιουργεί θραύση, έως ότου περάσει πάνω από την στέγη του φράγματος μια ικανή ποσότητα νερού για να προκαλέσει την θραύση.



Σχήμα 1

#### 2.4. Θραύση με διασωλήνωση

Η θραύση του φράγματος με διασωλήνωση εξομοιώνεται με την θραύση ενός ορθογωνίου επιστομίου, το οποίο διευρύνεται με το χρόνο και επικεντρώνεται σε οποιοδήποτε καθορισμένο υψόμετρο μέσα στο φράγμα. Η στιγμιαία ροή δια μέσου της θραύσης υπολογίζεται είτε με τις εξισώσεις του επιστομίου είτε με τις εξισώσεις του υπερχειλιστή.

#### 2.5. Εμπειρικοί τύποι.

Πρόσφατα παρουσιάστηκαν ορισμένοι στατιστικοί τύποι πρόβλεψης για το  $\bar{b}$  και για το χρόνο  $\tau$  από τους MacDonald and Langridge-Monopolis (1984) και τον Froelich (1987). Ο Froelich αναλύοντας τα χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων 43 φραγμάτων που εθραύστησαν και των οποίων το ύψος κυμαίνονταν μεταξύ 15 και 285 ft, πρότεινε τους ακόλουθους τύπους:

$$\bar{b} = 9.5k_o (V_r h_d)^{0.25}, \quad (4)$$

$$\tau = 0.8(V_r / h_d^2)^{0.5}, \quad (5)$$

όπου:  $\bar{b}$  = το μέσο πλάτος θραύσεως (ft),  $\tau$  = ο χρόνος καταστροφής (h),  $k_o=1.0$  για τη διασωλήνωση, 1.4 για υπερχειλίση,  $V_r$ =ο όγκος του ταμιευτήρα (acre-ft),  $h_d$ =το ύψος του νερού στον πυθμένα θραύσεως (συνήθως το ύψος του φράγματος, ft)

Ένας άλλος τρόπος για τον έλεγχο της ορθότητας των παραμέτρων θραύσεως ( $\bar{b}$  και  $\tau$ ) είναι η χρήση των ακόλουθων εξισώσεων (Fread, 1992):

$$Q_p^* = 370(V_r h_d)^{0.5} \quad (6)$$

$$Q_p = 3.16[C/(\tau + C/h_d^{0.5})]^3 \quad (7)$$

$$C = 23.4(A_s / \bar{b}) \quad (8)$$

όπου:  $Q_p^*$  = η αναμενόμενη παροχή αιχμής (cfs) δια μέσου της θραύσεως,  $Q_p$  = η αναμενόμενη παροχή αιχμής (cfs) δια μέσου της θραύσεως,  $V_r$  = ο όγκος του ταμιευτήρα (acre-ft),  $A_s$  = η επιφάνεια του ταμιευτήρα (acres) στη στέγη του φράγματος.

Η εξίσωση (6) αναπτύχθηκε από τον Hagen(1982) και βασίζεται σε μια σειρά ιστορικών δεδομένων 14 καταστροφών σε φράγματα, παρέχει δε ένα μέγιστο για όλες τις παρουσιασθείσες 14 παροχές. Οι εξισώσεις (7) και (8) αναπτύχθηκαν από τον Fread(1981) και χρησιμοποιήθηκαν στο NWS σε ένα απλοποιημένο μοντέλο της θραύσεως SMPDBK (Fread,1984). Μετά την επιλογή του  $\bar{b}$  η εξίσωση (7) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της  $Q_p$  και στη συνέχεια συγκρίνεται με την παροχή  $Q_p^*$ . Έτσι αν  $Q_p \gg Q_p^*$  τότε ή το  $\bar{b}$  είναι πολύ μεγάλο ή το  $\tau$  είναι πολύ μικρό.

Εάν τώρα  $Q_p \ll Q_p^*$  τότε ή το  $\bar{b}$  είναι πολύ μικρό ή το  $\tau$  είναι πολύ μεγάλο. Ο Fread απέδειξε ότι η εξίσωση (6) υπερεκτιμά την παροχή αιχμής κατά περίπου 130%.

### 3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

#### 3.1. Γενικότητες

Μια άλλη αντιμετώπιση των παραμέτρων της θραύσεως είναι η χρησιμοποίηση μοντέλων βασισμένων στην διάβρωση του φράγματος. Ο Cristofano(1965) επιχείρησε να μοντελοποιήσει τον εξαρτώμενο από το χρόνο σχηματισμό της θραύσεως σε χωμάτινα φράγματα. Εν τούτοις η διαδικασία αυτή απαιτεί κρίσιμες παραδοχές και εξειδικεύσεις αγνώστων παραμετρικών τιμών. Οι Harris and Wagner(1967) χρησιμοποίησαν μια σχέση μεταφοράς ιζημάτων για τον προσδιορισμό του χρόνου θραύσεως, αλλά η διαδικασία αυτή απαιτεί εξειδίκευση του μεγέθους της θραύσεως και της μορφής επί πλέον των άλλων δύο κρίσιμων παραμέτρων για τη σχέση της μεταφοράς ιζημάτων. Οι Ponce and Tsivoglou (1981) παρουσίασαν ένα μάλλον πεπλεγμένο υπολογιστικό μοντέλο διάβρωσης για τη θραύση, το οποίο συνδυάζει τις εξισώσεις μεταφοράς ιζημάτων των Meyer-Peter and Müller με τις διαφορικές εξισώσεις του Saint Venant και τη διατήρηση των ιζημάτων πλην όμως στην πράξη παρουσιάστηκαν αποκλίσεις. Πρόσφατα ο Fread(1984,1987) ανέπτυξε ένα μοντέλο διάβρωσης για χωμάτινα φράγματα. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε με βάση τη διατήρηση της μάζας από την εισροή στον ταμιευτήρα, την εκροή από τον υπερχειλιστή και την εκροή από τη διατομή θραύσεως, σε συνδυασμό με την ικανότητα μεταφοράς ιζημάτων της ασταθούς ομοιόμορφης ροής κατά μήκος ενός αγωγού που σχηματίζεται από τη διάβρωση. Το μοντέλο αυτό (BREACH) δεν έχει ακόμη ενσωματωθεί στο μοντέλο DAMBRK, διότι θα έπρεπε σύμφωνα με τον Fread να χρησιμοποιηθεί ακόμη με προσοχή σε πειραματικό στάδιο μέχρι να δεχθεί περαιτέρω βελτιώσεις.

#### 3.2. Μοντέλο του Singh.

Η θραύση του φράγματος μπορεί να μορφοποιηθεί με ένα μοντέλο διπλής φάσεως «ροής νερού-ροής ιζημάτων» με τη χρήση αφ' ενός του ισοζυγίου του όγκου νερού και αφ' ετέρου της αύξησης της διάβρωσης  $dz/dt$  σαν συνάρτησης της ταχύτητας δια μέσου της θραύσης. Το μοντέλο αυτό παρουσιάστηκε από τους Singh and Skarlatos(1985) και από τους Singh and Quironga(1987), Quironga and Singh (1987), Singh and Quironga(1988), Singh(1996). Οι βασικές αρχές του μοντέλου έχουν ως εξής:

α) Ισοζύγιο όγκου νερού

$$A_s dH/dt = -Q_b \quad (9)$$

β) Αύξηση της διάβρωσης

$$dz/dt = -\alpha u^\beta. \quad (10)$$

όπου  $A_s$  είναι η διατομή του ταμιευτήρα,  $H$  είναι το υψόμετρο της επιφάνειας του ταμιευτήρα από ένα επίπεδο αναφοράς,  $t$  είναι ο χρόνος και  $Q_b$  είναι η παροχή κατά τη θραύση του φράγματος. Επί πλέον  $z=z(t)$  είναι ο πυθμένας της θραύσης,  $u$  είναι η μέση ταχύτητα του νερού κατά την θραύση και  $\alpha[\text{ms}^{-1}]^{1-\beta}$ ,  $\beta[-]$  συντελεστές διάβρωσης. Η εξίσωση (9) ισχύει εφόσον η διαφορά μεταξύ της εισροής στον ταμιευτήρα και των εκροών υπεράνω του υπερχειλιστή του αγωγού εκκένωσης και του αγωγού υδροληψίας του υδροηλεκτρικού είναι πολύ μικρότερες από την παροχή θραύσεως. Όπως είναι επόμενο κατά τη διάρκεια του φαινομένου όλες οι εκροές περνούν ουσιαστικά από τη διατομή θραύσεως. Η παροχή θραύσεως είναι ίση με  $Q_b=uA_b$ , όπου  $A_b=η$  διατομή θραύσεως,  $u=[2gC_d^2(H-z)]^{1/2}$  και  $C_d$  είναι ο συντελεστής παροχής.

### α) Τριγωνική διατομή

Γραμμική περίπτωση,  $\beta=1$

$$Z(H) = 1 - 0.5\gamma C^2 \ln\left[\frac{(C+H)}{(C-H)}\right]\left[\frac{(C-1)}{(C+1)}\right] \quad (11)$$

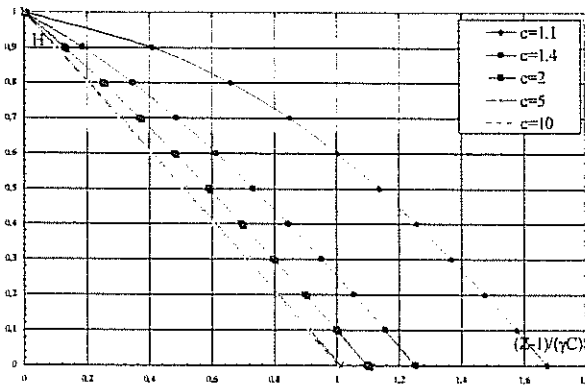
Η χρονική εξέλιξη του αδιάστατου βάθους ροής φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση (12) για  $\beta=1$ .

$$\alpha C_d (2g/h_0)^{1/2} t = -C^{1/2} \left[ \frac{1}{2} \ln\left(\frac{C^{1/2} + H^{1/2}}{C^{1/2} - H^{1/2}} \cdot \frac{C^{1/2} - 1}{C^{1/2} + 1}\right) \right] + \arctan\left(\frac{(H^{1/2} - 1)C^{1/2}}{H^{1/2} + C}\right) \quad (12)$$

όπου οι παράμετροι  $\gamma$ ,  $C$  δίνονται ως ακολούθως:

$$\gamma = h_0/z_0 > 1 \text{ και } C^2 = \alpha A_s (2gC_d^2 h_0)^{(\beta-1)\gamma^2} / (sh_0^2),$$

και  $s$  είναι η συνεφαπτομένη της γωνίας των πρανών της θραύσεως.



Σχ.2. Μεταβολή του αδιάστατου βάθους νερού ως προς το  $(Z-1)/(\gamma C)$ .

### β) Ορθογωνική διατομή

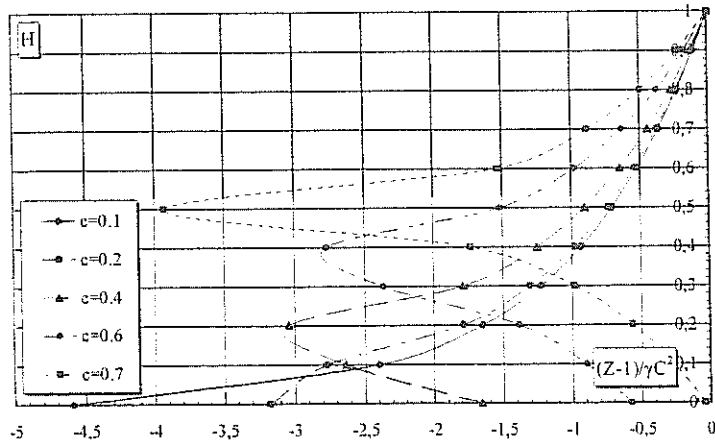
Γραμμική περίπτωση,  $\beta=1$

$$H=C^2+(1-C^2)\exp((Z-1)/(\gamma C^2)), \quad (13)$$

Η χρονική εξέλιξη του αδιάστατου βάθους ροής φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση (15) για  $\beta=1$ , όπου οι μεταβλητές  $\alpha_1$  και  $\beta_1$  είναι αδιάστατα μεγέθη και έχουν τις τιμές:

$$\alpha_1 = \frac{T_f h_0^{1/2} b}{A_s} (2gC_d^2)^{1/2}, \quad \beta_1 = T_f h_0^{\beta/2-1} \alpha (2gC_d^2)^{\beta/2}. \quad (14)$$

όπου  $\gamma=h_0/z_0$  και  $C^2=\alpha A_s/(2gbC_d^2)$ .

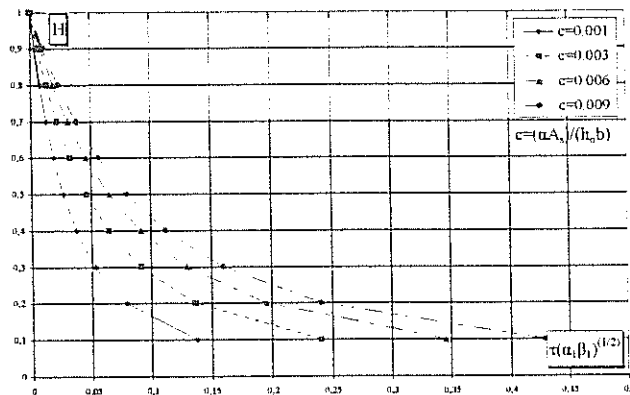


Σχ.3. Μεταβολή του αδιάστατου βάθους νερού ως προς το  $(Z-1)/(\gamma C^2)$ .

$$\sqrt{\alpha_1 \beta_1} \tau = \ln \left\{ \frac{\sqrt{\beta_1 / \alpha_1} - 1}{\sqrt{\beta_1 / \alpha_1} + 1} \cdot \frac{\sqrt{\beta_1 / \alpha_1} + H^{1/2}}{\sqrt{\beta_1 / \alpha_1} - H^{1/2}} \right\} \quad (15)$$

Στις παραπάνω σχέσεις είναι:

$$\beta_1 / \alpha_1 = \alpha A_s / h_0 b, \quad \sqrt{\alpha_1 \beta_1} = T_r (2gb\alpha C_d^2 / A_s)^{1/2} \quad (22)$$



Σχ. 4. Μεταβολή του H ως προς τον χρόνο τ.

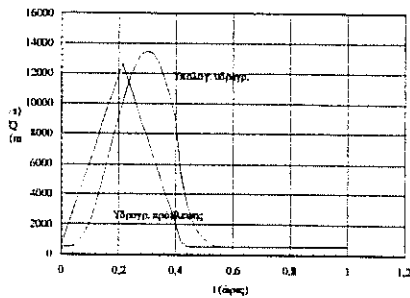
#### 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φράγμα της Παπαδιάς πρόκειται να κατασκευαστεί στην περιοχή Φλωρίνης με τα ακόλουθα δεδομένα:  $V_r = 14 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 11352 \text{ acre-ft}$ ,  $h_d = 61 \text{ m} = 200,141 \text{ ft}$ ,  $k_o = 1.4$ ,  $h_{bm} = 0$ ,  $A_s = 11352/200.141 = 57 \text{ acre}$ . Με βάση λοιπόν τους εμπειρικούς τύπους που προτείνει ο Fread προκύπτουν:

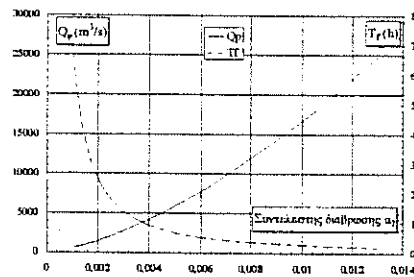
$\bar{b} = 516,36 \text{ ft} = 157,37 \text{ m}$ ,  $\tau = 0.425 \text{ h.}$ ,  $b = 516.36 \text{ ft} = 157.38 \text{ m}$ ,  $Q_p = 557706 \text{ cfs} = 15792 \text{ m}^3/\text{s}$ . Η τιμή αυτή διαιρείται δια 1.3 και τελικά προκύπτει  $Q_p = 12147 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Στο σχ. 5 φαίνεται το υδρογράφημα της θραύσεως για την περίπτωση του φράγματος της Παπαδιάς με χρόνο θραύσεως  $T_f=0.425$  h, ενώ στο σχ. 6 δίνεται η μεταβολή της παροχής θραύσεως  $Q_p$  σαν συνάρτηση του συντελεστή διάβρωσης  $\alpha$  καθώς και η μεταβολή του χρόνου θραύσης  $T_f$  σαν συνάρτηση του συντελεστή διάβρωσης  $\alpha$ , σύμφωνα με τη θεωρία του Singh. Από το σχ. 6 προκύπτει ότι για συντελεστή διάβρωσης  $\alpha_2=0.002$  η παροχή θραύσεως είναι  $Q_p=12000$  m<sup>3</sup>/s, ενώ ο χρόνος θραύσεως είναι  $T_f=0.35$  h. Επομένως το μοντέλο του Singh προσεγγίζει ικανοποιητικά την εμπειρική σχέση σε ότι αφορά την παροχή θραύσεως για τιμή διάβρωσης  $\alpha_2=0.002$ . Στο σχ. 5 δίνονται επίσης τα αποτελέσματα των υπολογισμών από το υδρογράφημα στην πρώτη διατομή καπάνη του φράγματος Παπαδιάς, όπως υπολογίστηκε από το πρόγραμμα του FREAD, DAMBRK. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό η υπολογισθείσα παροχή ισούται με  $Q_p=12916$  m<sup>3</sup>/s, δηλαδή υπάρχει μια μικρή απόκλιση περίπου 6% μεταξύ των δύο τιμών, ενώ ο χρόνος θραύσεως ανέρχεται σε 0,54 h, δηλαδή υπάρχει απόκλιση περίπου 21%.



Σχ.5.



Σχ.6

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cristofano, E.A. (1965). Method of computing rate for failure of earth fill dams. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, April.
2. Dressler, R.F. (1954). Comparison of theories and experiments for the hydraulic dam-break wave. Internat. Assoc. Sci. Pubs., 3, No.38, pp.319-328.
3. Fread,D.L. (1981). Some limitations of contemporary dam-break flood routing models, Preprint 81-525: Annual Meeting of American Society of Civil Engineers, Oct. 17,1982, St.Louis, Missouri ,Oct. 27, 15 pp.
4. Fread,D.L. (1984). A breach erosion model for earth dams, Proceedings of Speciality Conference on Delineation of Landslides, Flash Flood and Debris flow hazards in Utah State University, Logan, Utah, June 15,30 pp.
5. Fread,D.L. (1987). BREACH: An erosion model for earthen dam failures, Hydrologic Research Laboratory, NOAA, NWS, U.S. Department of Commerce, Silver Spring, Maryland, June, 34 pp.
6. Fread,D.L. (1992). The NWS DAMBRK model: Theoretical Background documentation, Haestad Methods, Inc. pp. 124.
7. Fread, D.L. and T.E. Harbaugh. (1973). Transient Hydraulic Simulation of breached earth dams, Journ. Hydraulics Div., ASCE, 99, HY1, Jan., pp 139-154.
8. Froelich, D.C. (1987). Embankment-dam breach parameters, Proceedings of the 1987 National Conference on Hydraulic Engineering, ASCE, New York ,Aug., pp.570-575.

9. Hagen, V.K. (1982). Re-evaluation of design floods and dam safety, Paper presented at fourteenth ICOLD Congress, Rio de Janeiro.
10. Harris, G.W. and D.A. Wagner. (1967). Outflow from breached dams, Univ. of Utah.
11. MacDonald, T.C. and J. Langridge-Monopolis. (1984). Breaching characteristics of dam failures, Journ. Hydraulics Div., ASCE, 110, No. 5, May, pp. 567-586.
12. Ponce, V.M. and A.J. Tsivoglou. (1981). Modeling of gradual dam breaches, Journ. Hydraulics Div., ASCE, 107, HY6, June, pp. 829-838.
13. Quironga, C.A. and Singh, V.P. (1987). A dam-breach erosion model: II. Application. Water Resources Management, Vol. 1, pp. 199-221.
14. R<sub>1</sub>, R. (1946). Etude du lacher instantané d' une retenue d'eau dans un canal par la méthode graphique. La Houille Blanche N.S. Vol.1, No.3, pp. 181-187.
15. Ritter, A. (1892). The propagation of water waves. Ver. Deutsch Ingenieure Zeitschrift, (Berlin) 36, Pt.2, No. 33, pp.947-954.
16. Sakkas, J.G. and T. Strelkoff. (1973). Dam-break flood in a prismatic dry channel, Journ. Hydraulic Div. ASCE, 99, HY12, Dec., pp. 2195-2216.
17. Schnitter, N.J. (1993). Dam failures due to ovetopping. Proc. Workshop *Dam Safety Evaluation*, Grindelwald 1: 13-19.
18. Schocklitsch, A. (1917). On waves created by dam breaches. Akad. Wiss. (Wien) Proc., 126, Pt. 2A, pp. 1489-1514.
19. Singh, V.P. (1996). *Dam break modelling technology*. Kluwer Academic Publishers , Dordrecht.
20. Singh, V.P. and P.D. Scarlatos. (1985). Breach erosion of earthfill dams and flood routing: BEED model. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Environmental Laboratory, Military Hydrology Report.
21. Singh, V.P. and C.A. Quironga. (1987). A dam-breach erosion model: I. Formulation. Water Resources Management, Vol. 1, pp. 177-197.
22. Singh, V.P. and C.A. Quironga. (1988). Dimensionless analytical solutions for dam-breach erosion. Journ. of Hydr. Res., Vol. 26, No.2, pp.179-197.
23. Stoker, J.J. (1957). Water waves, Inter-Sciences Pub., New York, pp. 333-341.
24. Su, S.T. and A.H. Barnes. (1970). Geometric and frictional effects on sudden releases. Journ. Hydraulics Div., ASCE, 96, HY11, Nov., pp. 2185-2200.
25. U.S. Army Corps of Engineers. (1960). Floods resulting from suddenly breached dams—Conditions of minimum resistance , Hydraulic model Investigation. Misc.Paper 2-374, Report 1, WES, Feb., 176 pp.

Ευχαριστίες: Η παραπάνω έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος που ανατέθηκε στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης-Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών από την ΔΕΗ-ΔΑΥΕ για την διερεύνηση των επιπτώσεων της θραύσεως του φράγματος Παπαδιάς στην κατάντη περιοχή. Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες στην ΔΕΗ-ΔΑΥΕ για την οικονομική ενίσχυση της έρευνας.

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΙΑΙΩΝ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΕΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ

**Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Π. Ε. Γεωργίου και Δ. Ν. Καραμούζης**

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,  
Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 54006 Θεσσαλονίκη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογραφήματα (Σ.Μ.Υ.) που βασίζονται στα αδιάστατα Μοναδιαία Υδρογραφήματα (Μ.Υ.) της SCS και της Sierra Nevada, χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση Μ.Υ., για μια θέση φράγματος στο χείμαρρο των Σημάντρων Χαλκιδικής, όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις παροχής. Στη θέση του φράγματος εκτιμήθηκαν τα πλημμυρογραφήματα χρησιμοποιώντας τις δύο διαδικασίες Σ.Μ.Υ., τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) για την εκτίμηση της απορροϊκής βροχής και την κατανομημένη με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής μέγιστη απορροϊκή βροχή δεδομένης διάρκειας και περιόδου επαναφοράς. Με τη βοήθεια των πλημμυρογραφημάτων έγινε η συγκριτική αξιολόγηση των δύο Σ.Μ.Υ.

## COMPARISON OF THE SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH PROCEDURES BY USING FLOOD HYDROGRAPHS ESTIMATES

**D.M. Papamichail, P.E. Georgiou and D.N. Karamouzis**

Department of Hydraulics, Soil Science and Agriculture Engineering  
School of Agriculture, Aristotle University, 54006 Thessaloniki, Greece

## ABSTRACT

In this paper, synthetic unit hydrograph procedures which are based on the SCS and Sierra Nevada dimensionless unit hydrographs procedures were used to develop unit hydrographs for a dam location on the Simadra stream in Halkidiki where no streamflow data exist. Flood hydrographs for the Simadra dam location were estimated using the two synthetic unit hydrographs procedures, the Curve Number infiltration loss rates and the distributed with alternating block method maximum effective rainfall for given duration and return period design storms. By using the flood hydrographs estimates it is done the comparative evaluation of the two synthetic unit hydrographs procedures.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων για διάφορες διάρκειες και περιόδους επαναφοράς είναι απαραίτητη στην αντιπλημμυρική προστασία, στον υδρολογικό σχεδιασμό των κατασκευών ασφαλείας (σήραγγας εκτροπής, υπερχειλιστή) ενός φράγματος και στην υδρολογική διαστασιολόγηση του ταμειυτήρα που θα δημιουργηθεί ανάντη του φράγματος και θα συμβάλλει είτε στην αποθήκευση του νερού των πλημμυρών είτε στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων ενισχύοντας το αντλούμενο υδατικό δυναμικό. Στις περιπτώσεις, που δεν υπάρχουν ταυτόχρονες μετρήσεις βροχής-απορροής, χρησιμοποιείται η διαδικασία των Συνθετικών Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων (Σ.Μ.Υ.), όπου η εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων γίνεται με τη βοήθεια Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων (Μ.Υ.), η διερεύνηση των οποίων βασίζεται σε εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης με στοιχεία του Μ.Υ. [1]. Στην εργασία αυτή, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των Σ.Μ.Υ. που βασίζονται στα αδιάστατα Μ.Υ. της SCS [2,3] και της Sierra Nevada [4] με τη βοήθεια των πλημμυρογραφημάτων που εκτιμήθηκαν για μια θέση φράγματος στο χείμαρρο των Σημάτων Χαλκιδικής. Για την εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων στη θέση του φράγματος χρησιμοποιήθηκαν οι κατανεμημένες μέγιστες απορροϊκές βροχές διαφόρων διαρκειών και διαφόρων περιόδων επαναφοράς. Οι μέγιστες βροχοπτώσεις υπολογίζονται με τη βοήθεια σχέσεων έντασης-διάρκειας-συχνότητας των βροχοπτώσεων [5] και στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν με τη σχέση έντασης-διάρκειας-συχνότητας του Πολυγύρου [6] και οι αντίστοιχες απορροϊκές βροχές με τη βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) της SCS [2,3,7,8]. Τέλος, η κατανομή των μέγιστων απορροϊκών βροχών έγινε με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής (Alternating Block Method) [1].

## 2. ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα (Σ.Μ.Υ.) της Sierra Nevada

Η μέθοδος του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada περιγράφεται στο Design of Small Dams [4] και βασίζεται στο αδιάστατο Μ.Υ. της Sierra Nevada. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο χρόνος υστέρησης του Σ.Μ.Υ. υπολογίζεται με τη σχέση:

$$L_g = 0,1776C \left[ LL_c / \sqrt{S} \right]^N \quad \text{ή} \quad L_g = 0,5541 \left[ LL_c / \sqrt{S} \right]^{p,33} \quad (1)$$

όπου:  $L_g$  = χρόνος υστέρησης του Σ.Μ.Υ. σε ώρες,  $C$  = σταθερά που παίρνεται ίση με 26  $K_n$ ,  $K_n$  = συντελεστής του Manning που παίρνεται ίσος με 0,12,  $L$  = μέγιστο μήκος διαδρομής του κυρίως ρεύματος σε Km,  $L_c$  = μήκος του κυρίως ρεύματος από 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

$$D = L_g / 5,5 \quad (2)$$

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

$$t_m = T/100 * (L_g + D/2) \quad (3)$$

όπου:  $t_m$  = χρόνος του Σ.Μ.Υ. σε ώρες,  $T$  = παίρνεται από τον Πίνακα του αδιάστατου Μ.Υ. της Sierra Nevada [4],  $L_g$  και  $D$  όπως υπολογίζονται από τις σχέσεις (1) και (2), αντίστοιχα.

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

$$Q = 0,01157 * \left\{ \frac{A * q}{(L_g + D/2)} \right\} \quad (4)$$

όπου: Q = παροχή του Σ.Μ.Υ. σε m<sup>3</sup>/sec, A = έκταση της υδρολογικής λεκάνης σε Km<sup>2</sup> και q = αδιάστατη παροχή που παίρνεται από τον Πίνακα του αδιάστατου Μ.Υ. της Sierra Nevada [4].

## 2.2. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα (Σ.Μ.Υ.) της SCS

Η μέθοδος του Σ.Μ.Υ. της SCS βασίζεται στο αδιάστατο Μ.Υ. της SCS [2,3]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η παροχή αιχμής ενός υδρογραφήματος που προέρχεται από βροχή διάρκειας D ωρών δίνεται από τη σχέση:

$$Q_p = (0,75AP_r) / (3600t_p) \quad (5)$$

όπου: Q<sub>p</sub> = παροχή αιχμής σε m<sup>3</sup>/sec, A = έκταση της υδρολογικής λεκάνης σε στρέμματα, P<sub>r</sub> = 1 mm εφόσον πρόκειται για Μ.Υ. και t<sub>p</sub> είναι ο χρόνος αιχμής σε ώρες, που υπολογίζεται με τη σχέση

$$t_p = L_g + D/2 \quad (6)$$

Το Μ.Υ. υπολογίζεται με τις σχέσεις:

$$Q = Q_d * Q_p \quad (7)$$

$$t = t_d * t_p \quad (8)$$

όπου: Q = παροχή Μ.Υ. σε m<sup>3</sup>/sec, Q<sub>p</sub> = παροχή αιχμής σε m<sup>3</sup>/sec, t = χρόνος μοναδιαίου υδρογραφήματος, t<sub>p</sub> = χρόνος αιχμής σε ώρες, Q<sub>d</sub> = αδιάστατη παροχή και t<sub>d</sub> = αδιάστατος χρόνος που παίρνονται από Πίνακα [2,3].

## 2.3. Εκτίμηση απορροϊκής βροχής και κατανομή της

Τα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών και διαφόρων περιόδων επαναφοράς που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των πλημμυρογραφήματων 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.

Η S.C.S. [2,3,7] περιγράφει τη σχέση βροχής-απορροής με τη σχέση:

$$Q = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S) \quad (9)$$

όπου: Q = απορροή (mm), P = βροχόπτωση (mm), S = μέγιστη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του εδάφους ή αποθηκευτικότητα (mm), και I<sub>a</sub> = αρχική συγκράτηση υγρασίας (mm).

Η αρχική συγκράτηση I<sub>a</sub> είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων. Η SCS μετά από πειράματα και στηριζόμενη στην εμπειρία πολλών ετών κατέληξε στην παρακάτω εμπειρική σχέση για την αρχική συγκράτηση I<sub>a</sub>:

$$I_a = 0,2 * S \quad (10)$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση (10) στη σχέση (9) και το Q με το ισοδύναμό του Pe που είναι η απορροϊκή βροχή, προκύπτει η σχέση :

$$Pe = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S) \quad (11)$$

Το S σε mm υπολογίζεται με τη σχέση [2,3,7]:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (12)$$

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 σαν συνάρτηση του  $CN_{II}$ , με την παρακάτω σχέση [8]:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,0059CN_{II}} \quad (13)$$

Οι απορροϊκές βροχές διαφόρων διαρκειών και διαφόρων περιόδων επαναφοράς που υπολογίζονται με τις παραπάνω σχέσεις, θεωρούνται ότι κατανομονται 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].

### 3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η εφαρμογή αφορά την εκτίμηση πλημμυρικών απορροών στο χειμάρρο των Σημάντρων Χαλκιδικής. Ο χειμάρρος αυτός αναπτύσσει έντονη πλημμυρική δράση, κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, που συνοδεύεται από μεταφορά λεπτόκοκκων φερτών υλικών στην παραλία Διονυσίου, Πορταριάς και Νέων Μουδανιών με σημαντικότερες επιπτώσεις στον τουρισμό της περιοχής. Η εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων είναι απαραίτητη στον αντυπλημμυρικό σχεδιασμό του Δημοτικού Διαμερίσματος της Πορταριάς, στον υδρολογικό σχεδιασμό του υπερχειλιστή του φράγματος, που θα κατασκευασθεί για την ανάσχεση των πλημμυρών και στην υδρολογική διαστασιολόγηση του ταμιευτήρα, που θα δημιουργηθεί ανάντη του φράγματος και θα συμβάλλει στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων ενισχύοντας το αντλούμενο υδατικό δυναμικό της περιοχής. Η υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου των Σημάντρων μέχρι τη θέση του φράγματος, που σχεδιάζεται να γίνει βόρεια της Πορταριάς και σε απόσταση περίπου 1,5 Km, αποτελεί μια στενή επιμήκη λεκάνη απορροής με κατεύθυνση Β-Ν, έχει έκταση 17,125 Km<sup>2</sup>, το ελάχιστο υψόμετρο είναι 60 m, το μέγιστο υψόμετρο είναι 765 m, το μέγιστο μήκος διαδρομής του χειμάρρου μέχρι την έξοδο της λεκάνης είναι 12,47 Km, η κλίση του κυρίως ρεύματος είναι 6,5 % και τέλος το μήκος του κυρίως ρεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης πάνω στο κύριο ρεύμα είναι 6 Km. Ο χειμάρρος μετά την έξοδό του από την παραπάνω λεκάνη στρέφεται Νοτιοδυτικά και καταλήγει στο Θερμαϊκό Κόλπο στην περιοχή μεταξύ Διονυσίου, Πορταριάς και Νέων Μουδανιών.

Στην εργασία αυτή, για την εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων στη θέση του φράγματος χρησιμοποιήθηκαν οι κατανεμημένες μέγιστες απορροϊκές βροχές, που αναφέρονται σε διάρκειες 3 και 12 ωρών και περιόδους επαναφοράς βροχόπτωσης 81 και 250 ετών, που αντιστοιχούν σε περιόδους επαναφοράς πλημμύρας 50 και 200 ετών [9]. Οι μέγιστες βροχοπτώσεις, εξαιτίας του ότι δεν υπάρχουν μετεωρολογικοί σταθμοί εντός της λεκάνης των Σημάντρων, υπολογίσθηκαν με τη βοήθεια της σχέσης έντασης-διάρκειας-συχνότητας, των βροχοπτώσεων του Πολυγύρου [6], που έχει τη μορφή:

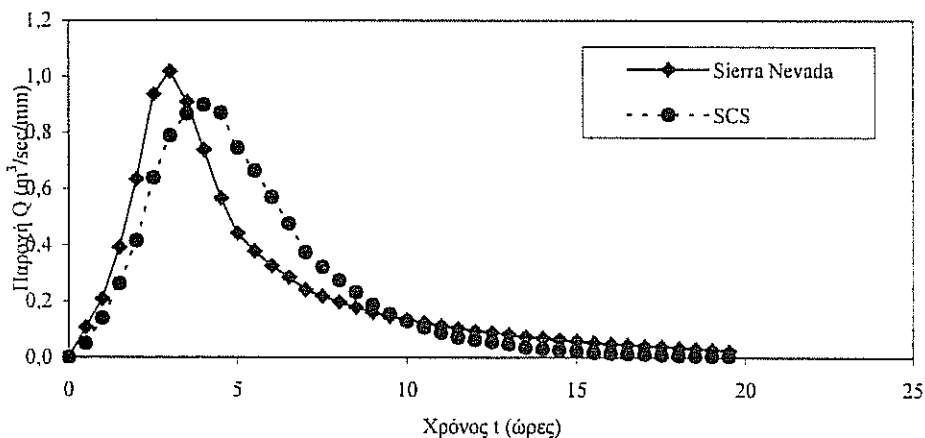
$$i = 17,1317T^{0,2042} / t^{0,65} \quad (14)$$

όπου:  $i$  = ένταση βροχής (mm/hr),  $T$  = περίοδος επαναφοράς (έτη),  $t$  = η διάρκεια της βροχής (hrs).

Οι αντίστοιχες μέγιστες απορροϊκές βροχές εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια της διαδικασίας του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) της SCS, που περιγράφηκε στην Παράγραφο 2.3. Ο απορροϊκός συντελεστής (CN), για υγρασιακή κατάσταση τύπου II, για την περίπτωση της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων εκτιμήθηκε με τη βοήθεια της διαπερατότητας των εδαφών και της φυτοκάλυψης ότι είναι ίσος με 74, οπότε η αποθήκευση S από τη σχέση (12) είναι ίση με 90 mm. Για τη λεκάνη του χειμάρρου των Σημάντρων το CN<sub>III</sub> υπολογίστηκε με τη σχέση (13) και για CN<sub>II</sub> ίσο με 74 βρέθηκε ότι είναι ίσο με 88. Στη συνέχεια με την εφαρμογή της σχέσης (12) για CN=CN<sub>III</sub> βρέθηκε ότι η αποθήκευση S για τις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών είναι ίση με 35 mm. Στον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, στις συνθήκες των πλημμυρικών απορροών, για την εκτίμηση της αποθήκευσης χρησιμοποιείται η υγρασιακή κατάσταση τύπου III δηλαδή το CN<sub>III</sub>, είτε αυτές αναφέρονται σε χειμερινή περίοδο, οπότε η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι αρκετά ικανοποιημένη, είτε σε θερινή περίοδο, οπότε λόγω της ραγδιότητας των θερινών βροχών δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους, στο σύνολό της. Για S=35 mm η σχέση (11) γίνεται:

$$Pe = (P - 7)^2 / (P + 28) \quad (15)$$

Με βάση τη σχέση (15) υπολογίζονται οι μέγιστες απορροϊκές βροχές, που αναφέρονται σε διάρκειες 3 και 12 ωρών και περιόδους επαναφοράς πλημμύρας 50 και 200 ετών. Τα ύψη απορροϊκής βροχής που υπολογίστηκαν κατανεμήθηκαν μέσα στη διάρκεια της βροχόπτωσης με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής (Alternating Block Method) [1] και φαίνονται στα Σχήματα 2, 3, 4 και 5.

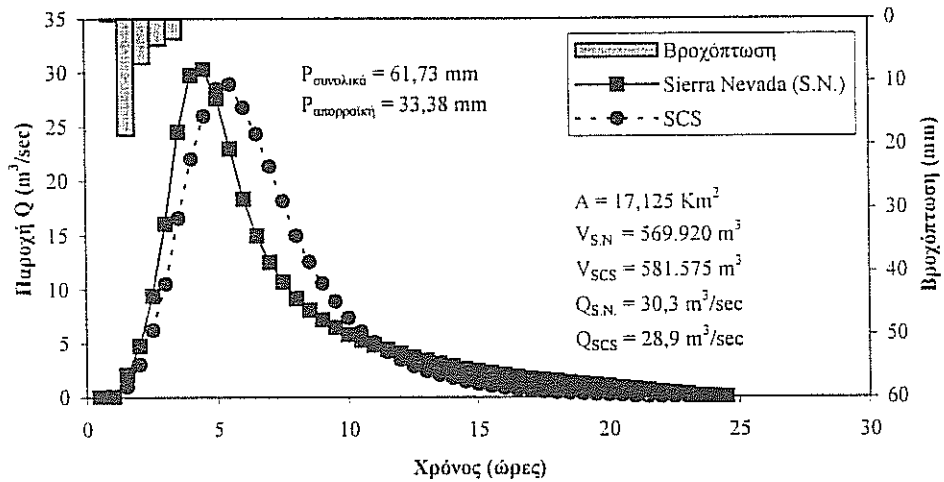


**Σχήμα 1.** Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογραφήματα της Sierra Nevada και της SCS διάρκειας D=0,5 ωρών της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων

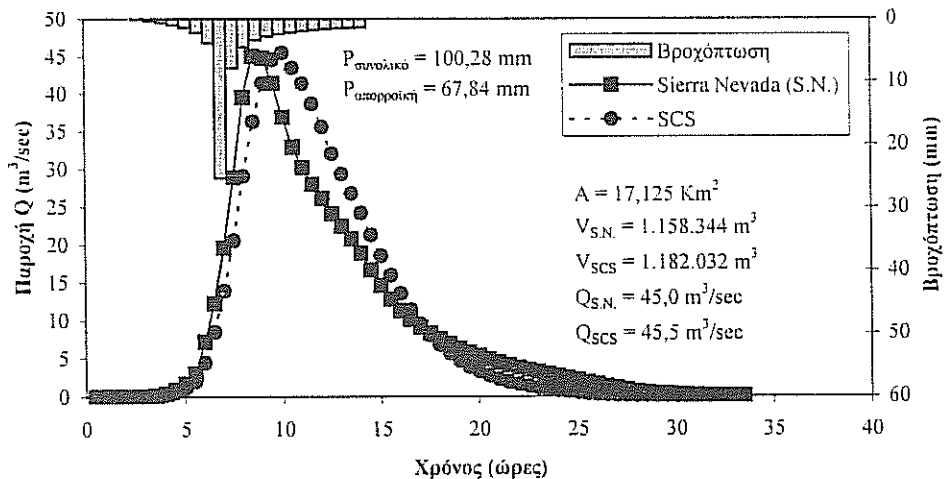
Για την περίπτωση του χειμάρρου των Σημάντρων ο χρόνος υστέρησης  $L_u$  [σχέση (1)] είναι 3,61 ώρες και η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής D [σχέση (2)] είναι 0,65 ώρες. Με βάση τα παραπάνω υπολογίζονται τα Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada και της SCS, διάρκειας D = 0,65 ώρες της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων. Επειδή το χρονικό βήμα των βροχογραφημάτων της απορροϊκής βροχής διαρκείων 3 και 12 ωρών και περιόδου επαναφοράς βροχόπτωσης 81 και 250 ετών, που χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή είναι 0,5 ώρες, θεωρείται απαραίτητη η διερεύνηση του Σ.Μ.Υ. διάρκειας 0,5 ωρών. Η διερεύνηση αυτή έγινε με τη βοήθεια του αντίστοιχου Σ.Μ.Υ. των 0,65

ωρών και τη διαδικασία της S-καμπύλης [1,10] και αποκτήθηκαν τα Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada και της SCS διάρκειας 0,5 ωρών της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων και φαίνονται στο Σχήμα 1.

Με τη βοήθεια των Σ.Μ.Υ. διάρκειας  $D=0,5$  ώρες και των κατανεμημένων βροχογραφημάτων της απορροϊκής βροχής υπολογίσθηκαν τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων, για διάρκειες 3 και 12 ωρών και περιόδους επαναφοράς πλημμύρας 50 και 200 ετών και φαίνονται στα Σχήματα 2 μέχρι 5.

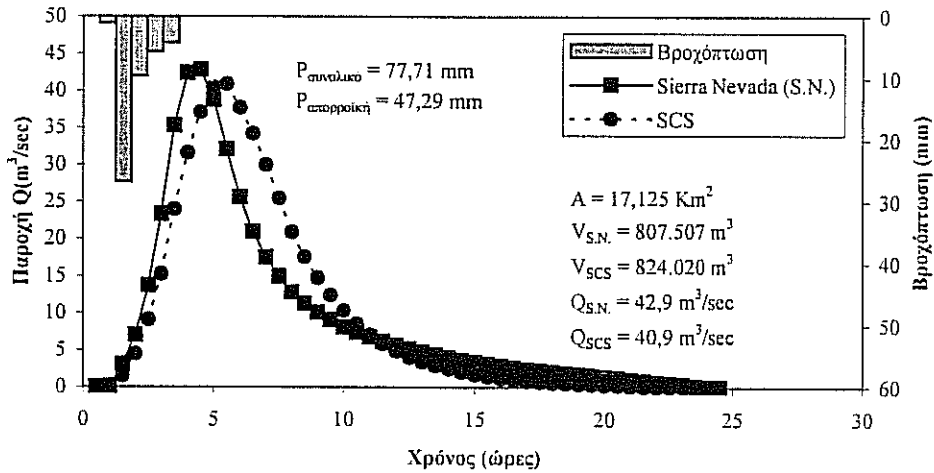


Σχήμα 2. Υδρογράφημα πλημμύρας της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων, διάρκειας 3 ωρών και περιόδου επαναφοράς πλημμύρας 50 ετών

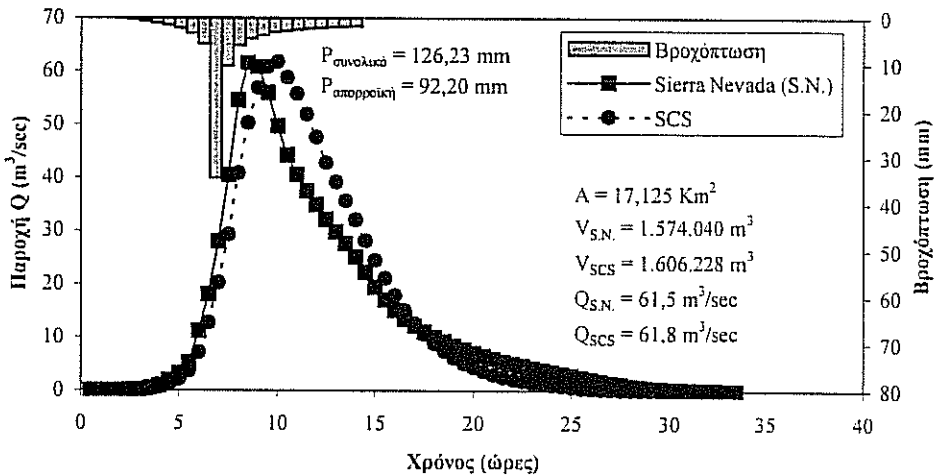


Σχήμα 3. Υδρογράφημα πλημμύρας της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων, διάρκειας 12 ωρών και περιόδου επαναφοράς πλημμύρας 50 ετών





Σχήμα 4. Υδρογράφημα πλημμύρας της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων, διάρκειας 3 ωρών και περιόδου επαναφοράς πλημμύρας 200 ετών



Σχήμα 5. Υδρογράφημα πλημμύρας της λεκάνης του χειμάρρου των Σημάντρων, διάρκειας 12 ωρών και περιόδου επαναφοράς πλημμύρας 200 ετών

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, με τη βοήθεια των Σχημάτων 2 μέχρι 5, προκύπτει ότι το Σ.Μ.Υ. της SCS δίνει μεγαλύτερους όγκους απορροής από αυτούς του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada, για όλα τα πλημμυρογραφήματα, ενώ δίνει μικρότερες αιχμές απορροής στις βροχοπτώσεις μικρών διαρκειών και ελαφρά μεγαλύτερες αιχμές στις βροχοπτώσεις μεγάλων διαρκειών, ανεξάρτητα από την περίοδο επαναφοράς. Τέλος, το Σ.Μ.Υ. της SCS δίνει χρόνο εμφάνισης των αιχμών απορροής καθυστερημένο κατά μία ώρα σε σχέση με αυτόν του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada, για όλα τα πλημμυρογραφήματα.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή, για την περίπτωση του χειμάρρου των Σημάντρων Χαλκιδικής, επειδή δεν υπήρχαν μετρήσεις παροχής, χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία των Σ.Μ.Υ. και έγινε σύγκριση των Σ.Μ.Υ. της SCS και της Sierra Nevada, με τη βοήθεια των πλημμυρογραφήματων, που εκτιμήθηκαν για μια θέση φράγματος. Η εκτίμηση των πλημμυρογραφήματων, διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς, στη θέση του φράγματος, είναι απαραίτητη στον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, στον υδρολογικό σχεδιασμό του υπερχειλιστή του φράγματος και στην υδρολογική διαστασιολόγηση του ταμιευτήρα που θα δημιουργηθεί ανάντη του φράγματος. Για την εκτίμηση των πλημμυρογραφήματων στη θέση του φράγματος χρησιμοποιήθηκαν οι κατανεμημένες μέγιστες απορροϊκές βροχές, διάρκειας 3 και 12 ωρών και περιόδων επαναφοράς πλημμύρας 50 και 200 ετών. Οι μέγιστες βροχοπτώσεις υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της σχέσης έντασης-διάρκειας-συχρότητας, των βροχοπτώσεων του Πολυγύρου και οι αντίστοιχες απορροϊκές βροχές με τη βοήθεια του απορροϊκού συντελεστή (Curve Number) της SCS. Η κατανομή των μέγιστων απορροϊκών βροχών έγινε με τη μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής (Alternating Block Method). Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το Σ.Μ.Υ. της SCS έδωσε μεγαλύτερους όγκους αποροής από αυτούς του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada, για όλα τα πλημμυρογραφήματα, ενώ έδωσε μικρότερες αιχμές αποροής στις βροχοπτώσεις μικρών διαρκειών και ελαφρά μεγαλύτερες αιχμές στις βροχοπτώσεις μεγάλων διαρκειών, ανεξάρτητα από την περίοδο επαναφοράς. Τέλος, το Σ.Μ.Υ. της SCS έδωσε χρόνο εμφάνισης των αιχμών αποροής καθυστερημένο κατά μία ώρα σε σχέση με αυτόν του Σ.Μ.Υ. της Sierra Nevada, για όλα τα πλημμυρογραφήματα.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill, 572 pp.
2. U.S. Soil Conservation Service, 1985. National Engineering Handbook, Sec. 4: Hydrology. U.S. Department of Agricultural, Washington, D.C.
3. U.S. Soil Conservation Service, 1986. Urban hydrology for small watersheds. Tech. Release 55, Washington, D.C.
4. U.S.D.I., 1987. Design of small dams. A Water Resources Technical Publication, pp. 23-57.
5. Δαλέζιος, Ν.Ρ., Τσινταράκης, Α.Μ. και Ζάρπας, Κ.Δ., 1995. Ποσοτικά χαρακτηριστικά της πλημμύρας Οκτωβρίου 1994 στη Θεσσαλία. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου "Ολοκληρωμένη Αντιμετώπιση Μείωσης Κινδύνου Πλημμυρών", ΕΜΠ, Αθήνα, 12-13 Ιανουαρίου, 183-191.
6. Καραμούζης, Δ.Ν., Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου, Π.Ε., 1999. Εκτίμηση πλημμυρογραφήματων στη λεκάνη του χειμάρρου των Σημάντρων. Πακέτο εργασίας στο ερευνητικό πρόγραμμα "Διαχείριση υδατικών πόρων υδρολογικής λεκάνης Ολονθίου Χαλκιδικής", Θεσσαλονίκη.
7. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ., 1991. Εφαρμογή του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος του Nash και του απορροϊκού συντελεστή CN (Curve Number) για τη διερεύνηση των σχέσεων βροχής - αποροής, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού, 50 σελ.
8. Sobhani, G., 1976. A Review of selected watershed design method for possible adoption to iranian conditions. Thesis presented to Utah State University at Logan, Utah in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.
9. Institute of Hydrology, 1978. Methods of flood estimation. A guide to the flood studies report. Wallingford, Oxon, U.K.
10. Shaw, E.M., 1993. Hydrology in practice. Chapman & Hall (2nd Edition), 539 pp.

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΑΝΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΡΟΩΝ ΑΙΧΜΗΣ ΟΡΕΙΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

**A. Λουκάς<sup>1</sup>, Λ. Βασιλειάδης<sup>2</sup>, Χ. Δομενικιώτης<sup>3</sup> και Ν. Ρ. Δαλέζιος<sup>3</sup>**

(1) Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, (2) Τμήμα Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων και (3) Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίον Άρεως, 38 334 Βόλος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέθοδος των παραγόμενων κατανομών χρησιμοποιείται σε αυτό το άρθρο μαζί με τα αποτελέσματα έρευνας για τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης και της απόκρισης των λεκανών απορροής. Η προσομοίωση Monte Carlo χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της πιθανότητας επαναφοράς της ωριαίας και ημερήσιας πλημμυρικής απορροής καθώς και του πλημμυρικού όγκου. Η προτεινόμενη μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε οκτώ λεκάνες απορροής της παράκτιας Βρετανικής Κολομβίας του Καναδά. Η καλή συμφωνία που υπάρχει μεταξύ των αποτελεσμάτων της μεθόδου και των μετρήσεων δείχνει ότι η μέθοδος αυτή, που είναι εύκολη στην εφαρμογή της και απαιτεί λίγα δεδομένα, είναι αξιόπιστη.

## ESTIMATION OF PROBABILITY DISTRIBUTION OF EXTREME FLOWS FROM MOUNTAINOUS BASINS

**A. Loukas<sup>1</sup>, L. Vasiliades<sup>2</sup>, C. Domenikiotis<sup>3</sup> and N.R. Dalezios<sup>3</sup>**

(1) Department of Civil Engineering, (2) Department of Management of Rural Environment and Natural Resources and (3) Department of Agriculture Plant & Animal Production, University of Thessaly, Pedion Areos, 38 334 Volos

## ABSTRACT

The method of derived distributions is used in this paper to estimate flood frequency. The results of previous research on the rainfall characteristics and watershed response are incorporated into the proposed procedure. Monte Carlo simulation is used for the estimation of the frequency of the hourly and daily peak flow and the flood volume is estimated. The proposed procedure is applied to eight coastal British Columbia watersheds. The results compare well with the observed data and the fitted probability distributions showing that the method is easy to apply, requires very little data and is reliable.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια σημαντική πρακτική εφαρμογή της υδρολογίας είναι η εκτίμηση των μεγάλων πλημμυρικών γεγονότων, αφού ο σχεδιασμός των έργων ανάπτυξης υδάτινων πόρων εξαρτάται από την συχνότητα εμφάνισης και το μέγεθος της ροής αιχμής.

Το πρόβλημα του προσδιορισμού της πιθανότητας εμφάνισης της πλημμυρικής απορροής γίνεται πολύ δύσκολο σε λεκάνες απορροής, στις οποίες δεν υπάρχουν μετρήσεις απορροής. Μια από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η μέθοδος των παραγόμενων κατανομών (Derived Distributions Method, DDM). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα στοχαστικό μοντέλο για την δημιουργία τιμών βροχόπτωσης, ένα μοντέλο διήθησης και ένα υδρολογικό μοντέλο. Η εύρεση της πιθανότητας εμφάνισης των τιμών της πλημμυρικής απορροής μπορεί να γίνει είτε αναλυτικά είτε αριθμητικά [1]. Οι πολύ μεγάλες απλοποιήσεις που χρειάζεται να γίνουν για να βρεθεί αναλυτικά η κατανομή της πιθανότητας της απορροής αιχμής οδηγεί στην κακή απόδοση της μεθόδου [2]. Αντίθετα, η αριθμητική μέθοδος δίνει καλύτερα αποτελέσματα [3].

Στο άρθρο αυτό παρουσιάζεται μια μέθοδος που χρησιμοποιεί την αριθμητική DDM. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει και χρησιμοποιεί αποτελέσματα προηγούμενης έρευνας για την χρονική και χωρική κατανομή της βροχόπτωσης καθώς και για την απόκριση ορεινών λεκανών απορροής. Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε οκτώ λεκάνες απορροής της παράκτιας Βρετανικής Κολομβίας του Καναδά και τα αποτελέσματά της συγκρίνονται με τις καταγραμμένες ιστορικές απορροές.

## 2. Η ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η προτεινόμενη μέθοδος απαιτεί ελάχιστα δεδομένα και για αυτό είναι πολύτιμη για ορεινές περιοχές, όπως η παράκτια Βρετανική Κολομβία. Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν το μοντέλο βροχόπτωσης και το μοντέλο απόκρισης της λεκάνης απορροής.

### 2.1 Το μοντέλο βροχόπτωσης

Μια καταιγίδα βροχόπτωσης χαρακτηρίζεται από την διάρκειά της, το ύψος βροχόπτωσης και την κατανομή της στον χρόνο και στο χώρο. Για να υπάρξει αξιόπιστη προσομοίωση της καταιγίδας όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στην προσομοίωση.

Η διάρκεια της βροχόπτωσης μπορεί να κυμαίνεται από 5 λεπτά της ώρας μέχρι και ημέρες. Οι βροχοπτώσεις μικρότερης διάρκειας είναι περισσότερο σημαντικές για μικρές, αδιαπέρατες, αστικές λεκάνες απορροής. Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται σε ορεινές λεκάνες απορροής και γι' αυτό διάρκειες των 12 και 24 ωρών είναι πιο κατάλληλες. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με καταιγίδες διάρκειας 12 ωρών έδειξαν ότι η διάρκεια των 12 ωρών είναι επαρκής για την εκτίμηση απορροών με μικρή περίοδο επαναφοράς, αλλά δεν είναι κατάλληλη για την εκτίμηση ακραίων απορροών μεγαλύτερης περιόδου επαναφοράς. Αντίθετα, καταιγίδες των 24 ωρών είναι επαρκής και για τις απορροές μεγαλύτερης συχνότητας αλλά και για τις ακραίες απορροές μικρότερης συχνότητας.

Το παραπάνω αποτέλεσμα βρίσκεται σε συμφωνία με τους μηχανισμούς δημιουργίας πλημμυρών στην παράκτια Βρετανική Κολομβία. Οι πιο μεγάλες πλημμύρες στην περιοχή δημιουργούνται από μετωπικές καταιγίδες με διάρκεια γύρω στις 24 ώρες [4]. Επιπλέον, η επιλογή της 24ωρης καταιγίδας αντιστοιχεί με τα

υπάρχοντα δεδομένα. Από τους 269 σταθμούς μέτρησης βροχόπτωσης στην περιοχή, οι 173 είναι σταθμοί μέτρησης της ημερήσιας βροχόπτωσης και οι 96 είναι σταθμοί μέτρησης της έντασης της βροχόπτωσης. Οι σταθμοί μέτρησης του ημερήσιου ύψους βροχόπτωσης έχουν δεδομένα για περισσότερα χρόνια. Έτσι η χρησιμοποίηση των σταθμών αυτών επεκτείνει τα δεδομένα στο χρόνο και στο χώρο, δίνοντας καλύτερη εκτίμηση της βροχόπτωσης για λεκάνες απορροής που δεν διαθέτουν μετρήσεις.

Στην προτεινόμενη μέθοδο, το ύψος βροχόπτωσης της μέγιστης 24ωρης καταιγίδας θεωρείται ότι ακολουθεί την Extreme Value I (EVI, Gumbel) κατανομή πιθανότητας, και είναι σύμφωνη με την πρακτική που εφαρμόζεται στον Καναδά [5]. Επίσης, η κατανομή αυτή είναι δύο παραμέτρων και αυτό μειώνει τον αριθμό των παραμέτρων που απαιτούνται (μέση τιμή και τυπική απόκλιση). Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της ετήσιας μέγιστης 24ωρης βροχόπτωσης συνήθως εκτιμούνται από δεδομένα βροχομετρικών σταθμών στην περιοχή των λεκανών απορροής και αν δεν υπάρχουν από τον Άτλαντα Συχνότητας Βροχόπτωσης του Καναδά [6]. Οι τιμές που δίνονται στον Άτλαντα είναι ενδεικτικές για περιοχές με χαμηλό υψόμετρο. Πρόσφατα αποτελέσματα έρευνας για την κατανομή της βροχόπτωσης στην παράκτια Βρετανική Κολομβία έδειξαν ότι η βροχόπτωση αυξάνεται μέχρι τα 400-800 μέτρα υψομέτρου και μετά είτε μειώνεται είτε μένει αμετάβλητη με αύξηση του υψομέτρου. Σε μέσες τιμές οι τιμές βροχόπτωσης στα χαμηλά υψόμετρα μπορούν να αυξηθούν κατά 1.5 φορές ώστε να αναπαραστήσουν τη μέση βροχόπτωση της λεκάνης απορροής [4]. Αυτή η μέση αύξηση χρησιμοποιήθηκε και στην προτεινόμενη μέθοδο.

Ένας άλλος τρόπος εκτίμησης της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της βροχόπτωσης έχει προταθεί από τον Loukas [4], ο οποίος έδειξε ότι η 24ωρη βροχόπτωση για διάφορες περιόδους επαναφοράς είναι ένα συγκεκριμένο ποσοστό των ετήσιων κατακρημνισμάτων.

Η κατανομή της βροχόπτωσης στο χρόνο είναι ένα άλλο πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό μιας καταιγίδας. Στην προτεινόμενη μέθοδο, χρησιμοποιείται το αθροιστικό αδιάστατο νετογράφημα. Για τα 24 ωριαία χρονοδιαστήματα η αθροιστική βροχόπτωση δημιουργείται με μια στοχαστική διαδικασία που λαμβάνει υπόψη της την τυχαία φύση της αθροιστικής βροχόπτωσης στο χρόνο  $t$ ,  $R(t)$  [4]. Οι διαδοχικές ωριαίες τιμές είναι ανεξάρτητες και περιορίζονται από την συνθήκη:

$$0 = R(0) \leq R(1) \leq \dots \leq R(24) = 1 \quad (1)$$

Στην εργασία αυτή προσομοιώνονται οι τιμές  $R(0), \dots, R(24)$  σαν ένα τυχαίο δείγμα 24 τιμών από μια συνεχή κατανομή πιθανότητας. Αφού η  $R(t)$  κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε συνεχής κατανομή πυκνότητας πιθανότητας σε αυτό το διάστημα. Στην προτεινόμενη μέθοδο χρησιμοποιήθηκε η τριγωνική κατανομή, επειδή είναι απλή και προσομοιώνει τα δεδομένα αρκετά καλά [4].

## 2.2 Το υδρολογικό μοντέλο

Το υδρολογικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο έχει προταθεί σε μια άλλη μελέτη [7]. Το μοντέλο αυτό επιλέχθηκε γιατί απαιτεί ελάχιστα δεδομένα και οι παράμετροι του μπορούν να εκτιμηθούν από την γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι δίνει καλή εκτίμηση της απόκρισης ορεινών λεκανών απορροής [7].

Το υδρολογικό μοντέλο χρησιμοποιεί την μέθοδο της διόδευσης με γραμμικούς ταμιευτήρες και προσομοιώνει την γρήγορη απορροή με μια σειρά ταμιευτήρες εν

σειρά και την αργή απορροή με ένα μεγάλο ταμιευτήρα. Η όλη διαδικασία καθορίζεται από την διήθηση με τη σχέση:

$$P_s = I_f + a \cdot t^{-b} \quad (2)$$

όπου  $P_s$  είναι η βροχόπτωση που διηθείται και διοδεύεται στην αργή απορροή (mm/h),  $I_f$  είναι οι τελικές αφαιρέσεις διήθησης (mm/h),  $t$  είναι ο χρόνος και  $a$  και  $b$  είναι σταθερές. Η εναπομένουσα βροχόπτωση,  $P_f$ , από την συνολική,  $P_t$ , διοδεύεται μέσω της γρήγορης απορροής.

Προηγούμενη εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου [7] έδειξε ότι η σταθερά της διόδευσης της αργής απορροής ( $KS$ ) είναι σταθερή και ίση με 750 ώρες. Αυτή η τιμή είναι σύμφωνη με την τιμή που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου του U.B.C. (U.B.C. Watershed Model), το οποίο χρησιμοποιεί μια παρόμοια τεχνική.

Ένα άλλο αποτέλεσμα της προηγούμενης εφαρμογής του μοντέλου είναι ότι οι αφαιρέσεις διήθησης είναι σταθερές ( $P_s = I_f$ ) για τα περισσότερα γεγονότα. Η μόνη εξαίρεση βρέθηκε στην περίπτωση δυνατών καταιγίδων, όταν το έδαφος ήταν ξηρό. Τα γεγονότα αυτά, όμως, δεν δημιουργούν μεγάλη απορροή, αφού μεγάλο ποσοστό της βροχής διηθείται στο ξηρό έδαφος και έτσι εμφανίζεται σαν απορροή με μεγάλη καθυστέρηση. Εάν εξαιρεθούν τα γεγονότα αυτά, τότε η παράμετρος  $I_f$  ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 1.37 mm/h και συντελεστή μεταβλητότητας ίσο με 30%.

Για την σταθερά της διόδευσης της γρήγορης απορροής  $KF$  χρησιμοποιείται ο τύπος του Nash:

$$t_l = n \cdot KF \quad (3)$$

όπου  $t_l$  είναι η χρονική υστέρηση της ροής (time lag), και  $n$  είναι ο αριθμός των γραμμικών ταμιευτήρων που χρησιμοποιούνται στη διόδευση.

Πρόσφατα ερευνητικά αποτελέσματα [8] έδειξαν ότι η παράμετρος,  $n$ , του μοντέλου του Nash είναι συνάρτηση μόνο της γεωμορφολογίας της λεκάνης απορροής και για αυτό παραμένει σταθερό για κάθε λεκάνη. Επίσης, άλλες έρευνες [9,10] έδειξαν ότι η τιμή του  $n$  είναι περίπου ίση με 2. Από την άλλη μεριά, οι παραπάνω έρευνες έδειξαν ότι η παράμετρος  $KF$  είναι συνάρτηση της γεωμορφολογίας αλλά και της βροχόπτωσης και έτσι μεταβάλλεται από καταιγίδα σε καταιγίδα για την ίδια λεκάνη απορροής όπως άλλωστε και η χρονική υστέρηση της ροής.

Για την εφαρμογή της μεθόδου θεωρήθηκε ότι η παράμετρος  $KS$  είναι σταθερή και ίση με 750 ώρες, η παράμετρος  $I_f$  είναι σταθερή για ένα γεγονός και γενικά ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή ίση με 1.37 mm/h και συντελεστή μεταβλητότητας ίσο με 30%. Η παράμετρος  $n$  θεωρήθηκε σταθερή ίση με 2. Η τιμή της παραμέτρου  $KF$  υπολογίστηκε από την εξίσωση 3, ενώ η χρονική υστέρηση,  $t_l$ , εκτιμήθηκε από την σχέση που προτάθηκε από τους Λουκά και Δαλέξιο [11]:

$$t_l = 4.32 \cdot \frac{(L \cdot n_m)^{0.6}}{S_s^{0.3} \cdot k^{0.4} \cdot (K_{av} \cdot i_e \cdot S_H)^{0.2}} \quad (4)$$

όπου,  $S_s$  είναι η μέση κλίση του ποταμού (m/m),  $k$  είναι η παράμετρος της μορφής της διατομής του ποταμού,  $K_{an}$  είναι η μέση υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (mm/h),  $n_m$  είναι συντελεστής τριβής του Manning,  $S_H$  είναι μέση κλίση της λεκάνης απορροής (m/m),  $L$  είναι το μήκος του ποταμού (m), και  $i_e$  είναι η καθαρή ένταση της βροχόπτωσης μετά την αφαίρεση της διήθησης (mm/h).

Η σχέση 4 βρέθηκε με τη βοήθεια φυσικών παρατηρήσεων σε ορεινές λεκάνες απορροής και την εφαρμογή της κινηματικής θεωρίας. Τα στοιχεία που απαιτούνται για την εφαρμογή της σχέσης αυτής μπορούν να βρεθούν από τοπογραφικούς χάρτες. Στην παρούσα εργασία τα τοπογραφικά στοιχεία μετρήθηκαν από χάρτες κλίμακας 1:50000.

Το Σχήμα 1 δείχνει το διάγραμμα ροής της μεθόδου. Η προσομοίωση Monte Carlo χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων (5000). Στο τέλος κάθε προσομοίωσης, υπολογίζονται οι τιμές της ωριαίας απορροής, της ημερήσιας απορροής και του όγκου της πλημμυρικής απορροής. Μετά τις 5000 υδρολογικές προσομοιώσεις, οι τιμές των παραπάνω μεγεθών κατατάσσονται κατά μέγεθος και σχεδιάζονται σε χαρτί πιθανότητας σαν συνθετικές καμπύλες πιθανότητας.

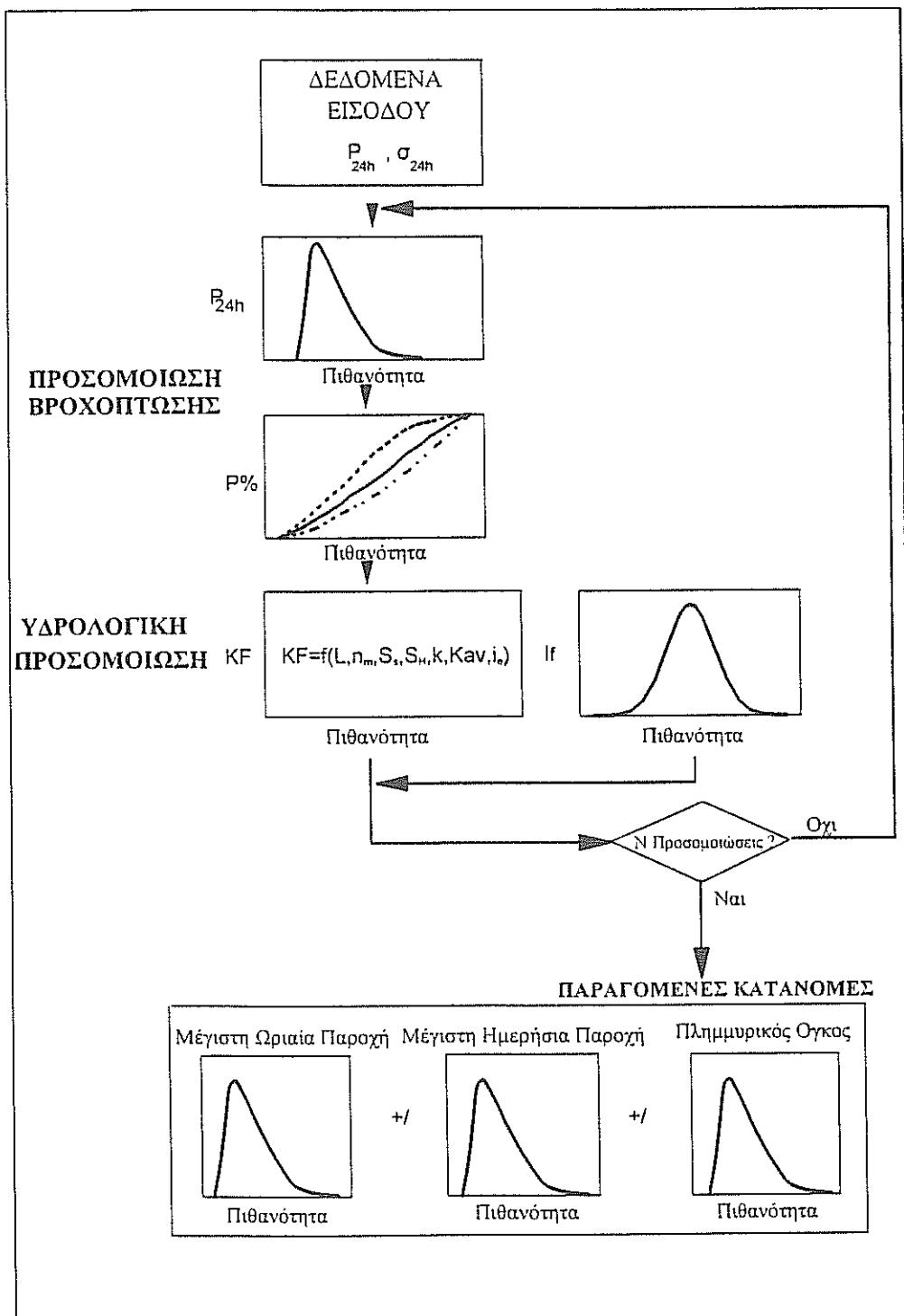
### 3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόστηκε σε οκτώ λεκάνες απορροής της παράκτιας Βρετανικής Κολομβίας. Επειδή υπάρχουν περιορισμοί στην έκταση του άρθρου παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα από την λεκάνη του North Allouette River.

Οι λεκάνες απορροής που χρησιμοποιήθηκαν έπρεπε να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

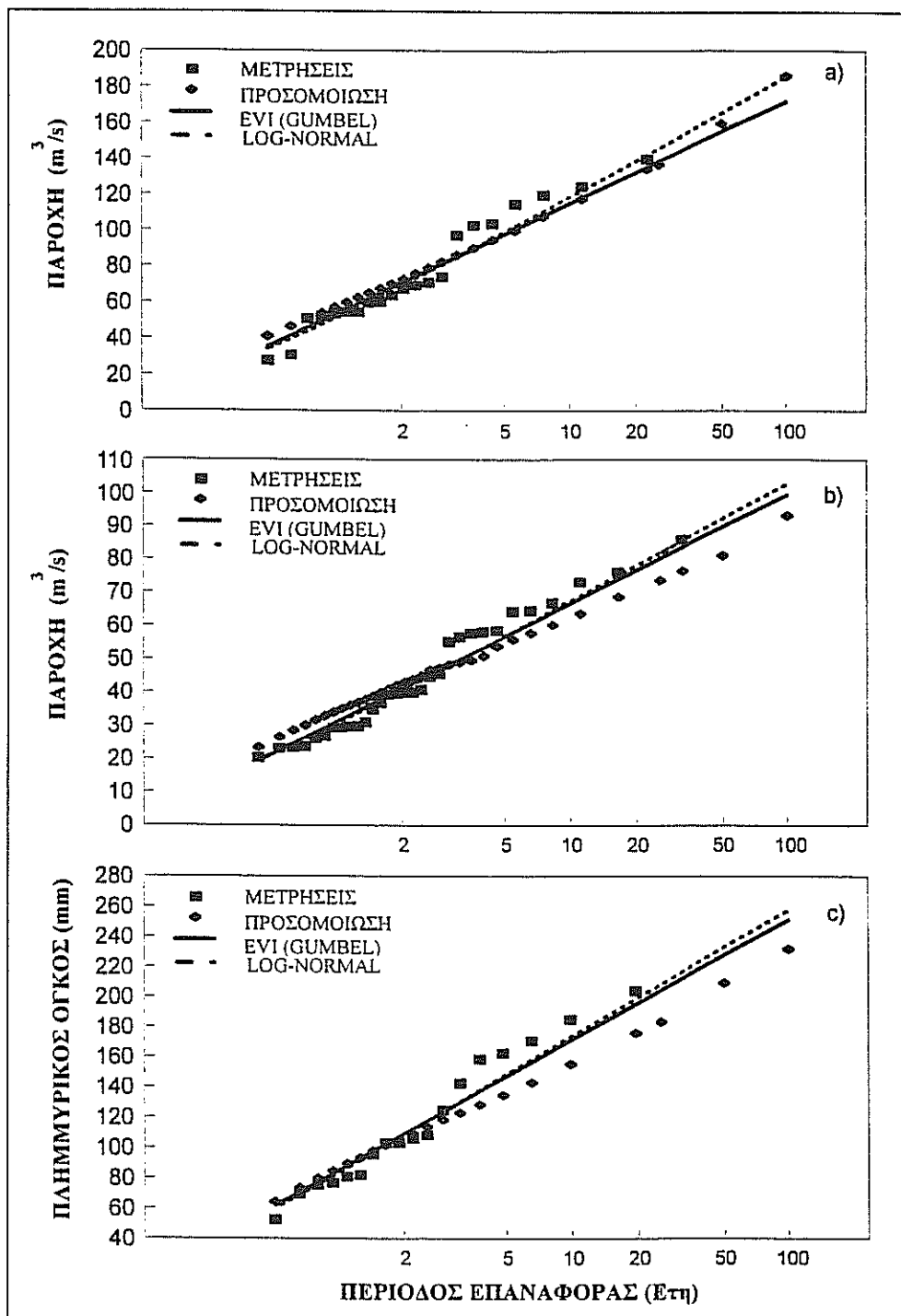
- 1) Η απορροή τους να προέρχεται μόνο από βροχόπτωση.
- 2) Να έχουν φυσική ροή και να μην υπάρχουν ταμειυτήρες που αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά της ροής.
- 3) Να μην έχουν φυσικές λίμνες.
- 4) Να έχουν μακρές καταγραφές δεδομένων ροής ώστε να επιτρέπουν στατιστική ανάλυση.

Το Σχήμα 2 δείχνει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την λεκάνη απορροής του North Allouette River. Τα αποτελέσματα, γενικά είναι καλά εκτός από τα αποτελέσματα για τον πλημμυρικό όγκο. Αυτή η απόκλιση των αποτελεσμάτων από τις παρατηρημένες τιμές δεν σημαίνει απαραίτητα ότι η προσομοίωση με τη βοήθεια της προτεινόμενης μεθόδου είναι κακή, γιατί η εκτίμηση του όγκου της πλημμύρας είναι σε μεγάλο βαθμό υποκειμενική όσον αφορά την διάκριση της άμεσης (πλημμυρικής) και έμμεσης απορροής, που γίνονται με εμπειρικές τεχνικές. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και για τις άλλες επτά λεκάνες απορροής.



Σχήμα 1. Το διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθόδου





Σχήμα 2. Καμπύλες πιθανότητας για την λεκάνη απορροής του North Allouette River για α) ωριαία παροχή, β) ημερήσια παροχή, και γ) πλημμυρικό όγκο

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκτίμηση της κατανομής πιθανότητας των ροών αιχμής σε λεκάνες που δεν διαθέτουν μετρήσεις ροής είναι αρκετά δύσκολη. Αυτό καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο σε ορεινές περιοχές, όπως η παράκτια Βρετανική Κολομβία, όπου τα δεδομένα βροχόπτωσης και απορροής είναι εξαιρετικά περιορισμένα και στον χρόνο και στο χώρο. Η προτεινόμενη μέθοδος είναι μια εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους. Η μέθοδος αυτή συμπεριλαμβάνει αποτελέσματα προηγούμενης έρευνας σχετικά με την κατανομή της βροχόπτωσης στον χρόνο και στο χώρο και στην απόκριση ορεινών λεκανών απορροής στην παράκτια Βρετανική Κολομβία.

Τα εισαγωγικά δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου είναι περιορισμένα και μπορούν να βρεθούν με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών και τον Άτλαντα Συχνότητας Βροχόπτωσης του Καναδά. Η εφαρμογή της μεθόδου έδειξε ότι η μέθοδος είναι αξιόπιστη και αποτελεσματική.

Αν και η μέθοδος έχει εφαρμοστεί στην παράκτια Βρετανική Κολομβία πιστεύεται ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε άλλες περιοχές με διαφορετικό κλίμα μετά από τις αντίστοιχες ρυθμίσεις στις τιμές των παραμέτρων. Μια άλλη πιθανή μελλοντική εφαρμογή της μεθόδου θα ήταν και η εκτίμηση της επίδρασης των αλλαγών χρήσης γης και των κλιματικών αλλαγών στις ροές αιχμής.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Diaz-Granados, M.A., Valdes, J.B, and Bras, R.L., 1984. A physically based flood frequency distribution. *Wat. Resour. Res.*, 20 (7), 995-1002.
2. Raines, T.H., and Valdes, J.B., 1993. Estimation of flood frequencies for ungauged catchments. *J. of Hydr. Eng. (ASCE)*, 119 (10), 1138-1154.
3. Muzik, I., 1993. The method of derived distributions applied to peak flows. *Proc. Of Engineering Hydrology*, ASCE, C.Y. Kuo (ed.), San Francisco, California, 437-442.
4. Loukas, A., 1994. Mountain precipitation analysis for the estimation of flood runoff in coastal British Columbia. PhD. Thesis, University of British Columbia, pp. 321.
5. Watt, W.E., Latham, K.W., Neill, C.R., Richards, T.L., and Rousselle, J., (eds), 1989. Hydrology of Floods in Canada - A guide to planning and design. National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario.
6. Hogg, W.D., and Carr, D.A., 1985. Rainfall frequency atlas for Canada, Canadian Government Publishing Centre, Ottawa.
7. Loukas, A. and Quick, M.C., 1993. Hydrologic behaviour of a mountainous watershed. *Can. J. Civ. Eng.*, 20 (1), 1-8.
8. Chuptha, P., and Dooge, J.C.I., 1990. The shape parameters of the geomorphologic unit hydrograph. *J. of Hydrol.*, 117, 81-97.
9. Sarino, and Serrano, S.E., 1990. Development of the instantaneous unit hydrograph using stochastic differential equations. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 4, 151-160.
10. Blazkova, S., 1992. Empirical study of nonlinearity in direct runoff on 100 km<sup>2</sup> basin. *Hydrological Sciences Journal*, IAHS, 37 (4), 347-358.
11. Λουκάς, Α., και Δαλέζιος, Ν.Ρ., 2000. Εκτίμηση του χρόνου υστέρησης για ορεινές λεκάνες απορροής. *Πρακτικά 8<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ενωσης*, Αθήνα, 269-276.

# ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΔΙΩΡΥΓΕΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

**I. Δημητρίου**

Ε. Μ. Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολ. Μηχανικών  
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Υδραυλικής  
Οδός Ηρώων Πολυτεχνείου 1, Ζωγράφου 15780, Αθήνα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πειραματική αυτή εργασία ερευνάται η μεταβολή του συντελεστή αντίστασης  $n$  του Manning, σε ανοικτούς αγωγούς ορθογωνικής διατομής διαφορικής τραχύτητας, δηλ. σε αγωγούς στους οποίους τα πλευρικά τοιχώματα έχουν πάντα την ίδια σταθερή τραχύτητα ενώ στον πυθμένα η τραχύτητα είναι μεγαλύτερη, μεταβαλλόμενη κατά συστηματικό τρόπο. Η εργασία είναι συνέχεια παλαιότερης βασίζεται κυρίως σε νεώτερα πειραματικά στοιχεία, έτσι δε παρέχει τις τελικές εκφράσεις στις εξισώσεις συσχέτισης της τραχύτητας με τις παραμέτρους της ροής.

# IRRIGATION CHANNELS WITH DIFFERENTIAL ROUGHNESS.

**J. Demetriou**

N.T.U.Athens, Dept. of Civil Engineering  
Applied Hydraulics Laboratory  
1. Iroon Polytechniou st., Zografou 15780, Athens, Greece

## ABSTRACT

In this experimental work the change of the resistance coefficient  $n$  (Manning) is examined, in open rectangular channels with differential roughness, while at the bottom the roughness is greater and systematically varying. The paper compares some recent experimental data with the results of a previous work and gives the final expressions relating roughness to flow parameters.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Για τη διαχείριση των υδατικών πόρων σημαντικός είναι ο ρόλος του σχεδιασμού των ανοικτών αγωγών, τόσο στα μεγάλα αστικά κέντρα π.χ. χωροταξικός σχεδιασμός (προστασία των κατοίκων από πλημμύρες - αγωγοί ομβρίων, διευθέτηση ρευμάτων και χειμάρρων), όσο και στα έργα ανάπτυξης των υδατικών πόρων, ή στα αντιπλημμυρικά έργα προστασίας γενικότερα, ή ακόμα στα διασυνωρικά ποτάμια, στον τουρισμό και στη γεωργία (αρδεύσεις).

Ο γενικός χαρακτήρας των διευθετημένων ανοικτών αγωγών που λειτουργούν π.χ. στον Ελληνικό χώρο περιλαμβάνει μικρές παροχές (π.χ. το καλοκαίρι) και μεγάλες ή μέγιστες παροχές (π.χ. το φθινόπωρο ή το χειμώνα). Η αντίστοιχη υδραυλική συμπεριφορά των αγωγών διαμορφώνει συνήθως μεγαλύτερες τραχύτητες στους πυθμένες των αγωγών λόγω της συνεχούς τριβής εκ της ροής καθόλη τη διάρκεια του έτους και μικρότερες τραχύτητες στα πλευρικά τοιχώματα των αγωγών, τα οποία οι μεγάλες παροχές επηρεάζουν κατά μικρότερα χρονικά διαστήματα. Δημιουργείται έτσι κατά φυσικό τρόπο μια διαφορά στις τραχύτητες μεταξύ του πυθμένα (μεγαλύτερη τραχύτητα) και των πλευρικών τοιχωμάτων (μικρότερη τραχύτητα), δηλ. δημιουργείται η ονομαζόμενη διαφορική τραχύτητα.

Είναι γνωστό ότι αν η τραχύτητα ενός αγωγού είναι παντού η ίδια (πυθμένας - πλευρικά τοιχώματα), τότε ο συντελεστής αντίστασης  $n$  θεωρείται σταθερός,  $n = \text{σταθ.}$  στον γνωστό εμπειρικό τύπο του Manning ομοιόμορφης ροής:

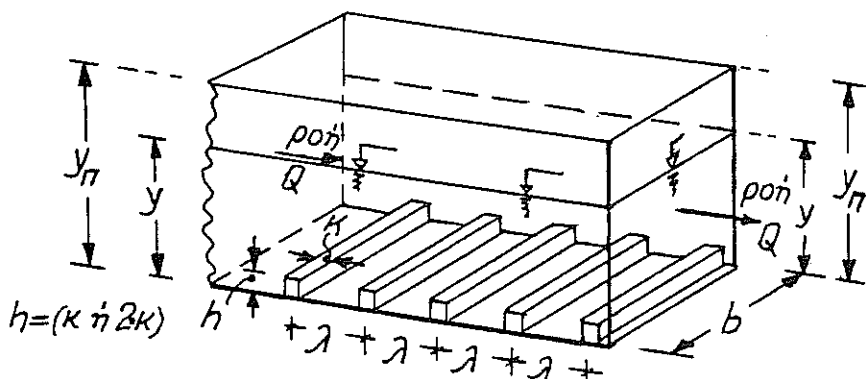
$$Q = E \cdot V = E \cdot (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot J_0^{1/2} \quad (1)$$

όπου  $E =$  υγρή διατομή ( $\text{m}^2$ ),  $R =$  υδραυλική ακτίνα  $= E/\Pi$  (m),  $\Pi =$  βρεχόμενη περίμετρος της διατομής (m),  $J_0 =$  κατά μήκος κλίση του αγωγού (που γενικά είναι μικρή),  $Q =$  παροχή ( $\text{m}^3/\text{sec}$ ). Η σταθερότητα του  $n$  σημαίνει σταθερή τιμή αυτού (ανεξάρτητη του βάθους ροής), που σχετίζεται όμως με την εκάστοτε φύση της τραχύτητας σε όλη την βρεχόμενη επιφάνεια του αγωγού.

Στην περίπτωση της διαφορικής τραχύτητας, η μέχρι τώρα ακολουθούμενη πορεία στους υδραυλικούς υπολογισμούς συνίσταται κυρίως στον προσδιορισμό μιας "υδραυλικά μέσης", ή "ισοδύναμης" τιμής ( $n_E$ ) του συντελεστή αντίστασης σε όλη την βρεχόμενη περίμετρο,  $n_E = \text{σταθ.}$  και στους υπολογισμούς με αυτή την σταθερή τιμή σε όλη τη διατομή - βλ. π.χ. στο γνωστό βιβλίο του Chow ([4], σελ. 136), ή στην ελληνική βιβλιογραφία [1], σελ. 234 και [2], σελ. 593.

Η πρακτική αυτή ωστόσο αποκρύπτει κάποιες ενδιαφέρουσες λεπτομέρειες και κυρίως το θέμα της εξάρτησης του  $n$  (για βάθος νερού  $y$ ) από τις άλλες παραμέτρους της εκάστοτε ροής.

Στη παρούσα εργασία ακολουθείται διαφορετική πορεία (ανάλογη με την πορεία που ακολουθήθηκε στην εργασία [3]), γίνεται δε προσπάθεια προσδιορισμού του κάθε  $n$  ως συνάρτησης του εκάστοτε βάθους ροής, της γεωμετρίας της ροής και των στοιχείων τραχύτητας του πυθμένα.



Σχήμα 1. Συμβολισμοί

Στο Σχ. 1, παρουσιάζεται η γεωμετρία της ομοιόμορφης ροής σε ορθογωνικό αγωγό. Το βάθος ροής είναι  $y$  (με αντίστοιχο συντελεστή αντίστασης της ροής  $n$ ), ενώ το μέγιστο βάθος (βάθος πλήρωσης του αγωγού) είναι  $y_{\pi}$  (με συντελεστή  $n_{\pi}$ ),  $b$  είναι το πλάτος του αγωγού, ενώ τα στοιχεία τραχύτητας του πυθμένα αποτελούνται από εγκάρσιες ορθογωνικές λωρίδες σκληρού ελαστικού σταθερών διαστάσεων  $\kappa h$ , που βρίσκονται σε μεταβλητές αποστάσεις  $\lambda$  μεταξύ τους (από άξονα σε άξονα των λωρίδων) : Σε κάθε πείραμα το  $\lambda$  διατηρείτο σε όλο το μήκος του αγωγού σταθερό, αλλά μετεβάλλετο από πείραμα σε πείραμα.

Η εκάστοτε υγρή διατομή έχει εμβαδόν  $E = b \cdot y$ , η βρεχόμενη περίμετρος είναι  $\Pi = b + 2y$ , ο αριθμός Reynolds είναι  $Re = V \cdot R / \nu$ , όπου  $V = Q/E =$  μέση ταχύτητα διατομής (m/sec) και  $\nu =$  κινηματική συνεκτικότητα του νερού ( $m^2/sec$ ), ενώ ο αριθμός Froude είναι  $Fr = V / \sqrt{g \cdot y}$ . Σε όλες τις ροές είναι  $Re \gg Re_{\text{κρισ}}$  (πλήρως τυρβώδεις ροές) και  $Fr < 1$  (υποκρίσιμες ροές).

Η τεχνική της χρήσης εγκάρσιων λωρίδων ορθογωνικής διατομής σε αποστάσεις  $\lambda$  μεταξύ τους έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στα Εργαστήρια Υδραυλικής στο παρελθόν, βλ. π.χ. [4], σελ. 197, [5], [6], [7] και [8]. Σε όλες τις περιπτώσεις η τραχύτητα του πυθμένα εκπροσωπείται (με  $h =$  σταθ.) από τους λόγους  $\lambda/h$ .

Με διαστατική ανάλυση είναι δυνατόν να προκύψει η ποιοτική σχέση

$$\frac{n}{n_{\pi}} = f\left(\frac{y}{y_{\pi}}, \frac{y_{\pi}}{b}, \frac{\lambda}{h}, Re, Fr\right), \quad (2)$$

όπου  $f =$  συνάρτηση. Επειδή η ροή είναι τυρβώδης και υποκρίσιμη οι παράμετροι  $Re$ ,  $Fr$ , δεν μετέχουν τελικά στην παραπάνω συνάρτηση. Έτσι η πιο πάνω σχέση περιορίζεται στη μορφή,

$$\frac{n}{n_{\pi}} = f\left(\frac{y}{y_{\pi}}, \frac{y_{\pi}}{b}, \frac{\lambda}{h}\right), \quad (3)$$

που σημαίνει ότι το  $n$  εξαρτάται από τα  $n_{\pi}$ ,  $y$ ,  $y_{\pi}$ ,  $\lambda$ ,  $h$  και  $b$ .

Σημαντικό αντικείμενο στην έρευνα αυτή είναι ο επηρεασμός από τα εκάστοτε βάθη ροής  $y$  και πλήρωσης  $y_{\pi}$ , διότι το θέμα αυτό συναρτάται προς αλλά και ερμηνεύεται με βάση την γνωστή δευτερεύουσα ροή β' είδους που εμφανίζεται στους ευθύγραμμους αγωγούς τυρβώδους ροής. (βλ. π.χ. [3]).

## 1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

### 1.1 Περιγραφή διάταξης

Οι πειραματικές μετρήσεις έγιναν σε ανοικτό αγωγό μήκους 10,75 m περίπου, πλάτους 25 cm, κατά μήκος κλίσης 0,12% και με πλευρές από γυαλί. Στον πυθμένα επικολλούντο σε όλο το μήκος δυο σειρές από εγκάρσιες λωρίδες ορθογωνικής διατομής ύψους  $h$ , 4 mm και 8 mm σε σχετικές αποστάσεις  $\lambda/h = 6,25-12,5-25-50-100-\infty$  ( $\kappa = 4\text{mm}$ ), ή  $\lambda/h = 11,25-22,5-45-90-\infty$  ( $2\kappa = 8\text{mm}$ ).

Οι παροχές μετριόταν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια με διαφορικό μανόμετρο τετραχλωράνθρακα, τα βάθη ροής με σταθμήμετρα μεγάλης ακρίβειας, η δε ομοιόμορφη ροή επιτυγχανόταν με χρήση ειδικού - κατάλληλου κατάντη θυροφράγματος. Μετριόταν κατά σειρά η θερμοκρασία  $\theta^{\circ}$  του νερού (και από πίνακες βρισκόταν το  $\nu$ ), οι παροχές  $Q$ ,  $Q_{\pi}$ , τα βάθη  $y$  και  $y_{\pi}$ , υπολογιζόταν τα  $E$ ,  $\Pi$ ,  $R$ ,  $V = Q/E$ , από δε τον τύπο Manning (με επίλυση προς  $n$ ,  $n_{\pi}$ ) προσδιοριζόταν οι εκάστοτε τιμές  $n$ ,  $n_{\pi}$ .

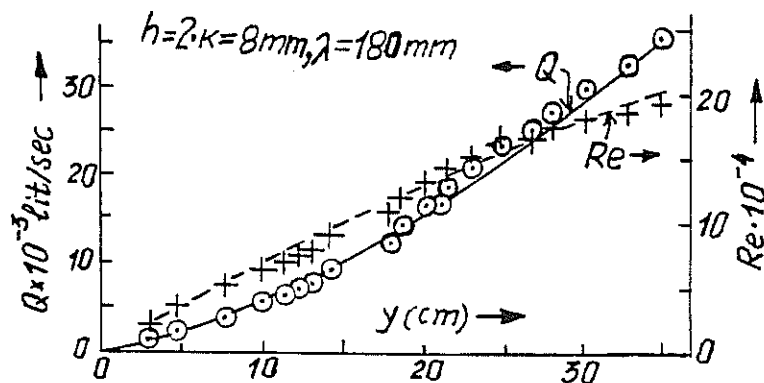
Πραγματοποιήθηκαν 6 σειρές μετρήσεων για  $h = 4\text{mm}$  (με 78 επι μέρους μέσα βάθη ροής  $y$  και τα αντίστοιχα  $n$ ), και 5 σειρές μετρήσεων για  $h = 2 \cdot \kappa = 8\text{mm}$  (με 87 επι μέρους μέσα βάθη ροής  $y$  και τα αντίστοιχα  $n$ ). Για να βρεθεί το εκάστοτε μέσο βάθος της ομοιόμορφης ροής (για κάθε παροχή) μετριόταν τα βάθη σε 5 σταθμούς κατά μήκος του αγωγού, όταν δε γινόταν βέβαιο ότι τα βάθη αυτά δεν διέφεραν πέρα του 1mm μεταξύ τους (δηλ. γινόταν βέβαιο ότι η ροή ήταν πρακτικά ομοιόμορφη), τότε ως μέσο βάθος (για την συγκεκριμένη  $Q$ ) λαμβανόταν ο μέσος όρος βαθών στους 5 σταθμούς. Σε κάθε ζεύγος  $Q$ ,  $\lambda/h$  αντιστοιχούσε ένα κατάλληλο άνοιγμα του θυροφράγματος που έδινε μια και μόνο ομοιόμορφη ροή, δηλ. ένα βάθος ροής  $y$  (ή  $y_{\pi}$ ).

Οι μετρήσεις ήταν συστηματικές είχαν συνέπεια και συνέχεια μεταξύ τους, οι αριθμοί Reynolds μετεβάλλοντο μεταξύ 20.400 και 220.000, οι αριθμοί Froude μετεβάλλοντο μεταξύ 0,2 και 0,46, ενώ τα βάθη ροής κυμαίνονταν από 2,5 έως 35,5 cm. Επίσης το εύρος μεταβολής των παροχών κυμαίνετο από 1,2 - 40 l/sec. των ταχυτήτων από 16 - 45 cm/sec. και των λόγων  $\lambda/h$  από 6,25 -  $\infty$ , ενώ τέλος οι λόγοι  $y_{\pi}/b$  μετεβάλλοντο από 0,2 - 1,2 και οι λόγοι  $y/y_{\pi}$  από 0 - 1.

### 2.2. Πρωτογενείς μετρήσεις

Για τα πρωτογενή αποτελέσματα με  $h = \kappa = 4\text{mm}$  βλ. εργασία [3].

Για  $h = 2\kappa = 8\text{mm}$  στο σχήμα 2 παρουσιάζονται καμπύλες  $Q - y$  και  $Re - y$ , όπως δε παρατηρείται από το σχήμα αυτό οι μετρήσεις ήταν συνεπείς μεταξύ τους. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν από τους Χ. Δαλαβούρα - Π. Κουλούρη ([9]).



Σχήμα 2. Πρωτογενείς μετρήσεις

### 3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μετά τις γενόμενες μετρήσεις, για κάθε λόγο  $\lambda/h$  υπολογίστηκαν οι λόγοι  $y/y_{\Pi}$  και οι αντίστοιχοι λόγοι  $n/n_{\Pi}$ .

Στην επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων υπετέθη ότι ο λόγος  $n/n_{\Pi}$  ( $=N$ ) συνδέεται προς το λόγο  $y/y_{\Pi}$  ( $=Y$ ) με εξισώσεις της μορφής

$$N = A \cdot Y^B \cdot (1 - Y)^{\Gamma} + Y, \quad (4)$$

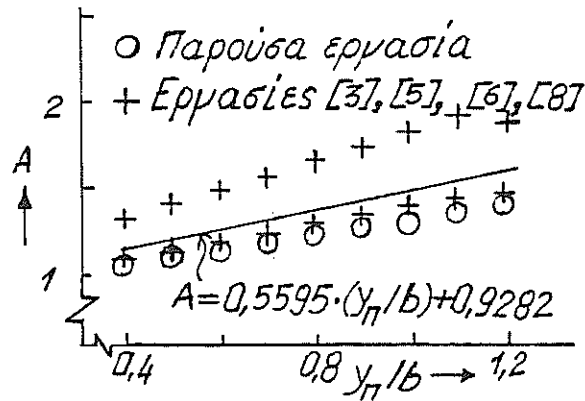
όπου  $A, B, \Gamma$  αριθμητικοί συντελεστές των οποίων οι τιμές προέκυψαν χωριστά για κάθε μια μέτρηση (ελάχιστα τετράγωνα). Από βοηθητικές - δοκιμαστικές συσχετίσεις προέκυψε ότι τα  $A$  και  $B$  συνδέονται συστηματικά κυρίως με το λόγο  $y_{\Pi}/b$ , το δε  $\Gamma$  ότι συνδέεται κυρίως με το λόγο  $\lambda/h$ .

Για την επεξεργασία των δεδομένων με  $h = \kappa = 4\text{mm}$  βλ. εργασία [3], στην ίδια δε εργασία μπορεί να αναζητηθεί και η επεξεργασία των στοιχείων των εργασιών του Myers ([6]), Knight κ.α. ([8]), Knight κ.α. ([5]), και η επιτυχής σύγκριση αυτών με τα αποτελέσματα της εργασίας [3].

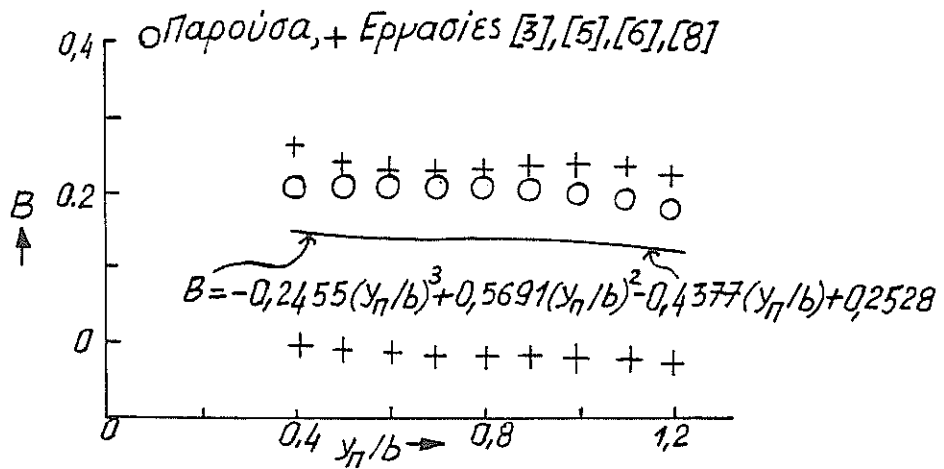
Στο Σχ. 3 παρουσιάζεται για όλες τις μετρήσεις (τις εδώ, της εργασίας [3], και των εργασιών [5], [6] και [8]) η συσχέτιση των  $A$  με τους λόγους  $y_{\Pi}/b$ , προκύπτει δε η εξίσωση

$$A = 0,5595 \cdot (y_{\Pi}/b) + 0,9282. \quad (5)$$

Στο Σχ. 4 παρουσιάζεται για όλες τις μετρήσεις η συσχέτιση των  $B$  και  $y_{\Pi}/b$  προκύπτει δε η εξίσωση



Σχήμα 3. Σχέση A και  $y_{\Pi}/b$

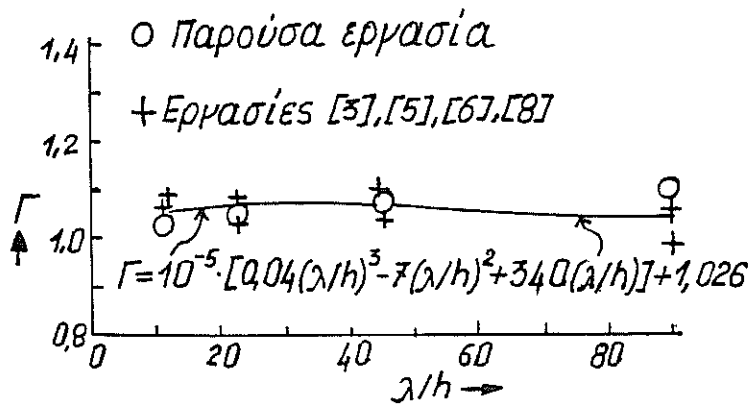


Σχήμα 4. Σχέση B και  $y_{\Pi}/b$

$$\begin{aligned}
 B = & -0,2455 \cdot (y_{\Pi}/b)^3 + 0,5691 \cdot (y_{\Pi}/b)^2 - \\
 & - 0,4377 \cdot (y_{\Pi}/b) + 0,2528
 \end{aligned} \tag{6}$$

Τέλος στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται για όλες τις μετρήσεις η συσχέτιση των B και  $\lambda/h$  προκύπτει δε η εξίσωση



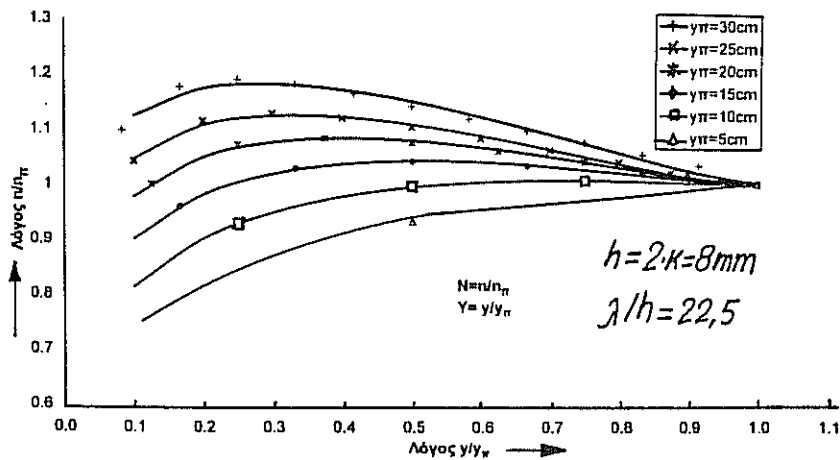


Σχήμα 5. Σχέση  $\Gamma$  προς  $\lambda/h$

$$\Gamma = 10^{-5} \cdot [0,04 \cdot (\lambda/h)^3 - 7(\lambda/h)^2 + 340 \cdot (\lambda/h) + 1,026] \quad (7)$$

Οι τελευταίες τρεις εκφράσεις των εξισώσεων (5), (6), (7), είναι κάπως διαφορετικές από τις αντίστοιχες της εργασίας [3] κατά τους αριθμητικούς συντελεστές, τούτο δε οφείλεται στις επιπλέον νέες μετρήσεις με  $h = 8\text{mm}$ .

Κατ' αυτόν τον τρόπο οι εξισώσεις (4), (5), (6), (7), δίνουν την πλήρη συσχέτιση μεταξύ  $n/n_{\Pi}$ ,  $y/y_{\Pi}$ ,  $y_{\Pi}/b$  και  $\lambda/h$ , μπορούν δε να χαραχθούν όλες οι καμπύλες, ως π.χ. του Σχ. 6 οι οποίες όπως παρατηρείται εκπροσωπούν καλώς τα πειραματικά σημεία.



Σχήμα 6. Τυπικές καμπύλες  $n/n_{\Pi}$

## 2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγιναν μεθοδικές μετρήσεις για την εύρεση της σχέσης μεταβολής του συντελεστή αντίστασης  $n$  (Manning) σε σχέση με το  $n_{\pi}$  (πλήρωσης), το λόγο βαθών ροής  $y/y_{\pi}$ , καθώς και τους λόγους  $l/h$  (σχετικής τραχύτητας) και  $y_{\pi}/b$  (επιρροής από το πλάτος), σε ορθογωνικούς αγωγούς διαφορετικής τραχύτητας, στους οποίους η τραχύτητα των τοιχωμάτων παρέμενε πάντα σταθερή, ενώ η τραχύτητα του πυθμένα μετεβάρλετο συστηματικά.

Οι εξισώσεις (4), (5), (6) και (7), δίνουν την πλήρη συσχέτιση των διαφόρων παραμέτρων που συμμετέχουν σ' αυτό το ενδιαφέρον τεχνικό φαινόμενο της ροής, μπορούν δε να εξηγήσουν το μηχανισμό, και είναι χρήσιμες και στο σχεδιασμό των αγωγών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δημητρίου Ι. 2000. Εφαρμοσμένη Υδραυλική, Αθήνα
2. Δημητρίου Ι. Δημητρίου Δ. 1998. Στοιχεία Υδραυλικής για πρακτικές εφαρμογές, Αθήνα
3. Δημητρίου Ι. Μανασσάκης Ε. Δημητρίου Δ. 1999. Μεταβολή συντελεστή αντίστασης σε ανοικτό αγωγό. *Πρακτικά 4<sup>ου</sup> Εθν. Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ, Βόλος*, σελ 93-97, Τεύχος Β.
4. Chow V.T. 1959. Open Channel Hydraulics, Mc Graw - Hill.
5. Knight D. Mc Donald A. 1979. Hydraulic Resistance of Artificial Strip Roughness, *ASCE, J. Hydr. Eng.*, 105 (6) p.p. 675-690.
6. Myers R. 1982. In fluence of geometry on discharge capacity of open channels, *ASCE, Euromech Congress, Istanbul*.
7. Knight D. Demetriou J. Hamed M. 1984. Boundary shear in smooth rectangular channels. *ASCE, J. of Hydr. Eng.*, 110(4), p.p. 405-422.
8. Knight D. Demetriou J. 1983. Flood plain and main channel flow interaction, *ASCE, J. of Hydr. Div.*, 109(8), p.p. 1073-1092.
9. Δαλαβούρας Χ. Κουλούρης Π. 2000. Αγωγοί διαφορετικής τραχύτητας (στοιχεία πυθμένα). *Διπλ. Εργασία*, Τμ. Πολ. Μηχ. ΕΜΠ (με επίβλεψη του συγγραφέα).

# **ΠΑΡΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΤΤΙΚΗ**

**Σ. Γιακουμάκης, Σ. Ροσμαράκης, Μ. Φόνσος**

Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Ε.Μ.Π.  
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Αθήνα.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Οι καταστροφικές πυρκαγιές κατά τα έτη 1995 και 1998 μείωσαν δραματικά τη δασική βλάστηση του Πεντελικού όρους στην ανατολική Αττική. Αυτό οδήγησε στην ανάγκη επαναπροσδιορισμού των παροχών σχεδιασμού σε λεκάνες απορροής της πληγείσας περιοχής με σκοπό τον έλεγχο επάρκειας υπαρχόντων υδραυλικών έργων, (ανοίγματα γεφυρών, οχετοί). Με τη βοήθεια της μεθόδου του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος εκτιμήθηκε η παροχή σχεδιασμού πεντηκονταετίας για τρεις καταστάσεις της δασικής βλάστησης: προ και μετά την πυρκαγιά του έτους 1995 και μετά την πυρκαγιά του έτους 1998. Με βάση τα εξαχθέντα αποτελέσματα προτείνεται επαναδιαστασιολόγηση των υπαρχόντων ή κατασκευή νέων έργων, ώστε να είναι πλέον δυνατή η αποτελεσματική αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου μετά τις πυρκαγιές.

# **DESIGN DISCHARGES IN RELATION TO THE DECREASE OF FOREST VEGETATION IN EAST ATTIKI**

**S. Giakoumakis, S. Rosmarakis, M. Fonsos**

Laboratory of Reclamation Works and Water Resources Management N.T.U.A.  
9 Iroon Polytechniou Str., 15780, Athens.

## **ABSTRACT**

Destructive fires during 1995 and 1998 decreased dramatically forest vegetation in Penteli mountain to the east Attiki area. Thus, there was need for determining design discharges to river basins of this area, allowing to check the sufficiency of existing hydraulic constructions, (bridge openings, culverts). Using the synthetic unit hydrograph method, design discharges for 50 year return period were estimated for three situations concerning forest vegetation: before and after fire event of the year 1995 and after fire event of the year 1998. Based on the obtained results one concludes that reconstruction of the existing works or construction of new ones is necessary for facing flood risk after fires.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή εστιάζεται στον ποσοτικό προσδιορισμό της αύξησης των αιχμών των παροχών πλημμύρας και στον έλεγχο επάρκειας υπαρχόντων υδραυλικών έργων λόγω της αποτέφρωσης του μεγαλύτερου μέρους των δασών του Πεντελικού όρους στην περιοχή της ανατολικής Αττικής. Είναι γνωστό ότι η καταστροφή της βλάστησης συντελεί τα μέγιστα στην αύξηση και διευκόλυνση της ροής των πλημμυρικών υδάτων εξαιτίας της σημαντικής μείωσης των απωλειών κατακράτησης και διήθησης κατά τη διάρκεια μιας ραγδαίας βροχής.

Η περιοχή της ανατολικής Αττικής έχει πληγεί στο πρόσφατο παρελθόν από δύο μεγάλες σε έκταση πυρκαγιές, (κατά το θέρους του έτους 1995 και του έτους 1998). Επιπλέον, στην περιοχή αυτή υπάρχουν πυκνοκατοικημένοι δήμοι με συνεχώς αυξητική πορεία του πληθυσμού τους τα τελευταία χρόνια (Γέρακας, Παλλήνη, Ραφήνα, παραλία Μαραθώνα), ενώ κατασκευάζεται παράλληλα και το νέο διεθνές αεροδρόμιο της Αθήνας στα Σπάτα, καθώς και μεγάλες οδικές αρτηρίες (Αττική οδός) που αναμένεται να αλλάξουν ριζικά τις χρήσεις γης και το ευρύτερο περιβάλλον της περιοχής. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες καθιστούν απαραίτητη την εκπόνηση και την εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης πρότασης αντιπλημμυρικής προστασίας της περιοχής.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος σε επίπεδο λεκάνης απορροής και εκτιμήθηκε η παροχή αιχμής πλημμύρας πεντηκονταετίας για την προ του θέρους 1995 κατάσταση, για την μετά τις πυρκαγιές του θέρους 1995 και τέλος, για την μετά τις πυρκαγιές του θέρους 1998 κατάσταση.

Με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών προτείνεται επαναδιαστασιολόγηση σε ήδη υπάρχοντα έργα, (γέφυρες, οχετοί σε βασικούς οδικούς άξονες). Τα μεγέθη των «αναγκαίων υδραυλικών διατομών» βρίσκονται από την πλευρά της ασφάλειας διότι δεν έχει ληφθεί υπόψη η πιθανή –και το δίχως άλλο αναγκαία- κατασκευή έργων και σε επίπεδο ορεινής λεκάνης.

## 2. ΘΕΩΡΙΑ

### 2.1 Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Λόγω έλλειψης υδρομετρήσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος, προτιμήθηκε ένας από τους πλέον χρησιμοποιούμενους στην Ελλάδα τύπους συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (ΜΥΓ), βροχής διάρκειας 1 ώρας, που μπορεί να εφαρμοστεί σε λεκάνες απορροής έκτασης έως και 500 km<sup>2</sup>. Ο τύπος αυτός είναι τριγωνικού σχήματος και η βασική παράμετρός του είναι ο χρόνος ανόδου, T<sub>p</sub> (h), που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση πολλαπλής παλινδρόμησης, [1].

$$T_p(\text{ΜΥΓ } 1 \text{ ώρας})=46.6 L^{0.14}/[S^{0.38} (1+\text{URBAN})^{1.99} \text{RSMD}^{0.4}] \quad (1)$$

όπου L το μήκος της κύριας μισγάγγειας, (km), S η μέση κλίση της κύριας μισγάγγειας, μετρημένη ανάμεσα στις θέσεις 10% και 85% του μήκους της από την έξοδο της λεκάνης απορροής, (m/km):

$$S=\{Z_{85}-Z_{10}\}/\{0.75 L\} \quad (2)$$

Z<sub>85</sub>, Z<sub>10</sub>, (m): υψόμετρα κοίτης υδατορεύματος στις θέσεις 10% και 85% του μήκους L της κύριας μισγάγγειας.

URBAN: ποσοστό αστικής ανάπτυξης στη λεκάνη απορροής, ( $0 \leq \text{URBAN} \leq 1$ ).

RSMD: παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, (μέγιστο ύψος βροχής 24ωρης διάρκειας περιόδου επαναφοράς 5 ετών).

Η χρονική βάση του μοναδιαίου υδρογραφήματος (συνολική διάρκεια πλημμύρας), δίνεται, συναρτήσει του χρόνου ανόδου  $T_p$ , από την εξίσωση:

$$T_b = 2.52 T_p \quad (3)$$

Η παροχή αιχμής  $Q_p$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) του μοναδιαίου υδρογραφήματος υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Q_p = 5.6 A/T_b \quad (4)$$

όπου  $A$  η επιφάνεια της λεκάνης απορροής, ( $\text{km}^2$ ).

Τα μεγέθη  $T_p$ ,  $T_b$ ,  $Q_p$  που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, ορίζουν πλήρως το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα.

Εξαιτίας της ταχείας υδρολογικής απόκρισης και του μικρού σχετικά μεγέθους των περισσότερων από τις λεκάνες απορροής που εξετάστηκαν, κρίθηκε αναγκαίο να γίνει αναγωγή σε μοναδιαίο υδρογράφημα (ΜΥΓ), βροχής μικρότερης διάρκειας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε διάρκεια βροχής 0.5 h και ο χρόνος ανόδου της εξίσωσης (1) διορθώθηκε ως ακολούθως:

$$T_p (\text{ΜΥΓ } 0.5 \text{ h}) = T_p (\text{ΜΥΓ } 1.0 \text{ h}) - \{\Delta t_1 - \Delta t_2\}/2 \quad (5)$$

όπου:  $\Delta t_1 = 1.0 \text{ h}$  και  $\Delta t_2 = 0.5 \text{ h}$ .

## 2.2 Συνθετικό νετόγραμμα σχεδιασμού

Για την κατασκευή του νετογράμματος σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη περιόδου επαναφοράς 50 ετών που έχει επιλεγεί για τη διαστασιολόγηση έργων αποχέτευσης ομβρίων που συνδέονται με την Αττική οδό:

$$h_r = 58.2 t^{0.46} \quad (6)$$

όπου  $h_r$  το συνολικό ύψος βροχής σε mm και  $t$  ο χρόνος σε h.

Το ύψος περισσεύματος βροχής ή ύψος καθαρής βροχής σε κάθε χρονικό διάστημα στο συνθετικό νετόγραμμα εκτιμήθηκε με τη μέθοδο της S.C.S., [2], με βάση τις εξισώσεις:

$$h_R = (h_r - 0.2 S_{\max})^2 / (h_r + 0.8 S_{\max}) \quad h_r > 0.2 S_{\max} \quad (7)$$

$$h_R = 0 \quad h_r \leq 0.2 S_{\max} \quad (8)$$

όπου  $h_R$  το ύψος περισσεύματος βροχής (mm) και  $S_{\max}$  (mm) παράμετρος συνολικών απωλειών βροχής στη λεκάνη απορροής. Η παράμετρος αυτή εκτιμήθηκε συναρτήσει του «αριθμού καμπύλης απορροής» CN, από την εξίσωση:

$$S_{\max} = 25.4 ([1000/\text{CN}] - 10) \quad (9)$$

Ο «αριθμός καμπύλης απορροής» CN εξαρτάται από τα εξής:

- (α). Υδρολογικό τύπο και επομένως διηθητικότητα του εδάφους,
- (β). Κατάσταση αρχικής υγρασίας,

(γ). Κατανομή χρήσεων γης στη λεκάνη απορροής.

Οι τιμές του αριθμού καμπύλης με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά, ελήφθησαν για «μέσες συνθήκες» από πίνακες, [3]. Ως “μέσες συνθήκες” προσδιορίζονται οι παρακάτω:

(α). Υδρολογικός τύπος εδάφους: B-C.

(β). Κατάσταση αρχικής υγρασίας εδάφους: Π

Η κατανομή των χρήσεων γης έγινε σύμφωνα με τον σχετικό χάρτη χρήσεων γης της ευρύτερης περιοχής. Οι γενικές κατηγορίες χρήσεων γης μπορεί να συνοψισθούν ως εξής:

1. Δομημένες περιοχές, (επιλεγείσα τιμή “αριθμού καμπύλης απορροής”:  $CN_1=90$ )
2. Δάση, ( $CN_2=70$ )
3. Γεωργική γη, ( $CN_3=80$ )
4. Βοσκότοποι - χορτολιβαδικές εκτάσεις, ( $CN_4=75$ ).

Με βάση τον διαθέσιμο χάρτη χρήσεων γης έγινε εμβαδομέτρηση των επιφανειών που αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες και στη συνέχεια εκτιμήθηκε μία σταθμισμένη τιμή του αριθμού καμπύλης CN για την κάθε λεκάνη απορροής από την εξίσωση, [4]:

$$CN = \Pi_1 * CN_1 + \Pi_2 * CN_2 + \Pi_3 * CN_3 + \Pi_4 * CN_4 \quad (10)$$

όπου:

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$  τα ποσοστά χρήσεων γης και  $CN_1, CN_2, CN_3, CN_4$  οι αντίστοιχες εκτιμήσεις του αριθμού καμπύλης απορροής με βάση την κάθε χρήση γης, όπως αναφέρθηκαν προηγουμένα.

Ο επιμερισμός του συνολικού ύψους βροχής της όμβριας καμπύλης των 50 ετών στο χρόνο έγινε με τη “μέθοδο της δυσμενέστερης χρονικής διάταξης”, [5]:

Επιλέγοντας χρονικό βήμα υπολογισμών  $\Delta t=0.5$  h και συνολική διάρκεια βροχής 12 h, ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα υπολογισμών:

i). Βρέθηκε από την εξίσωση (6) το μέγιστο συνολικό ύψος βροχής  $h_{r(i)}$  που αντιστοιχεί στο χρόνο  $i \times \Delta t$ ,  $i = 1 \dots 24$ .

ii). Βρέθηκε από τις εξισώσεις (7), (8) και (9) το αντίστοιχο ύψος περισσεύματος βροχής,  $h_{R(i)}$

iii). Υπολογίστηκαν οι διαφορές περισσεύματος βροχής  $\Delta h_R$  στα διαδοχικά χρονικά διαστήματα μήκους  $\Delta t$  το καθένα.

iv). Οι διαφορές  $\Delta h_R$  που ακολουθούν φθίνουσα σειρά στο χρόνο διατάχθηκαν ώστε η μεγαλύτερη να ευρίσκεται απέναντι από την μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος, η αμέσως μικρότερη απέναντι από την αμέσως μικρότερη τεταγμένη του ΜΥΓ κ.ο.κ.

v). Η παραπάνω διάταξη αντιστράφηκε χρονικά για να προκύψει το τελικό συνθετικό υετόγραμμα.

### 2.3 Πλημμυρογράφημα σχεδιασμού

Διαθέτοντας το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα καθώς και το συνθετικό υετόγραμμα για κάθε λεκάνη απορροής, το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της προέκυψε από τη σύνθεσή τους με βάση τις γνωστές από τη θεωρία του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος αρχές της αναλογίας και της επαλληλίας. Η σύνθεση αυτή εκφράζεται μαθηματικά από την εξίσωση:

$$Q_j = \sum_{i=m}^n QU_{(j+1-i)} [\Delta h_{R(i)}/10] \quad (11)$$

όπου:  $m = \max(1, j+1-N_u)$ ,  $n = \min(j, N_h)$ .

$Q_j$ : τεταγμένη του πλημμυρογραφήματος, ( $j=1,2,\dots,[N_u+N_h-1]$ ),  $QU$ : τεταγμένη μοναδιαίου υδρογραφήματος,  $\Delta h_{R(i)}$ : τεταγμένη συνθετικού υετογράμματος,  $N_u$ : αριθμός τεταγμένων μοναδιαίου υδρογραφήματος;  $N_u = (T_b/\Delta t)-1$ , όπου  $T_b$  (h) η χρονική βάση του μοναδιαίου υδρογραφήματος και  $\Delta t$  (h), το χρονικό βήμα υπολογισμών,  $N_h$ : αριθμός χρονικών διαστημάτων μήκους  $\Delta t$  στο συνθετικό υετόγραμμα;  $N_h = t_h/\Delta t$ , όπου  $t_h$  (h) η διάρκεια της ραγδαίας βροχής σχεδιασμού.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για την εφαρμογή της μεθόδου του συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος επελέγησαν στην περιοχή ενδιαφέροντος 12 χαρακτηριστικές διατομές-κόμβοι στο υδρογραφικό δίκτυο, που αντιστοιχούν σε σημεία εξόδου λεκανών απορροής όπου οι πυρκαγιές των ετών 1995 και 1998 κατέστρεψαν το μεγαλύτερο μέρος της δασικής βλάστησης. Επιπλέον κριτήρια επιλογής ήσαν η σπουδαιότητα των υπαρχόντων στους κόμβους αυτούς υδραυλικών έργων (ανοίγματα γεφυρών, σχετοί), καθώς και το μέγεθος των ανάντη λεκανών απορροής, (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Επιλεγείσες διατομές – κόμβοι στο υδρογραφικό δίκτυο

Διατομή υδρογραφικού δικτύου – Κόμβος	Τοποθεσία	Επιφάνεια ανάντη λεκάνης απορροής, (km <sup>2</sup> )
K1	Εκβολή ρέματος Ραφήνας	100.8
K2	Εκβολή ρέματος Βρανά της λεκάνης Ραπεντώσας	30.7
K3	Γέφυρα ανάντη κατά τη φορά της ροής ρέματος Ποδονίφτη στην πλατεία Δροσοπούλου-Φιλοθέη	19.4
K4	Γέφυρα επί της οδού Σολωμού – Χαλάνδρι (ρέμα Πολυδρόσου)	17.8
K5	Πλακοσκεπής οχετός στην εκβολή ρέματος, Κοράλι – Νέα Μάκρη	4.0
K6	Πλακοσκεπής οχετός επί της οδού Ποσειδώνος - Νέα Μάκρη	3.1
K7	Πλακοσκεπής οχετός επί της οδού Ποσειδώνος, Οικισμός Φλωρίς – Ζούμπερι	2.4
K8	Δίδυμος κυκλικός οχετός επί της οδού Δημοκρατίας, Κατασκηνώσεις Αγίου Ανδρέα	2.3
K9	Δίδυμος κυκλικός οχετός επί της οδού Δημοκρατίας, Κόκκινο Λιμανάκι	1.6
K10	Γέφυρα επί της λεωφ. Μαραθώνος, Πικέρμι	25.7
K11	Γέφυρα επί της λεωφ. Μαραθώνος, Παλλήνη	4.6
K12	Γέφυρα επί της λεωφ. Μαραθώνος, Γέρακας	6.3

Στον Πίνακα 2 δίνονται τα ποσοστά της δασικής κάλυψης για τις τρεις περιπτώσεις που εξετάστηκαν: 1. πριν την πυρκαγιά του 1995 2. μετά την πυρκαγιά του 1995 3. μετά την πυρκαγιά του 1998. Σημειωτέον ότι η εξάπλωση της πυρκαγιάς του έτους 1998 συνέβη σε μεγάλο βαθμό στην περιοχή που είχε ήδη καταστραφεί το έτος 1995.



Πίνακας 2. Ποσοστά δασικής κάλυψης

Διατομή υδρογραφικού δικτύου – Κόμβος	Πριν την πυρκαγιά του 1995 (%)	Μετά την πυρκαγιά του 1995 (%)	Μετά την πυρκαγιά του 1998 (%)
K1	38.3	7.6	4
K2	62	44.7	10
K3	20.6	20.6	15
K4	30.4	30.4	13.8
K5	62.7	1.9	1.9
K6	16.3	2.3	2.3
K7	40.3	11.4	11.4
K8	86.0	30.2	30.2
K9	46.5	43.5	4.1
K10	70	0.6	0.6
K11	44.6	0	0
K12	50	6	0

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στον προηγούμενο Πίνακα, η καταστροφή της δασικής βλάστησης είναι, για κάθε λεκάνη απορροής, σχεδόν ολοκληρωτική με ελάχιστες εξαιρέσεις.

Στον Πίνακα 3 δίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που αφορούν, για κάθε κόμβο, τις παροχές αιχμής πλημμύρας πεντηκονταετίας για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις της δασικής κάλυψης, [6].

Πίνακας 3. Παροχές αιχμής πλημμύρας πεντηκονταετίας

Διατομή υδρογραφικού δικτύου – Κόμβος	Παροχή αιχμής πλημμύρας ( $m^3/s$ ) (πριν την πυρκαγιά του 1995)	Παροχή αιχμής πλημμύρας ( $m^3/s$ ) (μετά την πυρκαγιά του 1995)	Παροχή αιχμής πλημμύρας ( $m^3/s$ ) (μετά την πυρκαγιά του 1998)
K1	412.8	497.9	514
K2	101.7	120.8	146.8
K3	112.4	112.4	125.9
K4	82.7	82.7	125.3

Πίνακας 3. Παροχές αιχμής πλημμύρας πεντηκονταετίας

Διατομή υδρογραφικού δικτύου – Κόμβος	Παροχή αιχμής πλημμύρας (m <sup>3</sup> /s) (πριν την πυρκαγιά του 1995)	Παροχή αιχμής πλημμύρας (m <sup>3</sup> /s) (μετά την πυρκαγιά του 1995)	Παροχή αιχμής πλημμύρας (m <sup>3</sup> /s) (μετά την πυρκαγιά του 1998)
K5	17.3	26.9	27.5
K6	18.9	22.5	23.4
K7	11.8	14.5	14.9
K8	7.8	10.9	11.1
K9	8.4	8.9	13.3
K10	87.6	130.9	131.5
K11	18.2	26.0	26.2
K12	25.2	33.5	35.6

Διαπιστώνεται ότι για κάθε κόμβο υπάρχει αύξηση της αιχμής της παροχής πλημμύρας πεντηκονταετίας σε σχέση με την πριν την πυρκαγιά του έτους 1995 κατάσταση. Οι % αυξητικές διαφορές είναι σημαντικές. Για παράδειγμα, η παροχή αιχμής πλημμύρας πεντηκονταετίας (στήλη 4 του Πίνακα 3) αυξήθηκε σε σχέση με την πριν την πυρκαγιά του 1995 κατάσταση (στήλη 2 του Πίνακα 3) κατά 25% περίπου (κόμβος 1), 45% περίπου (κόμβος 2), 50% (κόμβος 4), 60% περίπου (κόμβος 5), 40% περίπου (κόμβος 8), 60% περίπου (κόμβος 9), 50% (κόμβος 10), 45% περίπου (κόμβος 11) και 40% περίπου (κόμβος 12). Στους κόμβους K5, K6, K7, K8, K10 και K11 μπορεί να παρατηρηθεί μία μικρή αύξηση της παροχής αιχμής πλημμύρας μετά την πυρκαγιά του 1998 (Στήλη 4 Πίνακα 3) σε σύγκριση με την μετά την πυρκαγιά του 1995 κατάσταση (Στήλη 3 Πίνακα 3), χωρίς να έχει επιδεινωθεί η κατάσταση εις ό,τι αφορά τη δασική κάλυψη στις ανάντη των κόμβων αυτών λεκάνες απορροής, (Πίνακας 2). Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από το γεγονός ότι στις λεκάνες απορροής που καταλήγουν στους κόμβους αυτούς, κατά την τριετία μεταξύ 1995 και 1998 αυξήθηκε το ποσοστό δομημένης επιφάνειας λόγω της έντονης οικοδομικής δραστηριότητας που παρατηρείται στην ανατολική Αττική τα τελευταία χρόνια.

Στη συνέχεια έγινε επαναδιαστασιολόγηση των υπάρχοντων υδραυλικών έργων στους επιλεγέντες κόμβους, όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο. Ως παροχές σχεδιασμού επελέγησαν οι τιμές της στήλης 4 του Πίνακα 3. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Υπάρχουσες και προτεινόμενες υδραυλικές διατομές στους επιλεγέντες κόμβους

Κόμβος	Υπάρχουσες διατομές	Προτεινόμενες διατομές
K1	20.40 x 3.00 m	20.40 x 6.00 m
K2	Δεν υφίσταται	Τραπεζοειδής 1:1 b=15 m, H=3.33 m
K3	2.95 x 4.80 m	6.00 x 5.10 m
K4	7.00 x 2.80 m	7.00 x 4.40 m
K5	4.90 x 0.75 m	4.90 x 2.10 m
K6	0.90 x 1.50 m	3.00 x 2.90 m
K7	2.00 x 0.35 m	2.00 x 2.10 m
K8	2 κυκλικοί 0.60 m	2.50 x 1.70 m
K9	2 κυκλικοί 0.60 m	2.50 x 1.60 m
K10	9.40 x 4.70 m	9.40 x 4.70 m
K11	5.20 x 2.80 m	5.20 x 2.80 m
K12	2.80 x 2.00 m	3.40 x 2.60 m

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, μόνο στους κόμβους 10 και 11 οι υπάρχουσες διατομές επαρκούν, στον κόμβο 2 υπάρχει ασάφεια κοίτης (δεν υπάρχει κανένα τεχνικό έργο), και σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις χρειάζεται επαναδιαστασιολόγηση με την υπόθεση ότι δεν θα γίνουν καθόλου έργα ορεινής λεκάνης για τη μερική έστω ανάσχεση του όγκου των πλημμυρικών υδάτων, (υπόθεση από την πλευρά της ασφάλειας).

Τα έργα ορεινής λεκάνης (όπως μικρά φράγματα ανάσχεσης ή αναβαθμοί στις ορεινές μισογάκιες – η ΕΥΔΑΠ έχει κατασκευάσει στην πληγείσα περιοχή μερικά μικρά φράγματα μετά τις πυρκαγιές του 1995), είναι το δίχως άλλο απαραίτητο να συνδυάζονται με τις όποιες επεμβάσεις στην πεδινή κοίτη, (διευθετήσεις χειμάρρων). Η ευεργετική επίδραση που έχουν τα έργα ορεινής λεκάνης στους πλημμυρικούς όγκους, δεδομένης της μικρής χωρητικότητας των σχηματιζόμενων ταμιευτήρων, είναι ως επί το πλείστον μικρή αλλά όχι αμελητέα. Διευκρινίζεται ότι η αναμενόμενη, λόγω των έργων αυτών, αύξηση του χρόνου συγκέντρωσης στη λεκάνη απορροής μπορεί να επιφέρει κάποια μείωση στην τιμή της παροχής αιχμής πλημμύρας, η οποία ωστόσο, κατά πόσο σημαντική θα είναι, εξαρτάται από την πυκνότητα και τη σωστή «χωροθέτηση» των έργων αυτών, όπως έχει αποδείξει η αποκτηθείσα εμπειρία από άλλες συγκρίσιμες περιπτώσεις. Επιπλέον, οι ταμιευτήρες των φραγμάτων ανάσχεσης ή/και των αναβαθμών αναμένεται εν προκειμένω να γεμίσουν σε σύντομο χρόνο –λόγω της απώλειας της δασικής βλάστησης- από φερτά υλικά και επομένως, η ευεργετική τους επίδραση θα αφορά κύρια το μέγεθος της στερεοπαροχής και δευτερευόντως της υδατοπαροχής.

Συμπεραίνεται εντέλει ότι ένας σωστός σχεδιασμός επιβάλλει την κατασκευή έργων ορεινής λεκάνης σε συνδυασμό με την επαναδιαστασιολόγηση των υπαρχουσών

υδραυλικών διατομών στην πεδινή κοίτη με προτεινόμενες παροχές σχεδιασμού τις αναφερόμενες στη στήλη 4 του Πίνακα 3.

#### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΟ ΣΧΟΛΙΟ**

Οι καταστροφικές πυρκαγιές των ετών 1995 και 1998 μείωσαν σε σημαντικό βαθμό τη δασική βλάστηση σε λεκάνες απορροής της ανατολικής Αττικής. Για το λόγο αυτό κατέστη αναγκαίος ο επαναπροσδιορισμός των παροχών σχεδιασμού πενήκονταετίας για τον έλεγχο επάρκειας υπαρχόντων υδραυλικών έργων στην πληγείσα περιοχή. Ο έλεγχος αυτός κατέδειξε ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων απαιτείται να γίνει επαναδιαστασιολόγηση των έργων αυτών.

#### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[1]. Sutcliffe, J.V., 1978. Methods of Flood Estimation: A Guide to the Flood Studies Report. Institute of Hydrology Report No. 49, 50 pp.

[2]. Suppl. A to Sec.4, Engineering Handbook, U.S.D.A., Soil Conservation Service, 1968. Hydrology, U.S.A.

[3]. Wanielista, M. 1978. Stormwater Management, Quantity and Quality. Ann Arbor Science, Ann Arbor.

[4]. Καπνιάζης Γ., Κούρου Β., 1996. Η επίδραση των αποτεφρωμένων εκτάσεων στη μεταβολή της πλημμυρικής απορροής των υδρολογικών λεκανών της ανατολικής Αττικής. Διπλωματική Εργασία, (επιβλέπων: Γ. Τσακίρης), Ε.Μ.Π., Αθήνα.

[5]. U.S.B.R., 1977. Design of Arch Dams, U.S.A.

[6]. Ροσμαράκης Σ., Φόνσος Μ., 1999. Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών σε λεκάνες απορροής της ανατολικής Αττικής σε σχέση με τη μεταβολή των χρήσεων γης. Διπλωματική Εργασία, (επιβλέπων: Σ. Γιακουμάκης), Ε.Μ.Π., Αθήνα.

# ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΕ ΥΔΑΤΟΡΡΕΥΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

**Ευαγγελία Δ. Φαρσιρώτου**

Δρ Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ.

Περιφέρεια Θεσσαλίας, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων,  
Καλλιθέας 7 & Τζαβέλα, 41 110 ΛΑΡΙΣΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εμφάνιση των πλημμυρών αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο φαινόμενο, στο οποίο υπεισέρχεται πλήθος φυσικών και τεχνικών διεργασιών με κυρίαρχη την ασταθή και ανομοιομορφη κίνηση του νερού σε φυσικά υδατορρέυματα μεταβαλλόμενης διατομής. Στην παρούσα εργασία μελετάται αριθμητικά η μεταβολή της ελεύθερης στάθμης του νερού σε υδατόρρευμα μεταβαλλόμενου πλάτους. Αναπτύχθηκε ένα διδιάστατο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης των φυσικών χαρακτηριστικών της ροής σε υδατόρρευμα σταθερού πυθμένα. Τα αριθμητικά αποτελέσματα της κατανομής του βάθους και της ταχύτητας ροής συμφωνούν ικανοποιητικά με τις διαθέσιμες μετρήσεις.

## NUMERICAL SIMULATION OF FREE SURFACE IN RIVERS OF VARIABLE SECTION

**Evagelia D. Farsirotou**

Dr Civil Engineer, Aristotle University of Thessaloniki  
Kalitheas 7 & Tsavela, 41 110 LARISSA

## ABSTRACT

Flooding is a quite complicate phenomenon in which numerous physical and technical processes are taken place with the unsteady and non-uniform water flow in physical rivers of variable section to be dominant. The variation of water free surface in rivers with different width is numerically studied. A two-dimensional numerical model is developed in order to simulate the physical characteristics of flow in rivers with fixed bed. The numerical results of water depth and velocity profiles were satisfactorily compared with available measurements.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αριθμητική προσομοίωση της ροής σε ανοικτούς αγωγούς, οι οποίοι προσομοιάζουν φυσικά υδατορρέυματα, αποτελεί βασική προϋπόθεση σχεδιασμού και διεύθυνσης της κοίτης και αντιμετώπισης διαφόρων υδραυλικών προβλημάτων. Οι Molls και Chaudhry 1995 [2] ανέπτυξαν ένα διδιάστατο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης της ελεύθερης ροής σε αγωγούς μεταβαλλόμενου πλάτους, σε καμπύλα τμήματα, καθώς και στην περιοχή προβόλων, εφαρμόζοντας το εναλλασσόμενης διεύθυνσης πεπλεγμένο αριθμητικό σχήμα. Οι Panagiotopoulos και Soulis 1999 [3] ανέπτυξαν ένα δισδιάστατο πεπλεγμένο αριθμητικό σχήμα που βασίζεται στη τεχνική πρόβλεψης - διόρθωσης του MacCormack με σκοπό τη διδιάστατη προσομοίωση της ελεύθερης ροής. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα διδιάστατο αριθμητικό μοντέλο βασισμένο στη τεχνική των πεπερασμένων όγκων εφαρμόζοντας ρητό υπολογιστικό σχήμα. Το μοντέλο προσομοιάζει ικανοποιητικά τα φυσικά χαρακτηριστικά της ροής σε υδατορρέυματα πολύπλοκης γεωμετρίας και σταθερού πυθμένα.

## 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΟΗΣ

Η διδιάστατη αριθμητική προσομοίωση της ελεύθερης ροής σε ένα υδατόρρευμα σταθερού πυθμένα βασίζεται στις εξισώσεις συνέχειας και διατήρησης της μάζας του νερού. Οι βασικές παραδοχές που γίνονται είναι ότι: α) Το ρευστό είναι ομογενές και ασυμπιεστό, β) Οι δυνάμεις του ανέμου και η επιτάχυνση Coriolis παραλείπονται και γ) Η κατανομή της πίεσης είναι υδροστατική. Οι διδιάστατες βασικές εξισώσεις της μη μόνιμης, ελεύθερης ροής, σε αγωγό σταθερού πυθμένα [2] είναι:

*Εξίσωση συνέχειας:*

$$-\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} \quad (1)$$

*Εξίσωση διατήρησης της ορμής κατά την οριζόντια διεύθυνση:*

$$-\frac{\partial(hu)}{\partial t} = \frac{\partial\left(\frac{gh^2}{2} + hu^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} + gh(S_{0x} + S_{fx}) - \frac{\partial}{\partial x} \left[ v_t \left( \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[ v_t \left( \frac{\partial(hu)}{\partial y} + \frac{\partial(hv)}{\partial x} \right) \right] \quad (2)$$

*Εξίσωση διατήρησης της ορμής κατά την εγκάρσια διεύθυνση:*

$$-\frac{\partial(hv)}{\partial t} = \frac{\partial\left(\frac{gh^2}{2} + hv^2\right)}{\partial y} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + gh(S_{0y} + S_{fy}) - \frac{\partial}{\partial x} \left[ v_t \left( \frac{\partial(hu)}{\partial y} + \frac{\partial(hv)}{\partial x} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[ v_t \left( \frac{\partial(hv)}{\partial y} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} \right) \right] \quad (3)$$

όπου,  $x$  και  $y$  αντιπροσωπεύουν τις καρτεσιανές συντεταγμένες κατά την κατά μήκος και την εγκάρσια διεύθυνση, αντίστοιχα,  $t$  (s) είναι ο χρόνος,  $u$  και  $v$  (m/s) είναι οι μέσες ως προς το βάθος ταχύτητες κατά τη  $x$  και  $y$  διεύθυνση, αντίστοιχα,  $h$  (m) είναι το βάθος ροής,  $g$  ( $m/s^2$ ) είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $v_t$  ( $m^2/s$ ) είναι ο συντελεστής ιξώδους,  $S_{0x} = -\partial z b / \partial x$  και  $S_{0y} = -\partial z b / \partial y$  είναι οι κλίσεις του πυθμένα του αγωγού

κατά τις δύο διευθύνσεις και  $S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$ ,  $S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$  είναι οι κλίσεις

της γραμμής ενέργειας κατά τις δύο διευθύνσεις και τέλος,  $n$  είναι ο συντελεστής τραχύτητας του Manning. Ο συντελεστής ιξώδους σε άλλες εφαρμογές παίρνει σταθερή δεδομένη τιμή και σε άλλες προσδιορίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά της ροής από τη

σχέση:  $v_t = 6.0 \frac{g}{C^2} h \sqrt{(u^2 + v^2)}$ , όπου  $C = \frac{h^{1/6}}{n}$  είναι ο συντελεστής τραχύτητας του

Chezy.

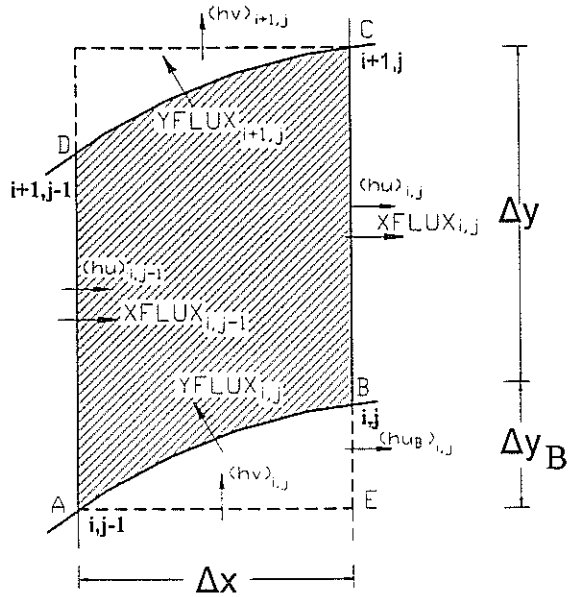
### 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΟΓΚΩΝ

Το σύστημα των διαφορικών εξισώσεων της ροής (1)-(3) επιλύεται εφαρμόζοντας ένα ρητό υπολογιστικό σχήμα που βασίζεται στη τεχνική των πεπερασμένων όγκων [1]. Σε κάθε στοιχειώδη πεπερασμένο όγκο  $\Delta V$ , ο οποίος έχει τη μορφή του σχήματος 1, ισχύει η αρχή της συνέχειας της μάζας και της διατήρησης της ορμής. Για τη χρονική αύξηση  $\Delta t$  και για έναν όγκο ελέγχου  $\Delta V$ , μοναδιαίου ύψους, οι εξισώσεις (1)-(3), παίρνουν αντιστοίχως τη μορφή:

$$-\Delta h = \left[ \Delta(hu)\Delta y + \Delta(hv)\Delta x \right] \frac{\Delta t}{\Delta x \Delta y} \quad (4)$$

$$-\Delta(hu) = \left[ \Delta \left( gh^2/2 + hu^2 \right) \Delta y + \Delta(huv)\Delta x \right] \frac{\Delta t}{\Delta x \Delta y} + gh(S_{0x} + S_{fx})\Delta t - \left\{ \begin{array}{l} \Delta \left[ 2.0 v_t \Delta(hu)\Delta y \right] \frac{\Delta x}{\Delta x \Delta x} + \\ \Delta \left[ v_t \Delta(hu)\Delta x + v_t \Delta(hv)\Delta y \right] \frac{\Delta x}{\Delta x \Delta y} \end{array} \right\} \frac{\Delta t}{\Delta x \Delta y} \quad (5)$$

$$-\Delta(hv) = \left[ \Delta \left( gh^2/2 + hv^2 \right) \Delta x + \Delta(huv)\Delta y \right] \frac{\Delta t}{\Delta x \Delta y} + gh(S_{0y} + S_{fy})\Delta t - \left\{ \begin{array}{l} \Delta \left[ 2.0 v_t \Delta(hv)\Delta x \right] \frac{\Delta y}{\Delta y \Delta y} + \\ \Delta \left[ v_t \Delta(hu)\Delta x + v_t \Delta(hv)\Delta y \right] \frac{\Delta y}{\Delta x \Delta y} \end{array} \right\} \frac{\Delta t}{\Delta x \Delta y} \quad (6)$$



Σχήμα 1: Τυπικός πεπερασμένος όγκος.

Για την εξίσωση συνέχειας (1), όπως φαίνεται στο σχήμα 1, οι αντίστοιχοι όροι  $(XFLUX)_{i,j}$  και  $(YFLUX)_{i,j}$  είναι :

$$(XFLUX)_{i,j} = \left[ \frac{(hu)_{i+1,j} + (hu)_{i,j}}{2} \right] \Delta y \quad (7)$$

$$(YFLUX)_{i,j} = \left[ \frac{(hv)_{i,j-1} + (hv)_{i,j}}{2} \right] \Delta x - \left[ \frac{(hu)_{i,j-1} + (hu)_{i,j}}{2} \right] \Delta y_B \quad (8)$$

Ο δεύτερος όρος στην εξίσωση (8) προέρχεται από την ισορροπία της μάζας στο χώρο ροής ABE (σχήμα 1). Οι όροι  $\Delta(hu)$  και  $\Delta(hv)$  της εξίσωσης (4) δίνονται από τις σχέσεις:

$$\Delta(hu) = (XFLUX)_{i,j} - (XFLUX)_{i,j-1} \quad \text{και} \quad \Delta(hv) = (YFLUX)_{i+1,j} - (YFLUX)_{i,j} \quad (9)$$

Παρόμοιες διαφορές υπολογίζονται για όλους τους  $\Delta$  όρους των εξισώσεων 5 και 6. Για την εξίσωση διατήρησης της ορμής κατά τη διεύθυνση της ροής οι αντίστοιχοι όροι  $(XFLUX)_{i,j}$  και  $(YFLUX)_{i,j}$  είναι :



$$(XFLUX)_{i,j} = \frac{\left(\frac{gh^2}{2} + hu^2\right)_{i,j} + \left(\frac{gh^2}{2} + hu^2\right)_{i+1,j}}{2} \Delta y - 2.0 v_t \left[ \frac{\Delta(hu)_{i,j} + \Delta(hu)_{i+1,j}}{2 \Delta x} \right] \Delta y \quad (10)$$

$$(YFLUX)_{i,j} = \left[ \frac{(huv)_{i,j-1} + (huv)_{i,j}}{2} \right] \Delta x - \left[ \frac{\left(\frac{gh^2}{2} + hu^2\right)_{i,j} + \left(\frac{gh^2}{2} + hu^2\right)_{i,j-1}}{2} \right] \Delta y_B - v_t \left[ \frac{\Delta(hu)_{i,j} + \Delta(hu)_{i,j-1}}{2 \Delta y} + \frac{\Delta(hv)_{i,j} + \Delta(hv)_{i,j-1}}{2 \Delta x} \right] \Delta x + 2.0 v_t \left[ \frac{\Delta(hu)_{i,j} + \Delta(hu)_{i,j-1}}{2 \Delta x} \right] \Delta y_B \quad (11)$$

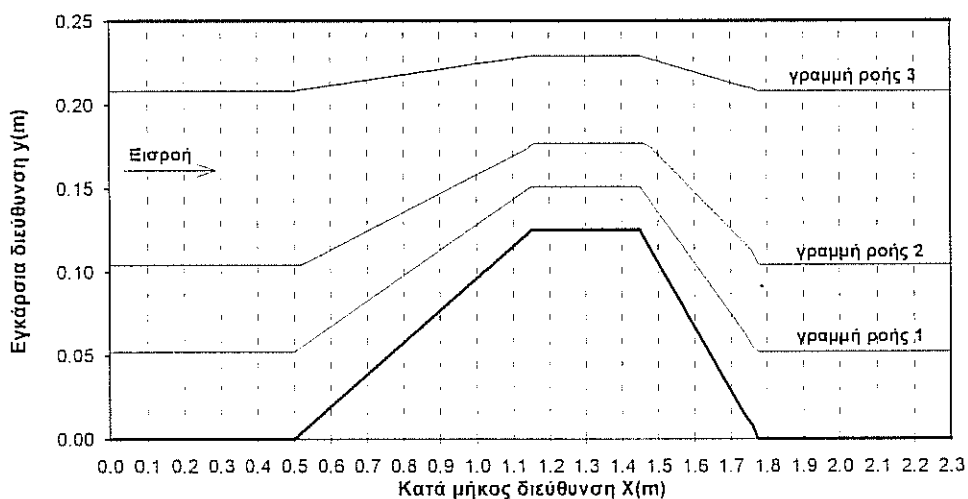
Για την εξίσωση (6) ορίζονται παρομοίως οι αντίστοιχοι όροι  $(XFLUX)_{i,j}$  και  $(YFLUX)_{i,j}$ .

#### 4. ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ ΡΟΗ ΣΕ ΑΓΩΓΟ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ

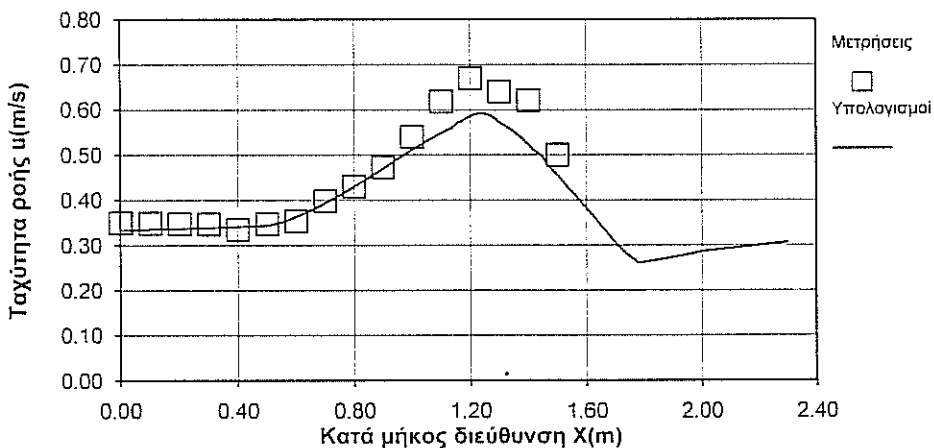
Στην παρούσα εφαρμογή προσομοιάζεται αριθμητικά η υποκρίσιμη ροή σε έναν εργαστηριακό αγωγό μεταβαλλόμενου πλάτους. Στο σχήμα 2 δίνεται σε κάτοψη η γεωμετρία του υπό μελέτη αγωγού καθώς και οι τρεις υποθετικές γραμμές ροή κατά μήκος των οποίων θα γίνει σύγκριση των υπολογιστικών αποτελεσμάτων με τις αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις [4]. Στην είσοδο ο αγωγός έχει πλάτος ίσο με 0.25 m ενώ σε απόσταση 0.50 m παρατηρείται γραμμική μείωση του πλάτους με γωνία συστολής ίση με  $10.88^\circ$ . Σε απόσταση ίση με 1.15 m από την είσοδο του αγωγού και μέχρι απόσταση 1.45 m το πλάτος έχει σταθερή τιμή ίση με 0.125 m. Στη συνέχεια αυξάνεται το πλάτος με γωνία διαστολής ίση με  $21.037^\circ$ . Στο ανάντη ανοικτό όριο καθορίζεται η τιμή της παροχής  $Q=26.06$  l/s ενώ στο κατόντη ανοικτό όριο καθορίζεται ένα ομοιόμορφο σε ολόκληρο το πλάτος του καναλιού βάθος ροής  $h=0.336$  m. Οι κλίσεις του πυθμένα είναι  $S_{0x}=20.0\%$  και  $S_{0y}=0.0\%$ , ενώ ο συντελεστής τραχύτητας του Manning λήφθηκε ίσος με  $n=0.0067$ . Το υπολογιστικό δίκτυο που εφαρμόστηκε είναι ανομοιόμορφο με 87 κόμβους κατά τη διεύθυνση της ροής x και 25 κόμβους κατά την εγκάρσια στη ροή διεύθυνση y. Το μέγεθος του δικτύου είναι πιο πυκνό στην περιοχή της συστολής και της διαστολής και το διάστημα  $\Delta x$  κυμαίνεται από 0.1 έως 0.01m, ενώ το διάστημα  $\Delta y$  είναι ίσο με 0.01m. Για την επιτάχυνση της διαδικασίας σύγκλισης των βασικών εξισώσεων της ροής εφαρμόστηκε στο αριθμητικό μοντέλο η τεχνική του πολλαπλού δικτύου με ένα  $2x2$  πολλαπλό δίκτυο [1]. Στα σχήματα 3 και 4 δίνεται η σύγκριση των υπολογιστικών τιμών της ταχύτητας ροής κατά τη διεύθυνση της ροής x με τις αντίστοιχες εργαστηριακές μετρήσεις κατά μήκος των γραμμών ροής 1 και 3. Ικανοποιητική είναι η συμφωνία κυρίως στην περιοχή της συστολής, στην οποία

παρατηρείται επιτάχυνση της ροής. Η περιοχή της διαστολής αποτελεί το χώρο της έντονης τύρβης, στην οποία δημιουργείται αναστροφή της ροής και παρατηρούνται οι μεγαλύτερες αποκλίσεις. Στα σχήματα 5 και 6 παρουσιάζεται η σύγκριση των υπολογιστικών τιμών του βάθους ροής με τις αντίστοιχες μετρήσεις κατά μήκος των γραμμών ροής 2 και 3. Η σύγκριση έδειξε ότι η τεχνική που εφαρμόζεται είναι ακριβής και αξιόπιστη και ότι η επίδραση της μεταβολής του πλάτους του αγωγού στη διαμόρφωση του προφίλ της ταχύτητας ροής και της ελεύθερης επιφάνειας είναι αισθητή.

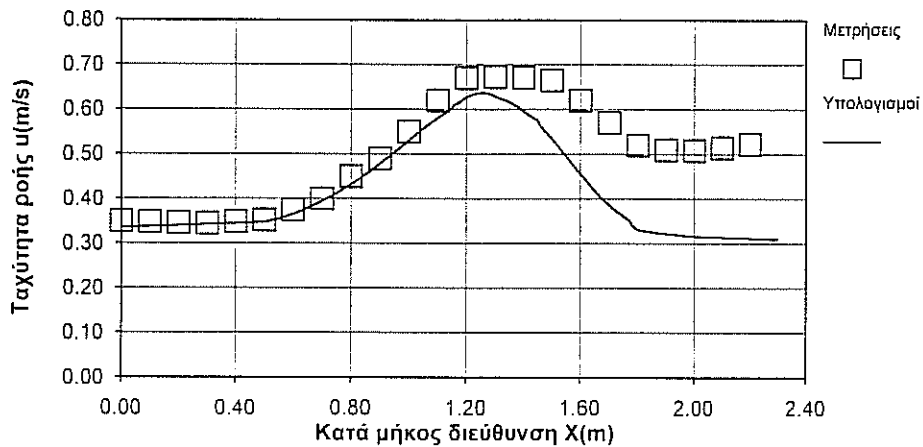
Είναι γεγονός ότι η αριθμητική προσομοίωση του προφίλ του βάθους ροής σε ένα υδατόρρευμα μεταβαλλόμενου πλάτους αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να επιτευχθεί ακριβής έλεγχος της διοχετευτικής ικανότητας της κοίτης και προστασία έναντι πλημμυρών.



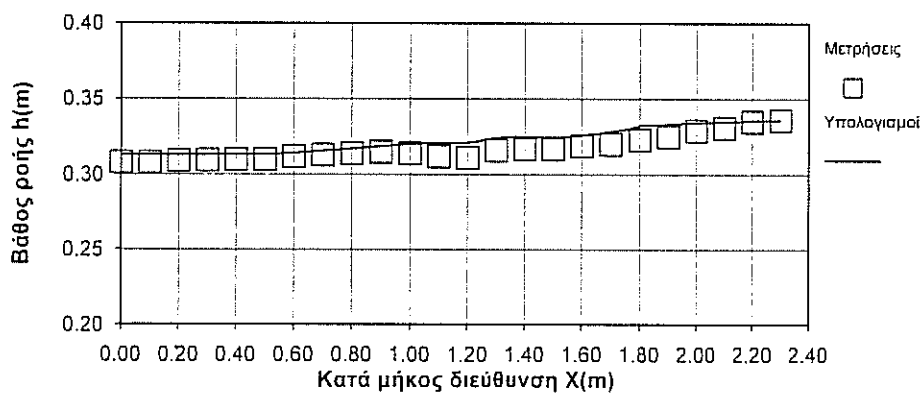
Σχήμα 2. Κάτοψη του υπό μελέτη αγωγού.



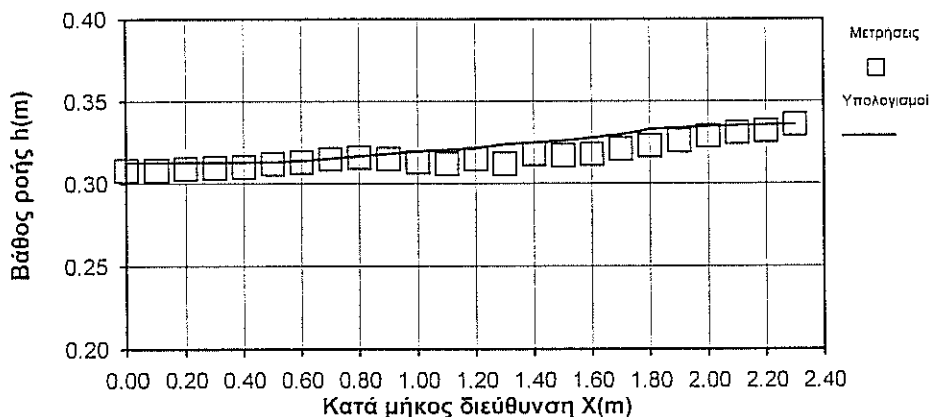
Σχήμα 3. Σύγκριση των υπολογισμένων τιμών της ταχύτητας ροής σε σχέση με τις αντίστοιχες εργαστηριακά μετρημένες κατά μήκος της γραμμής ροής 1.



Σχήμα 4. Σύγκριση των υπολογισμένων τιμών της ταχύτητας ροής σε σχέση με τις αντίστοιχες εργαστηριακά μετρημένες κατά μήκος της γραμμής ροής 3 .



Σχήμα 5. Σύγκριση των υπολογισμένων τιμών του βάθους ροής σε σχέση με τις αντίστοιχες εργαστηριακά μετρημένες κατά μήκος της γραμμής ροής 2.



Σχήμα 6. Σύγκριση των υπολογισμένων τιμών του βάθους ροής σε σχέση με τις αντίστοιχες εργαστηριακά μετρημένες κατά μήκος της γραμμής ροής 3.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φαρσιρώτου, Ε. Δ., 1999, Αριθμητική και Πειραματική Μελέτη Φαινομένων Διάβρωσης σε Υδατορρέυματα, Διδακτορική Διατριβή υποβληθείσα στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ.
2. Molls, T. and Chaudhry, M. H., 1995, Depth-averaged open-channel flow model, *J. of Hydr. Eng. (ASCE)*, 121(5), 453-465.
3. Panagiotopoulos, A.G. and Soulis, J. V., 1999, A bidiagonal scheme for depth-averaged free-surface flow equations, *to be published in J. of Hydr. Eng. (ASCE)*.
4. Σούλης, Ι. Β., Αλεξίου, Ε. Ε. και Κουνάβας, Η. Κ., 1991, Μετρήσεις και υπολογισμοί ανομοιομορφής ροής, *Τεχνικά Χρονικά*, 11(2), 59-86.

# ΑΔΙΑΣΤΑΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΕ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΗ ΔΙΩΡΥΓΑ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΗ

**Ευάγγ. Γ. Χατζηγιαννάκης και Ευαγγ. Αναστασιάδου-Παρθενίου**

Τμήμα Γεωπονίας, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής  
Μηχανικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται δύο αδιάστατα διαγράμματα για τον εύκολο υπολογισμό της παροχής σε παραβολική διώρυγα που καταλήγει σε καταβαθμό ελεύθερης υδατόπτωσης, αποφεύγοντας την επίλυση πολύπλοκων εξισώσεων. Τα διαγράμματα κατασκευάστηκαν μετά από εφαρμογή της θεωρίας προσομοίωσης της ροής στον καταβαθμό με ροή πάνω από εκχειλιστή λεπτής στέψης. Προέκυψε μια γενική σχέση, που δίνει το πηλίκο του ακραίου βάθους προς το κρίσιμο (για υποκρίσιμη ροή) ή προς το ομοιόμορφο (για υπερκρίσιμη ροή), η οποία προσφέρεται για τον υπολογισμό της παροχής και των δύο καταστάσεων ροής όταν είναι γνωστό το ακραίο βάθος.

## NONDIMENSIONAL DIAGRAMS FOR FLOW RATE ESTIMATION IN A PARABOLIC OPEN CHANNEL ENDING AT A FREE OVERFALL

**Evang. G. Hatzigiannakis and Evang. Anastasiadou-Partheniou**

Dept. of Hydraulics, Soil Science and Agric. Engineering, School of Agriculture,  
Aristotle University of Thessaloniki, 54006 Thessaloniki, Greece

## ABSTRACT

Nondimensional diagrams for flow rate estimation in a parabolic open channel ending at a free overfall are presented here. The flow over the fall is simulated by that over a sharp-crested weir and a general end-depth-discharge ratio, for both subcritical and supercritical flow, is finally obtained. This ratio can be used for flow rate estimations when the brink depth is known. The tedious procedure of solving complicated equations is avoided by using the presented nondimensional diagrams.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι προσπάθειες των ερευνητών για την εύρεση μιας σχέσης, η οποία συνδέει την παροχή ενός αγωγού που καταλήγει σε καταβαθμό ελεύθερης υδατόπτωσης με το βάθος ροής στο χείλος, ξεκινούν από το 1936 με την εργασία του Rouse [8]. Από τότε παρουσιάστηκαν κατά καιρούς διάφορες σχέσεις, με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η παροχή όταν είναι γνωστό το ακραίο βάθος. Κάθε μια από αυτές τις σχέσεις αφορά ορισμένη γεωμετρία διατομής αγωγού-καταβαθμού και ορισμένη κατηγορία ροής, υποκρίσιμη ή υπερκρίσιμη. Είναι ευνόητο ότι προηγήθηκε χρονικά η μελέτη του καταβαθμού ορθογωνικής διατομής λόγω της απλότητας της γεωμετρίας του.

Με τον καταβαθμό παραβολικής διατομής ασχολήθηκε πρώτος ο Diskin το 1961 [5], ο οποίος μελέτησε υποκρίσιμη ροή βασιζόμενος στην παραδοχή μηδενικής πίεσης στο χείλος του καταβαθμού. Εφάρμοσε την εξίσωση ποσότητας κίνησης μεταξύ της ακραίας και της κρίσιμης διατομής σε αγωγό εκθετικής διατομής, και κατέληξε σε μια γενική σχέση για το πηλίκο ακραίου-κρίσιμου βάθους στις εκθετικές διατομές. Για την περίπτωση παραβολικής διατομής η σχέση αυτή είναι  $y_e/y_c = 0,731$ .

Οι Rajaratnam και Muralidhar το 1964 [7] κάνοντας πειράματα σε τρεις παραβολικούς αγωγούς κατέληξαν ότι το πηλίκο ακραίου - κρίσιμου βάθους παίρνει την τιμή  $y_e/y_c = 0,772$  με μέγιστη απόκλιση  $\pm 5\%$ . Για αρνητικές κλίσεις του αγωγού η τιμή του πηλίκου  $y_e/y_c$  μεγαλώνει και φθάνει την τιμή 0,78. Παρατήρησαν ότι, καθώς η κλίση του αγωγού από μηδενική αυξάνεται θετικά, το πηλίκο  $y_e/y_c$  μειώνεται και φθάνει την τιμή 0,48 όταν ο λόγος της κλίσης πυθμένα προς την κρίσιμη κλίση είναι  $S_e/S_c = 10$ .

Οι Ali και Sykes το 1972 [1] εφαρμόζοντας τη θεωρία του ελεύθερου στροβίλου σε υποκρίσιμη ροή σε παραβολικό αγωγό με καταβαθμό βρήκαν ότι το πηλίκο ακραίου-κρίσιμου βάθους είναι  $y_e/y_c = 0,747$ .

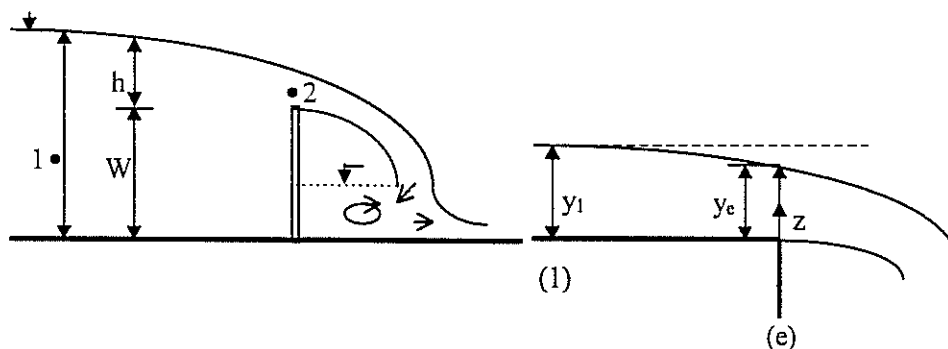
Τέλος, ο Χατζηγιαννάκης το 1987 [12] εφαρμόζοντας τη μέθοδο προσομοίωσης της ροής σε καταβαθμό με ροή σε εκχειλιστή λεπτής στέψης, βρήκε τη σχέση ακραίου-κρίσιμου βάθους για υποκρίσιμη ροή και επίσης τη σχέση ακραίου-ομοιομόρφου βάθους για υπερκρίσιμη ροή. Στην ίδια αυτή εργασία με εφαρμογή της επεκταμένης εξίσωσης Bernoulli υπολογίστηκαν τα προφίλ ροής ανάντη του παραβολικού καταβαθμού.

Στην εργασία αυτή για τη μελέτη του καταβαθμού υιοθετείται η μέθοδος προσομοίωσης της ροής πάνω από τον παραβολικό καταβαθμό με ροή πάνω από παραβολικό εκχειλιστή λεπτής στέψης. Ανάλογη προσομοίωση της ροής έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε καταβαθμούς ορθογωνικής [9,11], τραπεζοειδούς [2,3,13] και τριγωνικής [4] διατομής. Από τη θεωρητική ανάλυση προκύπτει μια γενική σχέση υπολογισμού του πηλίκου του βάθους στο χείλος προς το βάθος στην πρώτη προς τα ανάντη διατομή με υδροστατική κατονομή της πίεσης, η οποία είναι συνάρτηση του αριθμού Froude. Η σχέση αυτή είναι γενική, γιατί ισχύει τόσο για υποκρίσιμη όσο και για υπερκρίσιμη ροή, και προσφέρεται για τον υπολογισμό της παροχής σε παραβολική διώρυγα, αν είναι γνωστό το βάθος ροής στο χείλος. Με βάση αυτή τη σχέση κατασκευάστηκαν δύο αδιάστατα διαγράμματα, με τα οποία γίνεται εύκολα ο υπολογισμός της παροχής υποκρίσιμης και υπερκρίσιμης ροής γραφικά, αποφεύγοντας την επίλυση των πολύπλοκων εξισώσεων.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, η ροή πάνω από παραβολικό καταβαθμό ελεύθερης υδατόπτωσης μπορεί να προσομοιωθεί με ροή πάνω από εκχειλιστή λεπτής στέψης, του οποίου το ύψος στέψης είναι  $W=0$  και το φορτίο είναι  $h=y_1$ . Αυτή την προσομοίωση την υιοθέτησε αρχικά ο Τερζίδης [9,11] για καταβαθμό ορθογωνικής διατομής και στη

συνέχεια εφαρμόστηκε σε καταβαθμούς παραβολικής [12], τραπεζοειδούς [2,3,13] και τριγωνικής διατομής [4].



Σχ. 1 α) εκχειλιστής λεπτής στέφνης β) καταβαθμός ελεύθερης υδατόπτωσης

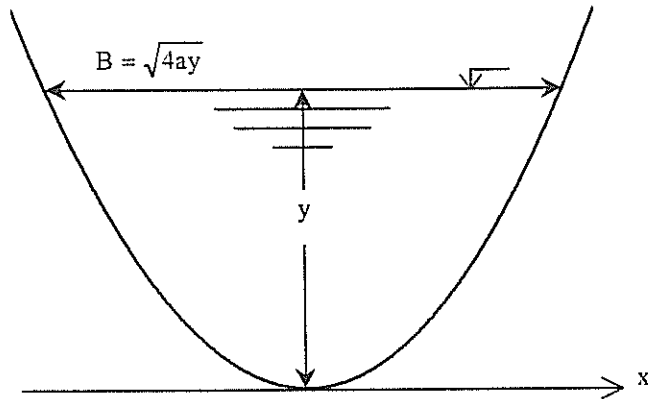
Για τη διατομή (1), αρκετά ανάντη του χείλους του καταβαθμού, στην οποία η κατανομή της πίεσης είναι υδροστατική, και η οποία για υποκρίσιμη ροή είναι η διατομή του κρισίμου βάθους, ενώ για υπερκρίσιμη ροή είναι η διατομή του ομοιομόρφου βάθους, γίνονται οι εξής παραδοχές: α) οι γραμμές ροής είναι ευθύγραμμες και παράλληλες μεταξύ τους, β) η κατανομή της πίεσης είναι υδροστατική και γ) η μέση ταχύτητα ροής είναι σταθερή. Στην ακραία διατομή (ε) οι γραμμές ροής κυρτώνουν και συγκλίνουν λόγω της απόκλισης της πίεσης από την υδροστατική κατανομή. Παρ' όλα αυτά, κατ' αρχήν γίνονται οι εξής παραδοχές: α) οι γραμμές ροής είναι ευθύγραμμες και παράλληλες μεταξύ τους, β) η πίεση είναι ατμοσφαιρική (μηδενική) και γ) η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος. Τα σφάλματα που εισάγουν οι παραπάνω παραδοχές διορθώνονται στη συνέχεια, εισάγοντας ένα διορθωτικό συντελεστή [2,3,6,9,11,12,13]. Ο διορθωτικός συντελεστής, προκύπτει από υπολογισμό της κλίσης των γραμμών ροής στο χείλος.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραδοχές που αναφέρθηκαν παραπάνω, η παροχή πάνω από τον καταβαθμό μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση του εκχειλιστή. Η εξίσωση του εκχειλιστή προκύπτει με εφαρμογή της εξίσωσης συνέχειας σε μια στοιχειώδη επιφάνεια στο χείλος με εμβαδό  $dA$ :

$$dQ = v \, dA \quad (1)$$

όπου  $A = [(8\sqrt{a})/3] y^{3/2}$  = το εμβαδόν της υγρής παραβολικής διατομής και  $a=0$  συντελεστής παραβολής τύπου  $x^2=4ay$  (βλέπε Σχ. 2). Το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού είναι  $B=4\sqrt{a} y^{1/2}$ .

Στην εξίσωση (1) αντικαθίσταται η ταχύτητα με  $v=[2g(H-z)]^{1/2}$ , όπως αυτή υπολογίζεται με εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας στη γραμμή ροής 1-2 (Σχ. 1α), όπου  $H$  είναι το ύψος της ειδικής ενέργειας,  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $z$  η κατακόρυφη συντεταγμένη από το χείλος του καταβαθμού [9]. Επίσης αντικαθίσταται και το εμβαδόν της υγρής παραβολικής διατομής με  $A=[(8\sqrt{a})/3] z^{3/2}$ . Η σύγκλιση των γραμμών ροής στο χείλος λαμβάνεται υπόψη εισάγοντας το συντελεστή συστολής  $C_c=A_c/A_1$ , όπου  $A_1$  είναι το εμβαδόν της ανάντη διατομής (1), στην οποία η πίεση είναι υδροστατική και  $A_c$  είναι το εμβαδόν της διατομής στο χείλος του καταβαθμού. Η εξίσωση που προκύπτει ολοκληρώνεται με όρια από  $z=0$  έως  $z=y$ , και από  $Q=0$  έως  $Q=Q$ ,



Σχ. 2 Διατομή παραβολικού αγωγού

οπότε παίρνεται η παρακάτω εξίσωση υπολογισμού της παροχής για τον παραβολικό καταβαθμό:

$$Q = C_c \sqrt{2ag} \left[ (2y_1 - H) \sqrt{-y_1^2 + Hy_1} - \frac{H^2}{2} \sin^{-1} \left( \frac{H - 2y_1}{H} \right) + \frac{H^2}{2} \sin^{-1}(1) \right] \quad (2)$$

Στη συνέχεια, στην εξίσωση (2) διαμορφώνεται ο αριθμός Froude στη διατομή (1)  $Fr_1^2 = (Q^2 B_1 / g A_1^3)$ , αντικαθίσταται ο συντελεστής συστολής με την τιμή του  $C_c = A_e / A_1 = (y_e / y_1)^{3/2}$  και το ολικό φορτίο με  $H = y_1 + Q^2 / 2g A_1^2$ . Οπότε παίρνεται η παρακάτω γενική σχέση, που συνδέει το ακραίο βάθος με το βάθος στην ανάντη διατομή και ισχύει τόσο για υποκρίσιμη όσο και για υπερκρίσιμη ροή:

$$\left( \frac{y_e}{y_1} \right)^{\frac{3}{2}} = \frac{8Fr_1}{3\sqrt{3} \left[ \left( 1 - \frac{Fr_1^2}{3} \right) \frac{Fr_1}{\sqrt{3}} - \frac{\left( 1 + \frac{Fr_1^2}{3} \right)^2}{2} \sin^{-1} \left( \frac{\frac{Fr_1^2}{3} - 1}{\frac{Fr_1^2}{3} + 1} \right) + \frac{\left( \frac{Fr_1^2}{3} + 1 \right)^2}{2} \sin^{-1}(1) \right]} \quad (3)$$

Στην κατάσταση της υποκρίσιμης ροής είναι  $Fr_1^2 = Fr_c^2 = 1$  και  $y_1 = y_c$ , δηλαδή διατομή (1) είναι η διατομή του κρίσιμου βάθους, οπότε η εξίσωση (3) οδηγεί στην παρακάτω τιμή του λόγου του ακραίου προς το κρίσιμο βάθος:



$$\frac{y_e}{y_c} = 0,7773 \quad (4)$$

Στην κατάσταση της υπερκρίσιμης ροής είναι  $Fr_1^2 = Fr_0^2$  και  $y_1 = y_0$ , δηλαδή διατομή (1) είναι η διατομή του ομοιομόρφου βάθους, οπότε η εξίσωση (3) δίνει την τιμή του λόγου του ακραίου προς το ομοιόμορφο βάθος συναρτήσει του αριθμού Froude:

$$\left(\frac{y_e}{y_0}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{8Fr_0}{3\sqrt{3} \left[ \left(1 - \frac{Fr_0^2}{3}\right) \frac{Fr_0}{\sqrt{3}} - \frac{\left(1 + \frac{Fr_0^2}{3}\right)^2}{2} \sin^{-1} \left( \frac{\frac{Fr_0^2}{3} - 1}{\frac{Fr_0^2}{3} + 1} \right) + \frac{\left(\frac{Fr_0^2}{3} + 1\right)^2}{2} \sin^{-1}(1) \right]} \quad (5)$$

Για να ληφθεί υπόψη η σύγκλιση των γραμμών ροής στο χείλος και να διορθωθεί το σφάλμα που οφείλεται στην αρχική παραδοχή ευθύγραμμων και παράλληλων γραμμών ροής στην ακραία διατομή, εισάγεται στην εξίσωση (3) ένας συντελεστής διόρθωσης  $a$  του πηλίκου  $y_e/y_c$  [2,3,6,9,11,12,13]. Ο συντελεστής αυτός είναι:

$$a = \frac{1}{\cos(\Phi_e)} \quad (6)$$

όπου  $\Phi_e$  = η γωνία που σχηματίζει η ελεύθερη επιφάνεια του νερού με τον x-άξονα κατά μήκος του πυθμένα. Δηλαδή, η εφαπτομένη της γωνίας  $\Phi_e$  είναι η κλίση του προφίλ ροής στο χείλος του καταβαθμού:

$$\Phi_e = \tan^{-1} \left[ \frac{dy}{dx} \right]$$

(7)

όπου  $dy/dx$  = η κλίση του προφίλ ροής στο χείλος του καταβαθμού.

Όταν είναι γνωστό το ακραίο βάθος  $y_e$ , που μετράται εύκολα, από την εξίσωση (3) και από τις προκύπτουσες από αυτήν εξισώσεις (4) και (5), μπορεί να υπολογιστεί το βάθος  $y_1$ , δηλαδή το κρίσιμο ή το ομοιόμορφο βάθος, ανάλογα με την κατάσταση της ροής.

Αν η ροή είναι υποκρίσιμη, από την εξ. (4) υπολογίζεται το κρίσιμο βάθος  $y_c$  και στη συνέχεια η παροχή προκύπτει από την ισότητα του αριθμού Froude με τη μονάδα στην κρίσιμη διατομή (1) ( $Fr_c^2 = 27Q^2 / 8g(4\sqrt{a})^2 y_c^4 = 1$ ). Οπότε η παροχή είναι:

$$Q = \frac{8\sqrt{2ag}}{3\sqrt{3}} y_c^2 \quad (8)$$

Αν η ροή είναι υπερκρίσιμη, με αριθμητική επίλυση της εξ. (5) υπολογίζεται το ομοιόμορφο βάθος  $y_0$  και στη συνέχεια η παροχή υπολογίζεται από την εξίσωση του Manning, η οποία ισχύει στη διατομή (1) του ομοιομόρφου βάθους:

$$Q = \frac{32 S_0^{1/2} a^{5/6} y_0^{5/2}}{3n \left[ 6 \sqrt{y_0^2 + ay_0} + 3a \log \left( \frac{2\sqrt{y_0^2 + ay_0} + 2y_0 + a}{a} \right) \right]^{2/3}} \quad (9)$$

όπου  $n$  είναι ο συντελεστής τριβών κατά Manning.

Η αριθμητική επίλυση της εξ. (5) και οι αριθμητικοί υπολογισμοί που απαιτούν οι εξισώσεις (8) και (9) αποφεύγονται με τη χρήση των διαγραμμάτων που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Η κλίση του προφίλ ροής στο χείλος του καταβαθμού, που απαιτείται για την εύρεση του συντελεστή διόρθωσης  $a$  για κάθε συγκεκριμένο πρακτικό πρόβλημα [βλέπε εξισώσεις (6) και (7)], υπολογίζεται με εφαρμογή της επεκταμένης εξίσωσης Bernoulli [2,3,4,6,9,11,12,13]:

$$H = y + \frac{v^2}{2g} \left[ 1 + \frac{2yy'' - y'^2}{3} \right] \quad (10)$$

Η εξίσωση (10) είναι μη γραμμική διαφορική εξίσωση δεύτερης τάξης, στην οποία οι τόνοι δηλώνουν παραγωγή ως προς τον κατά μήκος  $x$ -άξονα και εφαρμόζεται στην περιοχή μεταξύ του χείλους και της πρώτης προς τα ανάντη διατομής με υδροστατική κατανομή της πίεσης, όπου η ροή θεωρείται ψευδομοιόμορφη με σταθερή κλίση πυθμένα. Αντικαθιστώντας το ολικό φορτίο  $H$ , αδιαστατοποιώντας τα βάθη και τα μήκη, εισάγοντας τον αριθμό Froude και αντικαθιστώντας την εξαρτημένη μεταβλητή, η εξίσωση (10) μετατρέπεται τελικά στη γραμμική διαφορική εξίσωση πρώτης τάξης:

$$\frac{du}{dy_*} - \frac{u}{y_*} = -\frac{9y_*^3}{f} + 3y_*^2 + \frac{9y_*^2}{f} - \frac{3}{y_*} \quad (11)$$

όπου  $y_* = y/y_1$ ,  $x_* = x/y_1$   $u = (dy_*/dx_*)^2$  και  $f = Fr_1^2$ .

Η εξ. (11) ολοκληρώνεται με τη μέθοδο του ολοκληρωτικού παράγοντα [9,10] και επιλύεται ως προς την κλίση  $dy/dx$  του προφίλ ροής, που δίνεται από την εξίσωση:

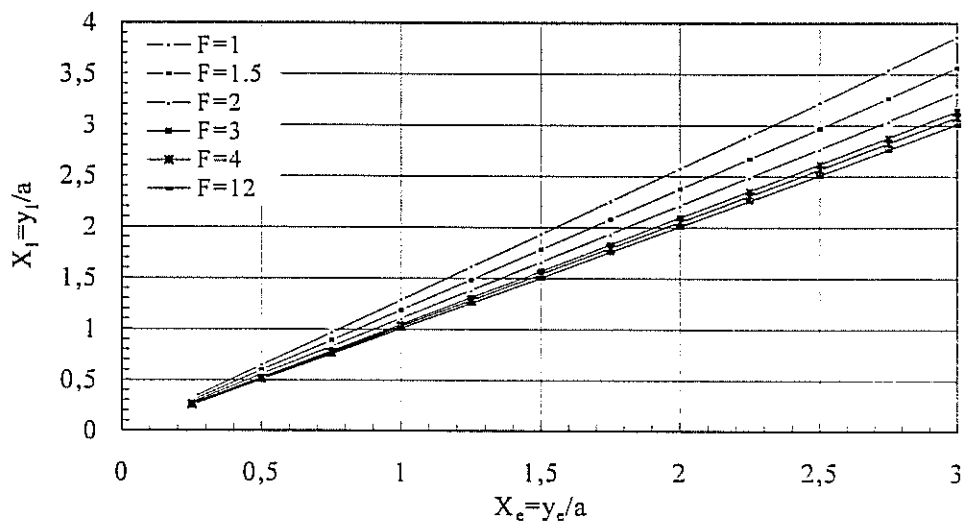
$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy_*}{dx_*} = \left[ -\frac{3}{f} y_*^4 + \frac{3}{2} \left( \frac{3}{f} + 1 \right) y_*^3 - \frac{3}{2} \left( 3 + \frac{1}{f} \right) y_* + 3 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Αφού υπολογιστεί η κλίση του προφίλ ροής από την εξ. (12), μπορεί να υπολογιστεί στη συνέχεια ο συντελεστής διόρθωσης  $a$  από τις εξισώσεις (6) και (7) και να εισαχθεί στην εξίσωση (5) διορθώνοντάς την. Το αριστερό μέλος της διορθωμένης εξίσωσης (5) γίνεται τώρα  $(\alpha y_*/y_0)^{3/2}$  αντί  $(y_*/y_0)^{3/2}$ .

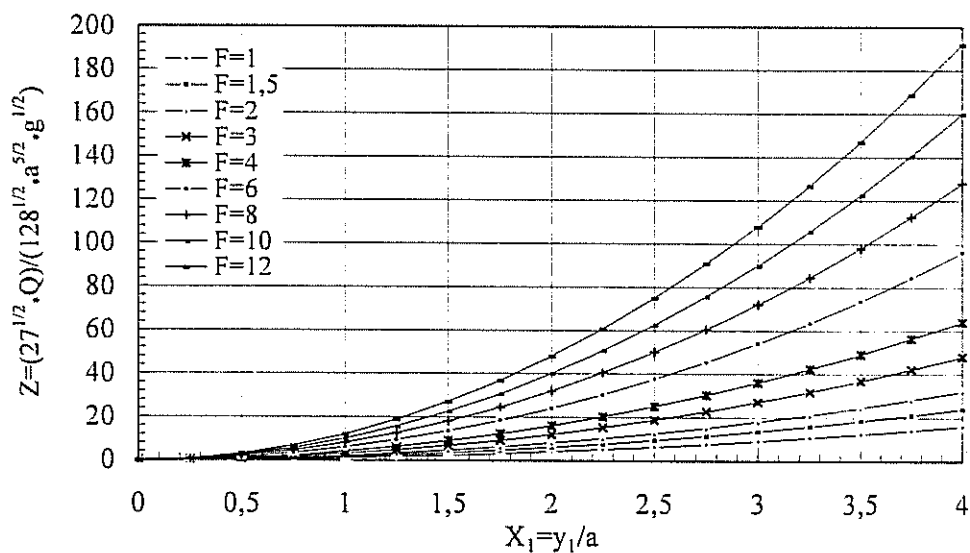
### 3. ΑΔΙΑΣΤΑΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Οι πολύπλοκες αριθμητικές πράξεις που απαιτούνται για την επίλυση των εξισώσεων που παρουσιάστηκαν, καθώς και η αναγκαιότητα αριθμητικής επίλυσης αποφεύγονται με τη χρήση αδιάστατων διαγραμμάτων. Στα σχήματα 3 και 4 φαίνονται τα δύο αδιάστατα διαγράμματα, τα οποία κατασκευάστηκαν με βάση τις παραπάνω

εξισώσεις [(4), διορθωμένη (5), (8) και (9)] για το γρήγορο υπολογισμό της παροχής γραφικά:



Σχ. 3. Αδιάστατο βάθος  $X_1=y_1/a$  στη διατομή (1) συναρτήσει του αδιάστατου βάθους  $X_c$  για διάφορους αριθμούς Froude



Σχ. 4. Αδιάστατη παροχή  $Z$  συναρτήσει του αδιάστατου βάθους  $X_1$  στη διατομή (1) για διάφορους αριθμούς Froude

Το βάθος  $y_c$  στο χείλος του καταβαθμού είναι εύκολο να μετρηθεί. Από το διάγραμμα του Σχ. 3 μπορεί να υπολογιστεί το αδιάστατο βάθος  $X_1=y_1/a$ , στην πρώτη προς τα ανάντη διατομή (1) με υδροστατική κατανομή της πίεσης, από το γνωστό αδιάστατο ακραίο βάθος  $X_c=y_c/a$ . Στη συνέχεια, από το Σχ. 4 υπολογίζεται η αδιάστατη

παροχή  $Z = \frac{\sqrt{27} Q}{\sqrt{128g} a^{5/2}}$  από το γνωστό αδιάστατο βάθος  $X_1$ , που βρέθηκε

προηγουμένως. Με γνωστή την τιμή του  $Z$  μπορεί να υπολογιστεί η παροχή στον παραβολικό αγωγό με την απλή σχέση:

$$Q = \frac{\sqrt{128g}}{\sqrt{27}} a^{5/2} Z \quad (13)$$

#### 4. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι Rajaratnam και Muralidhar μελετώντας τη ροή σε καταβαθμούς εκθετικής διατομής [7], παρουσίασαν διαγράμματα με τη μεταβολή του λόγου  $y_c/y_c$  συναρτήσει του λόγου της κλίσης πυθμένα προς την κρίσιμη κλίση για τρεις διαφορετικούς παραβολικούς αγωγούς. Όμως τα μόνα στοιχεία που δίνουν για τους αγωγούς αυτούς είναι ο συντελεστής  $a$  της παραβολής  $x^2=4ay$  και το μέγιστο βάθος ροής.

Για τον τρίτο αγωγό ο συντελεστής της παραβολής είναι  $a=0,0545 \text{ ft} = 0,0166116 \text{ m}$  και το μέγιστο βάθος ροής είναι  $6 \text{ inches} = 0,1524 \text{ m}$ . Για μια τιμή του ακραίου βάθους  $y_c=0,05 \text{ m}$ , το αδιάστατο ακραίο βάθος είναι  $X_c=y_c/a=3$ . Γι' αυτή την τιμή του  $X_c$  και για υποκρίσιμη ροή ( $Fr_1=1$ ) βρίσκεται από το Σχ. 3 η τιμή του αδιάστατου βάθους  $X_1=3,87$ . Από το Σχ.4 για την τιμή  $X_1=3,87$  υπολογίζεται η τιμή της αδιάστατης παροχής  $Z=15$ , άρα η παροχή σύμφωνα με την εξ.(13) είναι  $Q=3,638 \text{ lit/s}$ .

Για την ίδια τιμή του ακραίου βάθους, αλλά για υπερκρίσιμη ροή με  $Fr_1=1,5$  βρίσκεται από το Σχ. 3 η τιμή  $X_1=3,560$ , οπότε από το Σχ. 4 βρίσκεται η τιμή  $Z=18,73$ , άρα η παροχή είναι  $Q=5,453 \text{ lit/s}$ .

Για υπερκρίσιμη ροή με  $Fr_1=2$  και για την ίδια τιμή του  $X_c$  το Σχ. 3 δίνει την τιμή  $X_1=3,3$ , άρα από το Σχ. 4 βρίσκεται η τιμή  $Z=22,05$ , οπότε η παροχή είναι  $Q=5,348 \text{ lit/s}$ . Με τον ίδιο τρόπο για  $Fr_1=4$  και για το ίδιο  $X_c$  βρίσκεται η τιμή  $X_1=3,06$  (Σχ. 3) και  $Z=38,27$  (Σχ. 4), άρα η παροχή είναι  $Q=9,282 \text{ lit/s}$ . Για την ακραία τιμή  $Fr_1=12$  και πάλι για  $X_c=3$  από το Σχ. 3 βρίσκεται η τιμή  $X_1=2,985$ , για την οποία από το Σχ. 4 βρίσκεται η τιμή  $Z=107,1$ , οπότε η παροχή του παραβολικού αγωγού είναι  $Q=25,976 \text{ lit/s}$ .

#### 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν δύο αδιάστατα διαγράμματα για τον υπολογισμό της παροχής σε παραβολική διώρυγα που καταλήγει σε καταβαθμό ελεύθερης υδατόπτωσης. Τα διαγράμματα κατασκευάστηκαν με βάση τις εξισώσεις στις οποίες καταλήξαμε προσομοιώνοντας τη ροή πάνω από τον καταβαθμό με ροή πάνω από εκχειλιστή λεπτής στέφης. Τελικά προέκυψε μια γενική σχέση, η οποία συνδέει το βάθος στο χείλος του καταβαθμού με το κρίσιμο βάθος (για υποκρίσιμη ροή) ή με το ομοιόμορφο βάθος (για υπερκρίσιμη ροή). Έτσι με γνωστό μόνο το βάθος στο χείλος, υπολογίζεται το κρίσιμο ή το ομοιόμορφο βάθος και στη συνέχεια υπολογίζεται η παροχή, οπότε ο καταβαθμός λειτουργεί σαν υδραυλική κατασκευή μέτρησης της παροχής στην παραβολική διώρυγα.

Με εφαρμογή της ίδιας θεωρητικής ανάλυσης σε υποκρίσιμη ροή πάνω από καταβαθμό ορθογωνικής, τριγωνικής και τραπεζοειδούς διατομής, προέκυψαν οι παρακάτω τιμές του λόγου ακραίου-κρισίμου βάθους:  $y_c/y_c = 0,715$  για ορθογωνικό καταβαθμό,  $y_c/y_c = 0,817$  για τριγωνικό καταβαθμό και  $y_c/y_c \approx 0,75$  για τραπεζοειδή καταβαθμό. Παρατηρούμε ότι η τιμή του λόγου  $y_c/y_c = 0,7773$  που υπολογίστηκε για τον παραβολικό καταβαθμό, βρίσκεται μεταξύ των τιμών που παίρνει αυτός ο λόγος για τριγωνικό και τραπεζοειδή καταβαθμό. Επίσης η τιμή αυτή συμφωνεί με την πειραματική τιμή των Rajaratnam και Muralidhar [7].

Με τα αδιάστατα διαγράμματα η παροχή υπολογίζεται εύκολα γραφικά, αποφεύγοντας πολύπλοκες αλγεβρικές πράξεις και αριθμητικές επιλύσεις, και ανεξάρτητα από το σύστημα των χρησιμοποιούμενων μονάδων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ali, K.H.M., and Sykes, A.. 1972. Free Vortex theory applied to free overfall. *J. Hydraul. Div., ASCE*, 98(HY5), 973-979.
2. Αναστασιάδου-Παρθενίου, Ε., και Χατζηγιαννάκης Ε.. 1993. Γενική σχέση ακραίου βάθους-παροχής σε τραπεζοειδή καταβαθμό. *Υδροτεχνικά*, Τόμος 3, Τεύχος 1, 25-40.
3. Anastasiadou-Partheniou, L., and Hatzigiannakis, E.. 1995. General end depth-discharge relationship at free overfall in trapezoidal channel. *J. Irrig. Drain. Engineering, ASCE*, 121(IR2), 143-151.
4. Αναστασιάδου-Παρθενίου, Ε. και Χατζηγιαννάκης, Ε.. 1997. Ελεύθερη υδατόπτωση σε καταβαθμό τριγωνικής διατομής (μέτρηση παροχής - προφίλ ροής). *Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, Πάτρα, 226-233.
5. Diskin, M.H.. 1961. End depth at a drop in trapezoidal channels. *J. Hydraul. Div., ASCE*, 87(HY4), 11-32.
6. Hager, W.H.. 1983. Hydraulics of plane free Overfall. *J. Hydraul. Div., ASCE*, 109(HY12), 1683-1697.
7. Rajaratnam, N., and Muralidhar, D.. 1964. End depth for exponential channels. *J. Irrig. Drain. Div., ASCE*, 90(IR1),: 17-39.
8. Rouse, H., 1936. Discharge characteristics of the free over-fall. *Civ. Engrg., ASCE*, 6(4), 257-260.
9. Τερζίδης, Γ.. 1985 α. *Μαθήματα Υδραυλικής - 1. Γενική Υδραυλική*. Θεσσαλονίκη.
10. Τερζίδης, Γ.. 1983 β. *Ανώτερα Εφαρμοσμένα Μαθηματικά 1. Διαφορικές Εξισώσεις*. Θεσσαλονίκη.
11. Τερζίδης, Γ.. 1985 γ. Υδραυλικά χαρακτηριστικά του ορθογωνικού ελεύθερου καταβαθμού. *Υδροτεχνικά*, 2ο Πανελλήνιο συνέδριο της Ε.Υ.Ε., Πλαίσιο, Αθήνα, 11-28.
12. Χατζηγιαννάκης, Ε.Γ.. 1987. *Υδραυλική μελέτη καταβαθμού σε παραβολικό αγωγό*. Πτυχιακή διατριβή, Θεσσαλονίκη.
13. Χατζηγιαννάκης, Ε.Γ.. 1990. *Ροή σε ελεύθερο τραπεζοειδή καταβαθμό*. Μεταπτυχιακή διατριβή, Θεσσαλονίκη.

# **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΩΝ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑ**

**Γεώργιος Πεχλιβανίδης\* και Βασίλειος Δερμίσσης\*\***  
**\*Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ-Θ, \*\*Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών**  
**Α.Π.Θ.**

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε παράκτιους υδροφορείς, από την είσοδο του νερού της θάλασσας στα ανάντη των εκβολών ποταμών απασχόλησαν σοβαρά την διεθνή κοινότητα. Τα μαθηματικά ομοιώματα που προσεγγίζουν το μήκος εισόδου του αλμυρού νερού, βασίζονται κυρίως στην εργαστηριακή έρευνα. Η βαθμονόμησή τους με δεδομένα πεδίου εκ των οποίων ελάχιστα μόνο είναι αξιόπιστα οδηγεί συνήθως σε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στην παρούσα εργασία μελετάται πειραματικά στο εργαστήριο η επίδραση των αναβαθμών στην κίνηση του νερού της θάλασσας προς τα ανάντη των εκβολών ποταμών.

## **EFFECT OF OBSTACLES ON THE MOTION OF SALT WATER INTRUSION IN RIVER AND CANALS.**

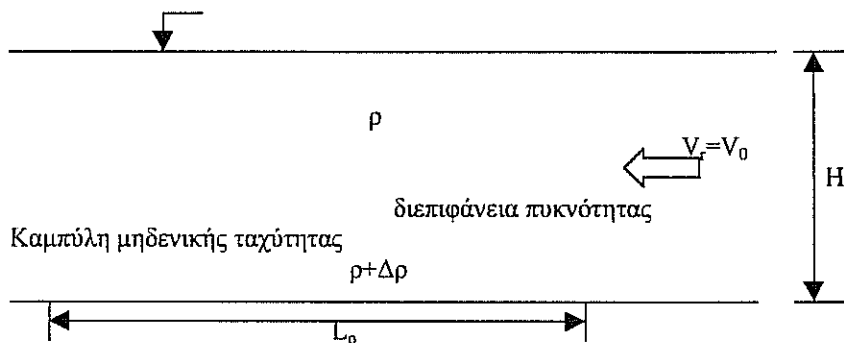
**George Pehlivanidis\* Vasilios Dermisis\*\***  
**\*Assistant professor of TEI, Professor of Civil Engineering A.P.Θ.**

## **ABSTRACT**

The international scientific community have greatly concerned with the adverse environmental infection of salt water intrusion in rivers and canals. The mathematical models, approximate the length of the intrusion of saline water and are basically based on laboratories experiments. Their calibration with field data, whose the most of them are not reliable, is usually not satisfactory. In the present study the effect of obstacles on the upstream motion of salt water is studied with laboratory experiments.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο μηχανισμός της εισόδου του νερού της θάλασσας στα ποτάμια (σχ.1), έχει μεγάλη σημασία για την διαχείριση των παράκτιων υδροφορέων και τον έλεγχο της κίνησης των φερτών υλών προς τα ανάντη του υδατορεύματος.



Σχήμα 1. Σκαρίφημα σταθερής αλμυρής σφήνας

Το πρόβλημα είναι σημαντικό όταν χρειασθεί να ληφθούν αποφάσεις π.χ. για τη διεύρυνση ή εκβάθυνση της διατομής των ποταμών, την κατασκευή λιμένων στις θέσεις εκβολής των υδατορευμάτων, την εκτροπή παραχής των ποταμών ή και τον υπολογισμό και έλεγχο ενός πλημμυρικού κύματος, την υδροληψία από υδροφορείς κοντά στις ακτές και τη γεωργική εκμετάλλευση περιοχών κοντά στις εκβολές.

Εκτός από τις σοβαρότατες δυσμενείς περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από την είσοδο του θαλασσινού νερού στα υδατορεύματα προστίθεται και ο εξίσου σοβαρό πρόβλημα της μεταφοράς των φερτών υλών από την θάλασσα προς τα ανάντη των εκβολών.

Στις περιπτώσεις δε εμφάνισης χαμηλού βαρομετρικού στις περιοχές των εκβολών των ποταμών έχουμε ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το μήκος εισόδου του αλμυρού νερού.

Η επίδραση των αναβαθμών στην κίνηση του αλμυρού νερού μελετήθηκε στο εργαστηριακό κανάλι του εργαστηρίου Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ.. Από την μελέτη αυτή προέκυψε σημαντική μείωση του μήκους εισόδου του αλμυρού νερού στο υδατόρευμα με τις γνωστές ευνοϊκές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις.

## 2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΣΤΑΣΙΜΗΣ ΑΛΜΥΡΗΣ ΣΦΗΝΑΣ

Το αλμυρό νερό στο υδατόρευμα έχει την μορφή σφήνας και καλείται αλμυρή σφήνα και όταν η κίνηση της μηδενιστεί καλείται στάσιμη αλμυρή σφήνα.

Ο Keulegan 1955 έδωσε σε αδιάστατη μορφή το μήκος της αλμυρής σφήνας, καθώς και το σχήμα αυτής.

$$\frac{L_0}{H} = A_0 \left( \frac{V_\Delta H}{\nu} \right)^m \left( \frac{2V_r}{V_\Delta} \right)^{-5/2} \quad (1)$$

όπου  $L_0$  το μήκος της στάσιμης σφήνας,  $H$  το βάθος ροής,  $A_0$  μεταβλητή εξαρτώμενη από τον λόγο  $H/B$  και τον πυκνομετρικό αριθμό Reynolds,  $B$  το πλάτος,  $V_r$  η ταχύτητα του υδατορεύματος και  $V_\Delta$  η πυκνομετρική ταχύτητα που έχει την μορφή

$$Re' = \frac{\sqrt{g' H H}}{\nu} = \frac{V_\Delta H}{\nu} \quad (2)$$

$$V_\Delta = \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho_m} g H} \quad (3)$$

με  $\Delta\rho$  την διαφορά πυκνότητας των δύο στρωμάτων,  $\rho_m$  η μέση πυκνότητα των στρωμάτων και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Οι Schijf και Schoenfeld 1953 δημοσίευσαν την πρώτη μονοδιάστατη ανάλυση της αλμυρής σφήνας. Η ανάλυση στηρίχθηκε στην αρχή διατήρησης της ενέργειας και της μάζας. Η εξίσωση για τον προσδιορισμό του μήκους δίδεται από την επόμενη σχέση.

$$\frac{L_0}{H} = \frac{2}{f_{11}} \left[ \frac{1}{5(Fr'_{0})^2} - 2 + 3(Fr'_{0})^{2/3} - \frac{6}{5}(Fr'_{0})^{4/3} \right] \quad (4)$$

όπου  $f_{11}$  ο μέσος συντελεστής τριβής στην διεπιφάνεια,

$$Fr'_{0} = \frac{V_0}{V'} = \frac{V_0}{\sqrt{g' h}} = \frac{V_0}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} g h}} \quad (5)$$

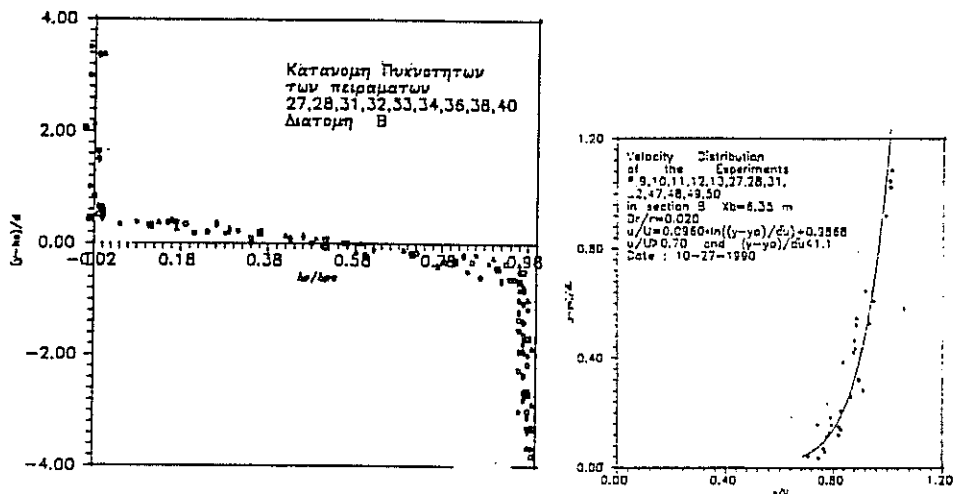
$Fr'_0$  ο πυκνομετρικός αριθμός Froude και  $V'$  η πυκνομετρική ταχύτητα που ορίστηκε από την σχέση  $V' = (g' H)^{1/2} = [(\Delta\rho/\rho)gH]^{1/2}$ ,  $\rho$  η πυκνότητα του γλυκού νερού στην οποία και διαφέρει μόνο από την σχέση της πυκνομετρικής ταχύτητας  $V_\Delta$  που όρισε ο Keulegan.

Οι Partheniades, Dermisis and Mehta (1975) δημοσίευσαν μία γραφική μέθοδο για τον προσδιορισμό του μήκους της αλμυρής σφήνας βασισμένη στην εξίσωση (4).

Η κατανομή των ταχυτήτων και της πυκνότητας (σχ.2 α, β) καθορίζουν την διεπιφάνεια πυκνότητας και δείχνουν την ύπαρξη ροής στην στάσιμη αλμυρή σφήνα. Υπάρχουν αρκετές εργαστηριακές μετρήσεις καθώς και μετρήσεις πεδίου (Δερμίσσης 1982, Πεχλιβανίδης 1991) που αφορούν την κατανομή της ταχύτητας και πυκνότητας.

Από την κατανομή των ταχυτήτων προσδιορίζεται ο συντελεστής τριβής στην διεπιφάνεια, καθοριστική παράμετρος για τον προσδιορισμό του μήκους της στάσιμης αλμυρής σφήνας. Η θέση στην οποία η τιμή της πυκνότητας παίρνει την μέση τιμή των πυκνοτήτων των δύο στρωμάτων ορίζεται σαν η θέση της διεπιφάνειας πυκνότητας. Τα παραπάνω μοντέλα στηρίζονται σε αυτή τη θεώρηση. Εδώ επισημαίνεται ότι η διεπιφάνεια πυκνότητας και ταχύτητας σπανιότατα ταυτίζονται.





Σχήμα 2. Αδιάστατη κατανομή ταχυτήτων και πυκνότητας

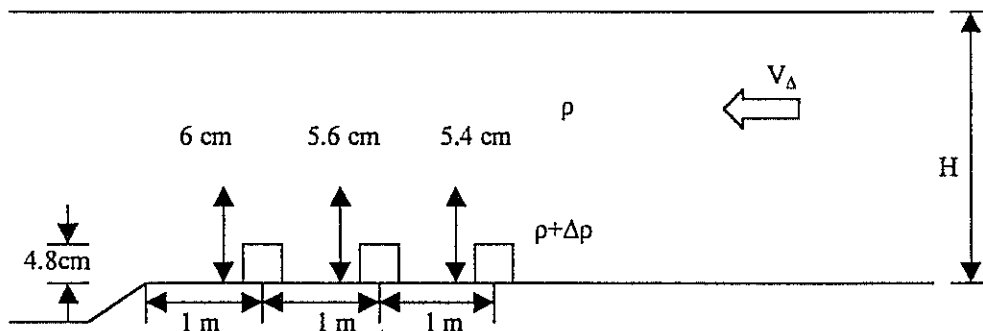
Οι Masamitsu Arita και Gerhard H.Jirka 1988 προσδιόρισαν ένα μοντέλο δύο στρωμάτων της στάσιμης αλμυρής σφήνας, θεωρώντας τη γραμμή μηδενικής ταχύτητας, προσδιορίζοντας ταυτόχρονα και το συντελεστή ανάμιξης  $\alpha_j$ . Στο μοντέλο αυτό προσδιορίζεται το σχήμα της σφήνας, το ολικό βάθος εισόδου και η εσωτερική ανακύκλωση.

Το πρόβλημα της μεταφοράς φερτών υλικών προς τα ανάντη του στομίου των ποταμών δεν έχει αντιμετωπιστεί μέχρι σήμερα συστηματικά.

### 3. ΠΕΙΡΑΜΑ

#### 3.1 Πειραματική Διαδικασία

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε κανάλι ορθογωνικής διατομής 50 cmX50 cm και μήκους 24.18 m. Το κανάλι είναι συνδεδεμένο με δεξαμενή διαστάσεων 3 mX 1.30 m. Σε αποστάσεις από την δεξαμενή 1 m, 2 m και 3 m τοποθετήθηκαν αναβαθμοί κάθετα προς τον άξονα του καναλιού (σχ.3). Οι διαστάσεις των αναβαθμών είναι μήκος 10 cm, πλάτος 50 cm και ύψος 4.8 cm



Σχήμα 3. Αναβαθμοί στα κατάντη του καναλιού.

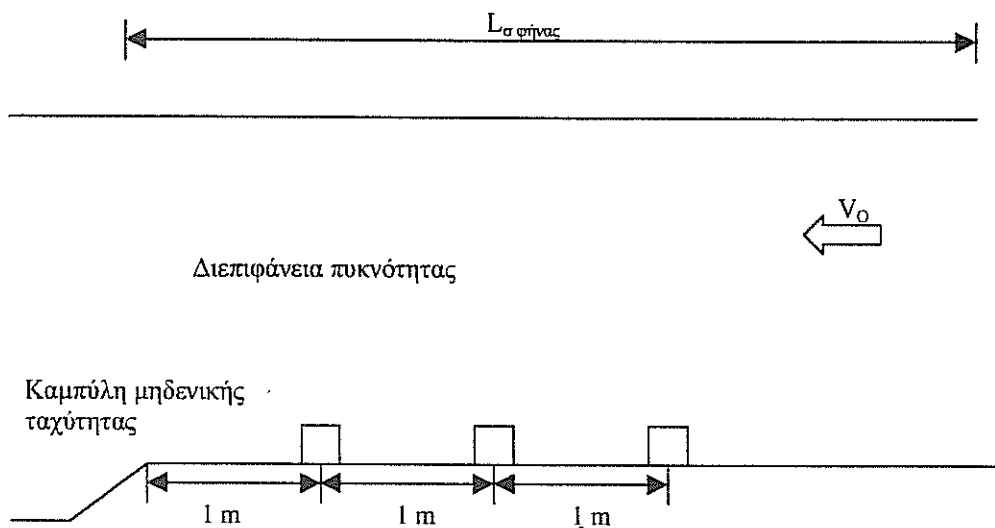
Στην δεξαμενή τοποθετήθηκε αλμυρό νερό αλατότητας 3.5%, σε ύψος 12 cm πάνω από την επιφάνεια του πυθμένα του καναλιού. Το κανάλι πληρώθηκε με γλυκό νερό στο ίδιο ύψος. Μετά από το άνοιγμα της θυρίδας που χωρίζει την δεξαμενή με το κανάλι το αλμυρό νερό εισέρχονταν προς τα ανάντη του καναλιού υπερχειλίζοντας διαδοχικά τους τρεις αναβαθμούς. Στις φωτ. 1, 2 φαίνονται τα διάφορα στάδια κίνησης, καθώς και η κίνηση του μετώπου. Ταυτόχρονα το γλυκό νερό κινούνταν αντίθετα και εισέρχονταν στην δεξαμενή.

Όταν το μήκος της αλμυρής σφήνας έφθασε τα 20 μέτρα τέθηκε σε λειτουργία η αντλία φρέσκου νερού και η σφήνα σταθεροποιήθηκε στα 16 μέτρα.

### 3.2 Ανάλυση του πειράματος

Μετά την σταθεροποίηση της αλμυρής σφήνας το ύψος του νερού στο κανάλι ήταν 16 cm, ενώ το ύψος της σφήνας στην θέση του πρώτου αναβαθμού ήταν 6.0 cm του δευτέρου 5.6 cm και του τρίτου 5.4 cm. Η ταχύτητα του νερού ήταν  $v=0.05$  m/sec και το μήκος της σφήνας ήταν 16 μέτρα (σχ.4). Το μήκος αυτό της σφήνας σε χρόνο 1 min και 30 sec μειώθηκε στα 13.20 m. Μετά δε από κάποιο χρονικό διάστημα η σφήνα φθάνει στον τρίτο αναβαθμό, δηλαδή στα 3 μέτρα.

Στην φάση αυτή παρατηρήθηκε υπερχειλίση του αλμυρού νερού από τον πρώτο και τον δεύτερο αναβαθμό, ενώ δεν παρατηρήθηκε υπερχειλίση από τον τρίτο αναβαθμό. Η κίνηση του αλμυρού νερού δεν γίνεται αντιληπτή με την χρήση ανεμομέτρων, διότι οι ταχύτητες είναι μικρές κάτω των 5 mm/sec. Με την χρήση όμως χρωστικής ουσίας σε κατάλληλες θέσεις φαίνεται η τροχιά των στοιχείων του ρευστού που διέρχονται από τις θέσεις αυτές.



Σχήμα 4. Κίνηση στοιχείων ρευστού της αλμυρής σφήνας και γραμμή μηδενικής ταχύτητας

### 3.3 Οπτική απεικόνιση των πειραμάτων

Στις φωτογραφίες 1 και 2 φαίνονται σε διάφορες θέσεις η κίνηση της αλμυρής σφήνας, καθώς επίσης και η θέση περίπου της γραμμής μηδενικής ταχύτητας. Στην φωτ. 2 φαίνεται η αλμυρή σφήνα να κινείται πάνω από τον εκχειλιστή και να δημιουργείται μετά την πώση εσωτερικό υδραυλικό άλμα. Τα εσωτερικά κύματα τα οποία δημιουργούνται κατά την κίνηση του άνω στρώματος δημιουργούν και συνθήκες ανάμιξης με την έντονη εμφάνιση των διαμητρικών τάσεων, σε ορισμένες δε περιπτώσεις γίνεται αντιληπτή και η θραύση αυτών.

Η ανακύκλωση του αλμυρού νερού μεταξύ του δευτέρου και τρίτου αναβαθμού έδινε την δυνατότητα ανανέωσης αυτού από την δεξαμενή. Το αλμυρό νερό ανάντη και του τρίτου αναβαθμού συμπεριφερόταν σαν να ήταν εγκλωβισμένο και γι' αυτό συνεχώς υφίστατο έντονη ανάμιξη με το γλυκό νερό, οπότε το μήκος της μειωνόταν.

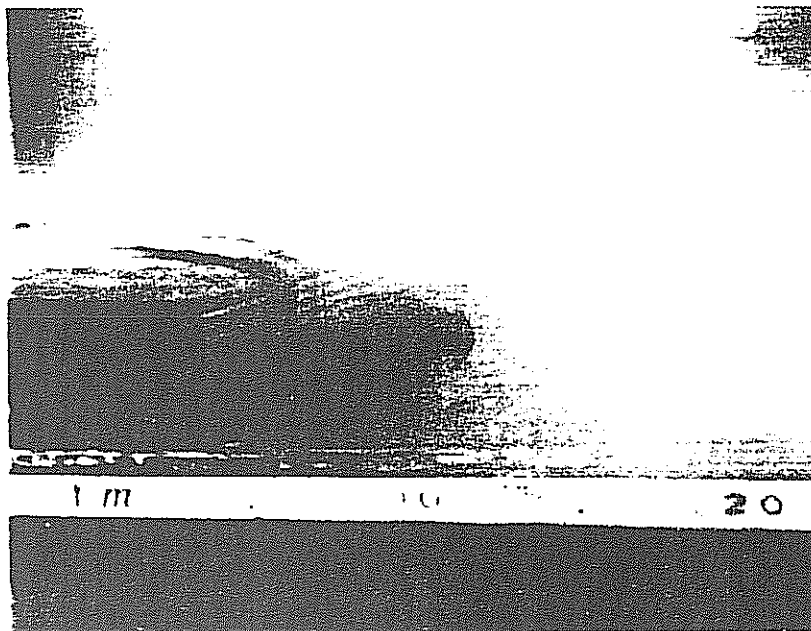
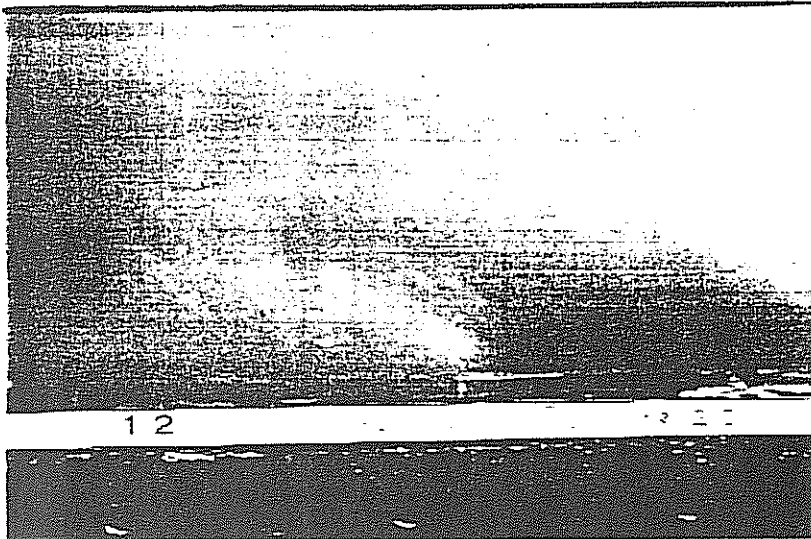
Με την αύξηση της ταχύτητας σε  $v=0.063$  m/sec παρατηρήθηκε μείωση του ύψους της σφήνας στις θέσεις των αναβαθμών και επομένως μείωση του ύψους της γραμμής μηδενικής ταχύτητας. Με την ταχύτητα αυτή δεν υπερχείλιζε το αλμυρό νερό τον δεύτερο αναβαθμό. Έτσι υπήρχε ανακύκλωση του αλμυρού νερού μεταξύ του πρώτου και δεύτερου αναβαθμού. Το αλμυρό νερό που εγκλωβίστηκε μεταξύ του δεύτερου και τρίτου αναβαθμού υφίστατο ανακύκλωση και εξαιτίας της ανάμιξης με το γλυκό νερό μειωνόταν και το ύψος αυτού.

Τελικώς δόθηκε ταχύτητα στο φρέσκο νερό  $v=0.087$  m/sec . Με την ταχύτητα αυτή παρατηρήθηκε περαιτέρω μείωση του ύψους της γραμμής μηδενικής ταχύτητας. Το αλμυρό νερό εγκλωβίστηκε στον πρώτο αναβαθμό. Οι ποσότητες του αλμυρού νερού που έμεναν στις θέσεις μεταξύ των αναβαθμών και πέραν του τρίτου αναβαθμού συνεχώς μειωνόταν. Το αλμυρό νερό που έφθανε μέχρι τον πρώτο αναβαθμό ανανεωνόταν συνεχώς από την δεξαμενή, έφθανε μέχρι αυτόν και έκανε ανακύκλωση με διαρκή ανάμιξη με το γλυκό νερό.

Από το πείραμα γίνεται πλέον αντιληπτή η επίδραση των αναβαθμών στον έλεγχο του μήκους της σφήνας.

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Με την τοποθέτηση πολλαπλών αναβαθμών ανάντη των εκβολών των υδατορευμάτων και σε σχετικά χαμηλό ύψος από τον πυθμένα είναι δυνατόν να περιοριστεί σημαντικά το μήκος εισόδου του αλμυρού νερού στα υδατορεύματα.
2. Ο πρώτος αναβαθμός περιορίζει σημαντικά την κίνηση των φερτών υλών από την θάλασσα προς το υδατόρευμα.
3. Η γνώση της καμπύλης της αλμυρής σφήνας, της κατανομής των ταχυτήτων σε διάφορες διατομές του καναλιού, καθώς και της γραμμής μηδενικής ταχύτητας θα προσέφεραν πολύτιμα στοιχεία για την διαστασιολόγηση των αναβαθμών.
4. Είναι αναγκαίο να γίνουν και άλλα πειράματα με διάφορες τιμές των υδραυλικών παραμέτρων και μετρήσεις τόσο μέσων μεγεθών όσο και των αντιστοίχων τυρβωδών τους.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δερμίσσης Β., «Μελέτη των Διατμητικών τάσεων Διεπιφάνειας και Πυθμένα Στάσιμης Αλμυρής Σφήνας και Δομή της Ροής στη Διεπιφανειακή Ζώνη». Διατριβή επί Υψηγεία, Θεσσαλονίκη 1982.
2. Demissis V., Partheniades E., Metha, " On the Shape and Interfacial Resistance of Arrested Saline Wedges" Proc. 15<sup>th</sup> Congress of I.A.H.R. Sao Paulo, Brazil, Vol. I, 1975, pp, 157-164.
3. G.H.Keulegan "The Mechanics of an Arrested Saline Wedge" Ch. 11, Estuary and Coastline Hydrodynamics, Edited by A..T.Ippen, McGraw-Hill, 1966.
4. Masamitsu Arita and Gerhard H.Jirka M.ASCE "Two-Layer Model of Saline Wedge. II: Prediction of Mean Properties" J. of Hydraulic Engineering, Vol.113, No.10, October 1987
5. Πεχλιβανίδης Γ. «Μελέτη της Διεπιφανειακής Ζώνης δύο Αναμιξιμών Ρευστών». Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη 1991.
6. Schijf. J.B. and Schoenfeld, J.C. (1953), "Theoretical considerations on the motion of salt and fresh water", Proc.Minn.Intern. Hydr.con.pp.321-333.

# ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΣΕΩΝ ΣΤΟ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ

**Οδυσσέας Γ. Μανωλιάδης**

ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος  
Κοίλα Κοζάνης 50100- Κοζάνη

## ABSTRACT

Περιβαλλοντικοί δείκτες προτείνονται για την επίλυση του προβλήματος της διανομής του αρδευτικού νερού σε συνθήκες ανταγωνιστικής χρήσης του. Για την επιλογή της καλύτερης λύσης προτείνεται ο συνθετικός προγραμματισμός, με τον οποίο είναι δυνατόν να εξετασθούν οι αλληλεπιδράσεις και οι αντιθέσεις που δημιουργούνται στην εφαρμογή των αρδεύσεων. Εξετάζεται μελέτη περίπτωσης για την εξέταση της εφαρμογής της μεθόδου στην οποία τα απαραίτητα δεδομένα καταγράφησαν από μετρήσεις στο αγροτεμάχιο.

## FARM LEVEL ENVIRONMENTAL INDICES FOR MULTICRITERION IRRIGATION MANAGEMENT

**Odysseus G. Manoliadis**

Department of Geotechnolgy and Environmental Engineering  
Technological Education Institute of Western Macedonia  
50100 Koila, Kozani Greece

## ABSTRACT

Environmental indices are introduced in irrigation management, at on farm level for irrigation water allocation under competing and conflicting use. For the selection of the alternative the composite programming is proposed, capable of integrating the interaction and conflicts between management policies. A case study is analyzed to demonstrate the applicability of the proposed formulation. The required data were derived from the consideration of certain crop cultural practices measured at field.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια των μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων οι αρδεύσεις αποτελούν ένα σημαντικό θέμα έρευνας διότι έχουν άμεση σχέση με τον υδρολογικό κύκλο, την ανάπτυξη των καλλιεργειών, την παραγωγή τροφής καθώς και την κίνηση χημικών ουσιών στο περιβάλλον. Επιπρόσθετα, κατά μεγάλο μέρος επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή και τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Σήμερα, ένας επιπρόσθετος λόγος περιβαλλοντικής αξιολόγησής των, έγκειται στη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νερού για παραγωγή τροφής. Σε πολλές περιπτώσεις η έλλειψη νερού έχει ως αποτέλεσμα την άσχημη απόδοση των αρδευτικών δικτύων και τη χρήση κριτηρίων βιωσιμότητας στη διανομή του[1]. Οι αρχές που θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη για την αξιολόγησή των σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια έχουν αναπτυχθεί στο παρελθόν από πολλούς ερευνητές[2]. Το παραπάνω πρόβλημα επιλύεται ως πρόβλημα πολλαπλών στόχων και κριτηρίων (δεδομένου ότι εκτός των πολλών και μη ομοειδών κριτηρίων που υπεισέρχονται υπάρχει μεγάλος αριθμός ενδιαφερομένων ομάδων και κατά συνέπεια αντίστοιχων στόχων). Στην εργασία αυτή το παραπάνω πρόβλημα επιλύεται με τη χρήση του συνθετικού προγραμματισμού που έχει τη δυνατότητα να αναλύει μη ομοειδή κριτήρια και μεγάλο αριθμό στόχων και κριτηρίων (multiobjective - multicriteria system)[3]. Οι σχετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον μετρούμενες με χρήση των περιβαλλοντικών δεικτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αξιολόγηση του αρδευτικών δικτύων σε επίπεδο αγροτεμαχίου.

## 2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Σε συνθήκες έλλειψης νερού ένα σημαντικό μέρος των κριτηρίων αποτελούν τα κριτήρια βιωσιμότητας. Στην περίπτωση αυτή βιωσιμότητα είναι σύμφωνα με τον Copway[1] η ικανότητα του αρδευτικού έργου να αποφεύγεται η κατάρρευσή του επιδιώκοντας ταυτόχρονα αποδεκτή παραγωγή. Σύμφωνα με τον Copway στοιχεία προς αξιολόγηση είναι η παραγωγικότητα, η σταθερότητα σε συνθήκες έλλειψης νερού, και η κατανομή του εισοδήματος. Προτάσεις για να συμπεριληφθούν οι αρχές του Copway στα αρδευτικά δίκτυα παρουσιάζονται στην εργασία του Mergos [2]. Στην εργασία αυτή κριτήρια βιωσιμότητας χρησιμοποιούνται στα πλαίσια μιας ομάδας περιβαλλοντικών κριτηρίων τα οποία είναι τα εξής:

*Επάρκεια νερού:* Ορίζεται ως το κριτήριο της απόδοσης της απαραίτητης για την φυσιολογική ανάπτυξη της καλλιέργειας ποσότητας νερού στον κατάλληλο χρόνο. Από πολλούς θεωρείται το σημαντικότερο κριτήριο διανομής του αρδευτικού νερού καθότι αποφεύγεται η σπατάλη νερού, η επιβάρυνση του δικτύου και η επιφανειακή απορροή. Ο αντίστοιχος περιβαλλοντικός δείκτης  $ei^1$  ορίζεται ως[4]:

$$ei^1 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n w_{it}$$

όπου  $w_{it}$  είναι η ποσότητα νερού ή ύψος νερού μετρούμενο σε mm μιας μοναδιαίας επιφάνειας (πχ. στρέμμα) που χρησιμοποιείται για την άρδευση της  $i$  καλλιέργειας, στο στάδιο απόφασης  $j$  και όπου  $k$  and  $n$  είναι ο αριθμός των καλλιεργειών και σταδίων απόφασης αντίστοιχα.

*Παραγωγή:* Ορίζεται ως ο κοινωνικά επιθυμητός στόχος να επιτυγχάνεται αποδεκτή παραγωγικότητα αποφεύγοντας την κατάρρευση του δικτύου σε συνθήκες έντασης. Ο αντίστοιχος δείκτης  $ei^2$  (μετρούμενος σε κιλά) είναι η μείωση παραγωγής[5][6]:

$$ei^2 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \lambda_{it} (LAL - s_{it})$$

όπου  $LAL$  (lower allowable limit) είναι το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο εδαφικής υγρασίας,  $s_{it}$  είναι η εδαφική υγρασία του αγροτεμαχίου  $j$  το χρονικό στάδιο  $n$ .

και ισχύει  $\lambda_{it} = 1$  για  $s_{it} > LAL$

ή  $\lambda_{it} = 0$  (συντελεστής σύμφωνα με τους Doorembos and Kassam [7]).

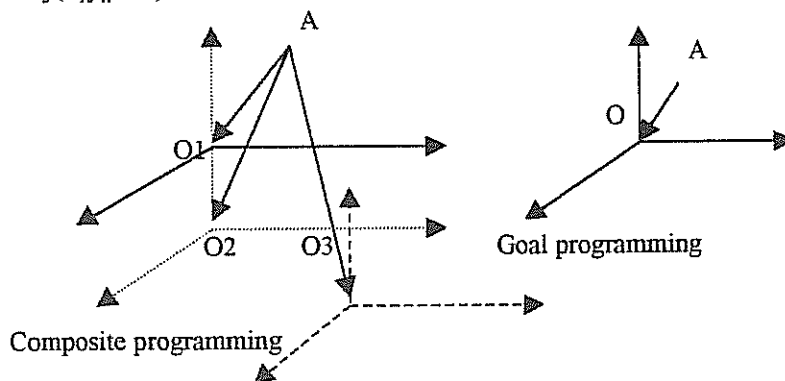
*Σχετικό κόστος νερού:* Ο σχετικός δείκτης  $ei^3$ , αντιπροσωπεύει το αναποδοτικό όφελος από την εξοικονόμηση ενός κυβικού μέτρου νερού  $w_{it}$  [8]:

$$ei^3 = \frac{\sum_{j=1}^k c_{it}}{\sum_{i=1}^n w_{it}}$$

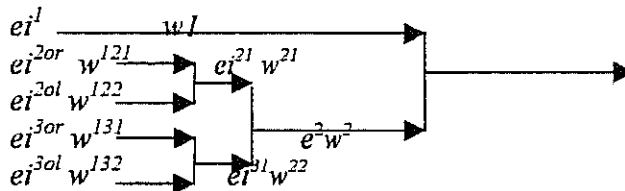
όπου  $c_{it}$  είναι το κόστος του νερού στον παραγωγό.

### 3. ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο συνθετικός προγραμματισμός [9] μπορεί να περιγραφεί ως η μέθοδος εκείνη που χρησιμοποιεί ομογενοποιημένη, ιεραρχική απόσταση (AO) από την εκάστοτε ιδεατή λύση. Έχει σαφείς ομοιότητες με τον προγραμματισμό επιδιώξεων [10] (goal programming) με τη διαφορά ότι το ιδεατό σημείο διαφέρει για κάθε στόχο (Σχήμα 1). Η ιεραρχική δομή του είναι μια μέθοδος ανάλυσης του σύνθετου προβλήματος της διανομής του αρδευτικού νερού σε επίπεδο αγροτεμαχίου σε στοιχειώδη στοιχεία τους περιβαλλοντικούς δείκτες (Σχήμα 2):







Σχήμα 2. Συνθετικός προγραμματισμός της περίπτωσης μελέτης

Η επιλογή των δεικτών γίνεται με την άμεση ή έμμεση καταγραφή των περιβαλλοντικών δεικτών και στηρίζεται στην εμπειρία των ειδικών. Για παράδειγμα στη μελέτη περίπτωσης που εξετάστηκε χρησιμοποιήθηκαν ο δείκτης  $ei^1$  για την επάρκεια  $ei^{2or}ei^{2ol}$  δύο δείκτες ένας για κάθε καλλιέργεια ( $ei^{2or}$  για την πορτοκαλιά και  $ei^{2ol}$  για την ελιά ) για την παραγωγή και επίσης δύο δείκτες ένας για κάθε καλλιέργεια ( $ei^{3or}$  για την πορτοκαλιά και  $ei^{3ol}$  για την ελιά ) για το σχετικό κόστος νερού. Μετά τον προσδιορισμό των δεικτών η διαδικασία σύνθεσης του συστήματος σε ομοειδείς δείκτες έχει ως εξής. Οι δείκτες  $ei^{2or}, ei^{2ol}$  και  $ei^{3or}, ei^{3ol}$  συνθέτονται στους συντελεστές παραγωγής  $ei^2$ , και σχετικού κόστους  $ei^3$ , αντίστοιχα και αποτελούν τους συντελεστές πρώτου επιπέδου στο ιεραρχικό σύστημα του συνθετικού προγραμματισμού. Στο επόμενο επίπεδο οι δύο αυτοί συντελεστές συντίθενται σε ένα συντελεστή δευτέρου επιπέδου  $ei^2$  (οικονομικής απόδοσης) ο οποίος συγκρίνεται με το συντελεστή επάρκειας  $ei^1$  (βιωσιμότητας). Στην περίπτωση αυτή το τελευταίο αυτό επίπεδο περιγράφει την αντιπαράθεση μεταξύ της βιώσιμης ανάπτυξης των καλλιεργειών και της οικονομικής απόδοσης του συστήματος.

Ένα άλλο εξ ίσου σημαντικό σημείο της μεθόδου αποτελούν τα βάρη σχετικής σημασίας των δεικτών/ συντελεστών που αντιπροσωπεύουν τη σημασία του συγκεκριμένου δείκτη/ συντελεστή στο τελικό αποτέλεσμα.

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων [11] γίνεται με την βαθμολόγησή της σύμφωνα με τους παραπάνω δείκτες και συντελεστές βάρους. Ακολουθεί η ομογενοποίησή της σύμφωνα με τον τύπο:

$$R(x) = \frac{R(i) - R}{R(i) - R(w)} \quad (1)$$

όπου  $R(x)$  είναι η ομογενοποιημένη τιμή της εναλλακτικής λύσης σύμφωνα με το  $i$  κριτήριο και  $R(w)$  and  $R(i)$  η χειρότερη και καλύτερη τιμή βαθμολόγησης των εναλλακτικών λύσεων. Η επιλογή της καλύτερης λύσης είναι η εξεύρεση της λύσης εκείνης που λαμβάνει την καλύτερη βαθμολογία στο σύνολο των στόχων .

#### 4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στον Κουφό Χανίων. Η καλλιεργούμενη έκταση είναι συνολικής έκτασης 1100 στρεμμάτων και αποτελείται από πορτοκαλιές και ελιές αρδευόμενες σε ποσοστό 60% και 40%, αντίστοιχα. Προκειμένου να προσδιορισθούν και να αξιολογηθούν οι πρακτικές άρδευσης που εφαρμόζονται έγινε ένα πρόγραμμα μετρήσεων κατανάλωσης

με υδρομετρητές που συνοδεύονταν από μέτρηση της εδαφικής υγρασίας σε χαρακτηριστικά αγροτεμάχια. Οι μετρήσεις έγιναν σε πραγματικό χρόνο από καταγραφείς και αφορούσαν τις αρδευτικές περιόδους 1989 και 1990[12],[13]. Τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

#### 4.1 Διαχειριστικές πολιτικές

Οι διαχειριστικές πολιτικές προέκυψαν από την παρατήρηση των πρακτικών άρδευσης των καλλιεργειών πορτοκαλιάς και ελιάς. Για την άρδευση των καλλιεργειών οι εναλλακτικές λύσεις διαφέρουν ως προς το χρόνο εφαρμογής ανά μια ή δύο εβδομάδες και ως προς το ποσοστό επαναπλήρωσης που κυμαίνεται από 60% έως 90%. Έτσι προέκυψαν δέκα διαχειριστικές πολιτικές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

#### 4.2 Ανάλυση των στόχων –Συντελεστών βαρύτητας

Εξετάστηκαν οι επόμενοι στόχοι που αντιπροσωπεύουν συμφέροντα ή επιδιώξεις ομάδων που υπεισέρχονται στη διαχείριση των αρδεύσεων. Αυτές είναι οι εξής:

- 1) Επιδίωξη εξοικονόμησης νερού (Αντίστοιχος περιβαλλοντικός δείκτης  $ei^1$ )
- 2) Επιδίωξη αποδεκτής παραγωγής (Αντίστοιχος περιβαλλοντικός δείκτης  $ei^2$ )
- 3) Επιδίωξη ελαχιστοποίησης του κόστους νερού (Αντίστοιχος περιβαλλοντικός δείκτης  $ei^3$ )

Οι παραπάνω στόχοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Οι συντελεστές βαρύτητας υπετέθησαν ισοτίμοι.

### 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα υπολογισμού των περιβαλλοντικών δεικτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Οι γραμμές του Πίνακα 4 ανταποκρίνονται στις διαχειριστικές πολιτικές άρδευσης. Για παράδειγμα, στη γραμμή 4 που αναφέρεται στη διαχειριστική πολιτική IV, ο συντελεστής επαναπλήρωσης για την πορτοκαλιά είναι 0.8 και ο χρόνος εφαρμογής είναι 1 εβδομάδα, ενώ για την ελιά ο συντελεστής επαναπλήρωσης είναι 0.6 και ο χρόνος εφαρμογής είναι 2 εβδομάδες. Οι στήλες του Πίνακα IV είναι οι περιβαλλοντικοί δείκτες. Οι τιμές του πίνακα είναι οι τιμές των δεικτών κατεγράφησαν για την εκάστοτε διαχειριστική πολιτική και το υπ' όψη περιβαλλοντικό δείκτη και μέσα σε παρένθεση η ομογενοποιημένη τιμή σύμφωνα με την εξίσωση 1.Επίσης επισημαίνονται οι λύσεις εκείνες οι οποίες θεωρούνται ως μη αποδεκτές σύμφωνα με τα όρια που ορίζει ο χρήστης. Εξετάζοντας τα αποτελέσματα σε σχέση με τον πρώτο στόχο, την εξοικονόμηση νερού, η εναλλακτική λύση VII κατατάσσεται πρώτη (Έχει την μεγαλύτερη ομογενοποιημένη τιμή, 1.00, στην πρώτη στήλη). Εξετάζοντας τα αποτελέσματα σε σχέση με τον στόχο της αποδεκτής παραγωγής (στήλη 2 και 3) η κατάταξη των τριών πρώτων λύσεων είναι I, II, VII.

Τέλος εξετάζοντας τα αποτελέσματα σε σχέση με τον τρίτο στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους νερού (στήλη 4 και 5) η εναλλακτική λύση VII κατατάσσεται πρώτη.

Η βαθμολόγηση κάθε εναλλακτικής λύσης ως προς και τους τρεις αυτούς στόχους (απόσταση από το ιδεατό σημείο 1.00, 1.00, 1.00) είναι η εξής: I(0.41), II(0.27), III(0.02), IV(0.67), V(0.35), VI(0.80), VII(0.00), VIII(0.38), IX(0.94), X(1.00) Κατά συνέπεια η λύση που κατατάσσεται πρώτη στο σύνολο των στόχων είναι η VII.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο συνθετικός προγραμματισμός είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος της διανομής του αρδευτικού νερού σε επίπεδο αγροτεμαχίου. Δίνει την δυνατότητα αντιμετώπισης πολλών στόχων και μη ομογενών κριτηρίων που υπεισέρχονται σε συνθήκες ανταγωνιστικής χρήσης νερού. Είναι δυνατόν επίσης να συμπεριληφθούν περισσότερα κριτήρια, στόχοι ή δείκτες και να συντεθεί το σύστημα κατά διαφορετικό τρόπο. Με τις ανταγωνιστικές συνθήκες που δημιουργούνται στην κατανάλωση του νερού σήμερα πιστεύεται ότι περιβαλλοντικοί δείκτες και μεθοδολογίες όπως η προτεινόμενη θα αποτελέσουν αντικείμενα έρευνας στη διαχείριση των αρδεύσεων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] G. R. Conway, 1975, 'The Properties of Agroecosystems', *Agricultural Systems*, Vol 24, No2, pp. 95-117.
- [2] G. J. Mergos, 1991, 'Sustainability issues and Technology Choice in Irrigation Investment' *Water Resources Management*, Elsevier Pub. Science, Volume Vol. 5, No 3, pp. 121-125.
- [3] J.L. Cohon, 1975 "Multiobjective Programming and Planning", Academic Press, New York.
- [4] Tsakiris G., 1985, Evaluating the Effect of Non-Uniform and Deficient Irrigation, Part 1, *Advances in Water Resources*, No8, pp. 81-85.
- [5] Tsakiris G., 1985, Evaluating the Effect of Non-Uniform and Deficient Irrigation, Part 2, *Advances in Water Resources*, No8, pp. 86-89.
- [6] J. Doorembos and A. H. Kassam, 1979, "Yield Response to Water" *Irrigation and Drainage Paper No. 33*, FAO, Rome.
- [7] Jensen M. E., 1967, "Evaluating Irrigation Efficiency", *Journal of Irrigation and Drainage Division*, American Society of Civil Engineers, Vol 93, No. 1, pp. 83-98.
- [8] Shamir U., 1987, "Reliability of water supply systems" *Proceedings of the International Conference Engineering Reliability and Risk in Water Resources*, L. Duckstein and E. J. Plats eds, NATO ASI Series, M Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, pp 35-39.
- [9] I. Bogardi, 1975, "Uncertainty in Water Resources decision making" *Proceedings of the UNDP/UN Interregional Seminar on River Basin and Interbasin Development*, Budapest, Hungary, pp. 62-65.
- [10] M. Zeleny, 1982, "Multiple Criteria Decision Making", Mc Graw Hill Company, New York.

[11] Voogdt H., 1983, Multicriteria evaluation for rural and Regional Planning, London, Pion Ltd.

[12] G. Tsakiris and O. Manoliadis, 1994, " Stochastic Modelling of the Operation of Hydrants in an Irrigation Network", in *New Uncertainty Concepts in Hydrology and Water Resources*, International Hydrology Series, 2(6), pp. 252-258.

[13] Manoliadis O. G., 1994, "A Real Time Control Model of Pressurized Irrigation Projects", PhD Thesis, National Technical University of Athens, Athens.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Crops	Orange trees	Olive trees
Area	200stremmas	300 stremmas
Yield	2700kg/stremma	800kg/str.
Coverage	90%	70%
Depth of rootzone	1.2m	1.0m
Wilting point	9%	14%
Soil moisture content	19%	25%

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά των εναλλακτικών λύσεων

Alternative	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
aX10 <sup>-1</sup>	8	8	9	8	9	8	8	9	8	8
bX10 <sup>-1</sup>	6	7	6	6	6	7	5	7	7	5
c	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
d	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2

a,b συντελεστές επαναπλήρωσης για την πορτοκαλιά και την ελιά

c,d χρόνοι εφαρμογής (σε εβδομάδες)

Πίνακας 3. Συντελεστές βάρους

	ei <sup>1</sup>	ei <sup>2or</sup>	ei <sup>2ol</sup>	ei <sup>3or</sup>	ei <sup>3ol</sup>
A	1	0	0	0	0
B	0	1	1	0	0
C	0	0	0	1	1

Πίνακας 4. Περιβαλλοντικοί δείκτες

ΕΝΑΛΛ. ΛΥΣΗ	ei <sup>1</sup> [mm]	ei <sup>2or</sup> (kg)	ei <sup>2ol</sup> (kg)	ei <sup>3or</sup> (drs <sup>***</sup> /kg)	ei <sup>3ol</sup> (drs/kg)
I(0.8/1 - 0.6/1)	885 (0.32)	475 (0.35)	1593 (0.39)	1.80 (0.40)	0.53 (0.38)
II (0.8/1 - 0.7/1)	917 (0.57)	469 (0.38)	1516 (0.43)	1.65 (0.47)	0.51 (0.46)
III(0.9/1 - 0.6/1)	939 (0.75)	330 (0.97)	422 (1.00)	0.44 (0.99)	0.35 (1.00)
IV(0.8/1 - 0.6/2)	845 (0.00)	498 (0.25)	1639 (0.36)	1.93 (0.34)	0.59 (0.21)
V(0.8/1 - 0.7/2)	903 (0.46)	485 (0.31)	1576 (0.39)	1.75 (0.43)	0.54 (0.38)
VI(0.8/1 - 0.5/1)	847 (0.02)	514* (0.18)	2053* (0.14)	2.42* (0.13)	0.61* (0.15)
VII(0.9/1 - 0.7/1)	971 (1.00)	323 (1.00)	422 (1.00)	0.43 (1.00)	0.33 (1.00)
VIII(0.8/1 - 0.7/2)	867 (0.17)	387 (0.73)	1696 (0.33)	1.95 (0.33)	0.45 (0.68)
IX(0.8/1 - 0.5/2)	856 (0.09)	557* (0.00)	2326* (0.00)	2.72* (0.00)	0.65* (0.00)
X(0.9/1 - 0.5/1)	910 (0.52)	336 (0.94)	1003 (0.69)	1.10 (0.71)	0.37 (0.94)

\* μη αποδεκτή λύση

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΣΕ ΣΤΡΩΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ

Δ. Καλφούντζος\*, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη\*,  
Χ. Τζιμόπουλος\*\*

\*Τμήμα Γεωπονίας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Πεδίον Αρεως, 38334, Βόλος

\*\*Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ., 540-06, Θεσ/νίκη

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε δείγμα στρωματοποιημένου έδαφους έγινε μια σειρά πειραμάτων στο εργαστήριο, προκειμένου να μελετηθεί η διαδικασία διήθησης-στράγγισης και να εξαχθούν οι αντίστοιχες οριακές χαρακτηριστικές καμπύλες. Η μελέτη έγινε σε μια στήλη από πλεξιγκλάς εντός της οποίας τοποθετήθηκε ένα πηλοαμμώδες έδαφος εδραζόμενο επί ενός αμμώδους. Μετρήθηκε η εδαφική υγρασία με τη μέθοδο TDR καθώς και η πίεση του εδαφικού νερού σε τέσσερις θέσεις του δείγματος με μετατροπείς πιέσεων. Προσδιορίστηκαν επίσης τα μέτωπα υγρασίας και ελήφθησαν οι οριακές καμπύλες διύγρανσης-στράγγισης των δύο στρώσεων οι οποίες προσεγγίστηκαν με αναλυτικές σχέσεις.

### EXPERIMENTAL PROCESSES OF INFILTRATION AND DRAINAGE IN LAYERED SOILS

D. Kalfountzos\*, M. Sakellariou-Makrantonaki\*, C. Tzimopoulos\*\*

\*Dep. of Agronomy, University of Thessaly, Pedion Areos, 38334, Volos, Greece

\*\*Dep. of Rural and Surveying Engin. A.U.TH., 540-06 Thessaloniki Greece

### ABSTRACT

Experiments were carried out in the laboratory in order to study the process of infiltration and drainage of water in a layered soil sample and obtain the boundary characteristic curves of the layer. The study was made in a vertical column of plexiglass feeled with a siltysandy soil overlying a sandy one. The moisture content was measured by TDR method and soil water pressure was measured in four positions by tensiometers associated with pressure transducers. Wetting fronts were determined and boundary characteristic curves infiltration-drainage curves were obtained which approximated by analytical relations.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της κίνησης του νερού σε στρωματοποιημένα εδάφη παρουσιάζει ενδιαφέρον, επειδή οι στρώσεις επιδρούν στην κίνηση του νερού και στην μεταφορά των ρύπων στους υπόγειους ορίζοντες. Στην φύση είναι συνθηότερη η εμφάνιση στρωματοποιημένων παρά ομογενών εδαφών. Η στρωματοποίηση του εδάφους επηρεάζει την ομοιόμορφη κατανομή του νερού άρδευσης ή στράγγισης και την μορφή των μετώπων της υγρασίας, ιδιαίτερο δε ρόλο παίζει ο τρόπος διαδοχής των στρώσεων. Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την κίνηση του νερού στο έδαφος κατά την διάρκεια σταθερής ροής διήθησης-στράγγισης σε στρωματοποιημένα πορώδη μέσα. Μεταξύ αυτών ο Πουλοβασίλης [3], έδωσε σχηματικά τα προφίλ πίεσης υγρασίας που εξαρτώνταν από την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους. Οι Dane and Wierenga [1], έδωσαν πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα κατά την διήθηση-στράγγιση και ανακατανομή της υγρασίας σε στρωματοποιημένο αργιλοπηλό επί άμμου. Οι Sakellariou et al. [4], Σακελλαρίου [5], έδωσαν πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα κατά την διάρκεια διήθησης-στράγγισης του νερού σε στρωματοποιημένο δείγμα, αποτελούμενο από ένα πηλοαμμώδες έδαφος εδραζόμενο επί μιας λεπτής άμμου.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της κίνησης του νερού με τη νέα μέθοδο TDR κατά την διαδικασία διήθησης στράγγισης σε στρωματοποιημένα εδάφη στο εργαστήριο, με σκοπό να προσδιορισθούν τα μέτωπα υγρασίας και οι οριακές χαρακτηριστικές καμπύλες, οι οποίες προσεγγίστηκαν με αναλυτικές σχέσεις.

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας γίνονται σήμερα με τις ακόλουθες μεθόδους α) μέθοδος νετρονίων, β) μέθοδος γ- ακτινοβολίας, γ) μέθοδος T.D.R. Οι δύο πρώτες μέθοδοι μετρούν με χρήση της ραδιενέργειας, και έχουν αναλυθεί σε εργασίες των Τζιμόπουλος κ.ά. [7], Σακελλαρίου κ.ά. [6], ενώ η τρίτη είναι μία νεοεμφανιζόμενη μη πυρηνική (ακτινοβολία), γρήγορη και ανεξάρτητη του εδαφικού τύπου μέθοδος. Οι Torp et al. [8], στην εργασία τους “ηλεκτρομαγνητικός προσδιορισμός της περιεκτικότητας της εδαφικής υγρασίας με χρήση της μεθόδου TDR” αναφέρουν ότι η ανταπόκριση της σε μη ομοιογενή υγρά εδάφη εξετάστηκε θεωρητικά και πειραματικά. Σε δεύτερη εργασία η ίδια ερευνητική ομάδα, Torp et al. [9], εφάρμοσε την τεχνική TDR στο εργαστήριο για μέτρηση της εδαφικής υγρασίας κατά την διάρκεια διήθησης, στράγγισης, εξάτμισης και ανόδου της στάθμης νερού σε συνθήκες στήλης ιλυοπηλώδους εδάφους, ύψους 1.05 μ.

Οι Dasberg and Dalton [2], έκαναν ταυτόχρονες μετρήσεις της κατ’ όγκο περιεκτικότητας σε νερό και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιώντας τη μέθοδο T.D.R. Οι μετρήσεις της περιεκτικότητας σε νερό που ελήφθησαν με την TDR συσκευή έδειξαν μια καλή σχέση με τους εργαστηριακούς προσδιορισμούς ( $r^2 = 0.84$ ) και ήταν συγκρίσιμες με μετρήσεις με την συσκευή νετρονίων. Οι εν λόγω ερευνητές τονίζουν την σπουδαιότητα των μετρήσεων κατά τρόπο που να μην διαταράσσει τον ίδιο όγκο δείγματος και να δίνει την δυνατότητα επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στον αγρό.

Οι Torp et al. [9], έκαναν μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας χρησιμοποιώντας ένα φορητό TDR. Συγκρίνοντας τις τιμές που μετρήθηκαν με TDR με εκείνες που έγιναν με εργαστηριακούς προσδιορισμούς έδειξαν ότι γενικά είχαν τις ίδιες τιμές. Οι τυπικές αποκλίσεις των διαφορών μεταξύ TDR και εργαστηριακών τιμών ήταν  $\pm 0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$

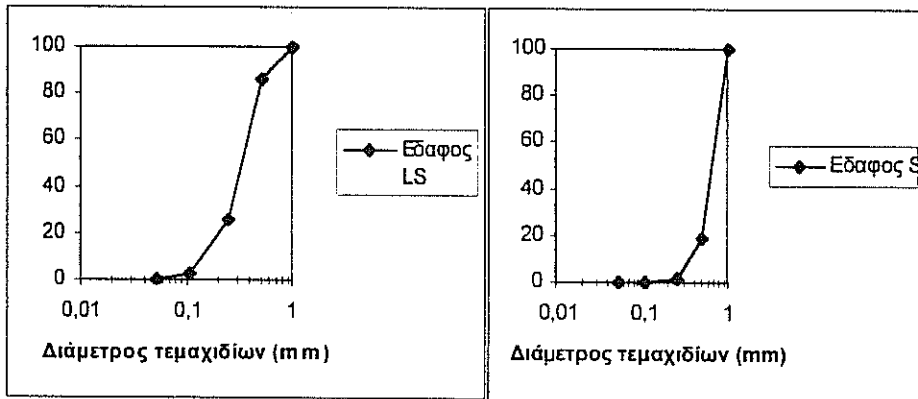




5. Αντλία κενού η οποία είναι ειδική για εργαστηριακή χρήση και είναι συνδεδεμένη από τον πυθμένα της κολόνας με εύκαμπτο διαφανή σωλήνα, με βαλβίδα και ρυθμιστή πίεσης.

### 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΑΚΑΣΙΑ

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα στρωματοποιημένο έδαφος εντός της διαφανούς κυλινδρικής κολόνας. Η κάτω στρώση ήταν ένα έδαφος αμμώδες



Σχήμα 2. Κοκκομετρικές καμπύλες εδαφικών δειγμάτων

ύψους 12 cm και φαινομενικής πυκνότητας  $1.66 \text{ gr.cm}^{-3}$  και η άνω στρώση ένα πηλοαμμώδες έδαφος ύψους 12 cm και φαινομενικής πυκνότητας  $1.41 \text{ gr.cm}^{-3}$ . Τα δύο εδαφικά δείγματα ξηράθηκαν στους  $105^{\circ}\text{C}$ , πέρασαν από μια σειρά κοσκίων τύπου Endecotts των 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm και 0.053 mm. Οι κοκκομετρικές καμπύλες των δύο εδαφικών δειγμάτων δίδονται στο σχήμα 2.

Στον πυθμένα της κολόνας για να συγκρατείται το έδαφος τοποθετήθηκε γεωύφασμα πολύ μεγαλύτερης υδραυλικής αγωγιμότητας από αυτήν των εδαφικών στρώσεων. Οι υδραυλικές αγωγιμότητες κορεσμού των στρώσεων μετρήθηκαν ξεχωριστά με τη μέθοδο του σταθερού φορτίου σε δείγματα της ίδιας φαινομενικής πυκνότητας. Για το αμμώδες έδαφος βρέθηκε  $K_s=211.68 \text{ cm/h}$  και για το πηλοαμμώδες  $K_s=47.71 \text{ cm/h}$ .

Για την κατ' όγκο μέτρηση της υγρασίας του εδάφους ( $\theta$ ) έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος TDR. Η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στην μέτρηση του χρόνου ( $t$ ) και την εξασθένηση του μεγέθους του ηλεκτρομαγνητικού παλμού που εκτοξεύεται κατά μήκος ενός κυματοδηγού (waveguide), ο οποίος τοποθετείται στο έδαφος. Η ταχύτητα με την οποία ο παλμός περνά μέσα από μια παράλληλη γραμμή μεταφοράς εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά ( $\epsilon$ ) του μέσου που είναι σε επαφή. Όσο μεγαλύτερη είναι η διηλεκτρική σταθερά ( $\epsilon$ ) τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα διάδοσης του παλμού. Εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς της διηλεκτρικής σταθεράς του νερού ( $\epsilon=80$ ) από του αέρα ( $\epsilon=1$ ) και των ανόργανων συστατικών ( $\epsilon=2-4$ ), η ταχύτητα του παλμού εξαρτάται πολύ περισσότερο από το νερό που περιέχεται στο έδαφος.

Η φαινομενική διηλεκτρική σταθερά ( $\epsilon$ ) του εδάφους συνδέεται άμεσα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Για καλλιεργούμενα εδάφη η τιμή της  $\epsilon$  εξαρτάται κυρίως από την κατ' όγκο υγρασία του εδάφους και είναι ανεξάρτητη από τον τύπο του. Η σχέση  $\theta(\epsilon)$  δίδεται από τον τύπο: Torpp et al. [8].

$$\theta = -0.053 + 0.29\varepsilon - 5.5 \cdot 10^{-4} \varepsilon^2 + 4.3 \cdot 10^{-6} \varepsilon^3 \quad (1)$$

$$\varepsilon = \left( \frac{tc}{2L} \right)^2 \quad (2)$$

όπου: C είναι η ταχύτητα του φωτός σε cm/nsec, t είναι ο χρόνος μεταφοράς σε nanoseconds που απαιτείται για να ταξιδέψει ο παλμός προς μια κατεύθυνση από την αρχή του κυματοδηγού ως το τέλος του και L είναι το μήκος του κυματοδηγού σε εκατοστά.

Για την μέτρηση των πιέσεων του νερού του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν 4 τενσιόμετρα τα οποία τοποθετήθηκαν σε 4 cm, 10 cm, 16 cm, και 22 cm από την επιφάνεια του δείγματος, στις αντίστοιχες θέσεις τοποθετήθηκαν και κυματοδηγοί του TDR μήκους 20 cm. Κάθε τενσιόμετρο αποτελείται από μία πορώδη κεραμική κάψα μήκους 2,5 cm και διαμέτρου 7 mm και συνδέεται με ένα μετατροπέα πίεσης (Pressure Transducer) δια μέσου μιας μικρής αποθήκης νερού, από την οποία διαχωρίζεται με μια ευπαθή μεμβράνη. Η αποθήκη του νερού μεταφέρει υδροστατική πίεση από το δείγμα στο μετατροπέα πιέσεων (PT). Ο PT μεταφέρει την πίεση που δέχεται η μεμβράνη υπό μορφή τάσεως, στο Data logging system προς καταγραφή. Το σύστημα καταγραφής έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει τις μετρούμενες τιμές οι οποίες μεταφέρονται σε HY σε αρχείο διαχείρισης του προγράμματος Excel. Η βαθμονόμηση όλων των PT έγινε σε κολόνα με νερό. Το όλο σύστημα λειτουργεί υπό συνθήκες εργαστηρίου 21° C ± 1.

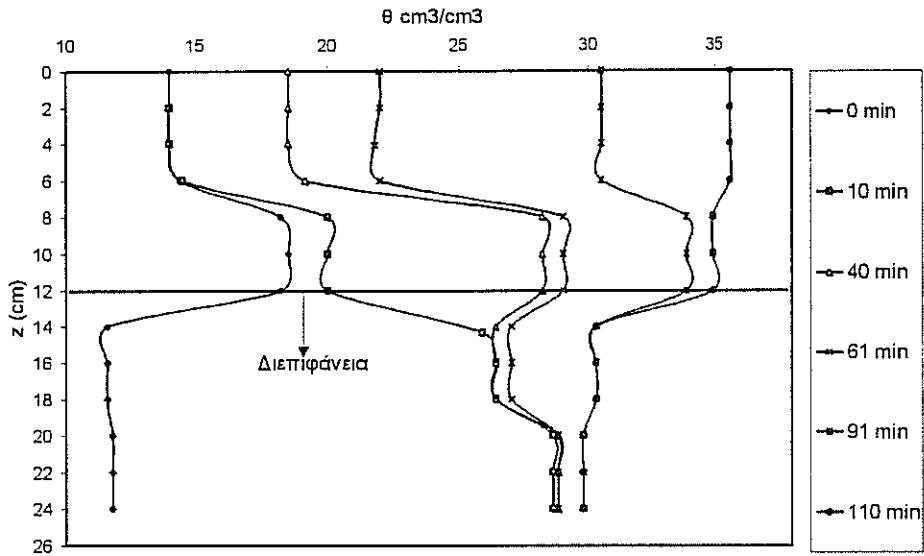
Η διύγρανση της εδαφικής στήλης έγινε από τον πυθμένα της με την βοήθεια της φιάλης Mariotte για να αποφεύγεται η παγίδευση αέρα στο δείγμα. Κατά την πρώτη διύγρανση έγινε η τοποθέτηση των τασιμέτρων σταδιακά ανάλογα με την προώθηση του μετώπου υγρασίας. Η εδαφική τάση και η περιεκτικότητα της υγρασίας του εδάφους μεταβάλλονται ανεβάζοντας (διήθηση) και κατεβάζοντας (στράγγιση) την φιάλη. Για μεγαλύτερη εδαφική τάση κατά την στράγγιση χρησιμοποιήθηκε η αντλία κενού. Από την επεξεργασία των μετρήσεων προέκυψαν τα μέτωπα υγρασίας σχημ. 3 και 4 και οι χαρακτηριστικές καμπύλες των δύο στρώσεων με τους βρόχους υστέρησης όπως δείχνουν τα σχήματα 5 και 6. Οι καμπύλες αυτές προσεγγίστηκαν με την αναλυτική εξίσωση του van Genuchten [10].

$$\theta = \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[ 1 + (\alpha |\psi|)^n \right]^m} \quad (3)$$

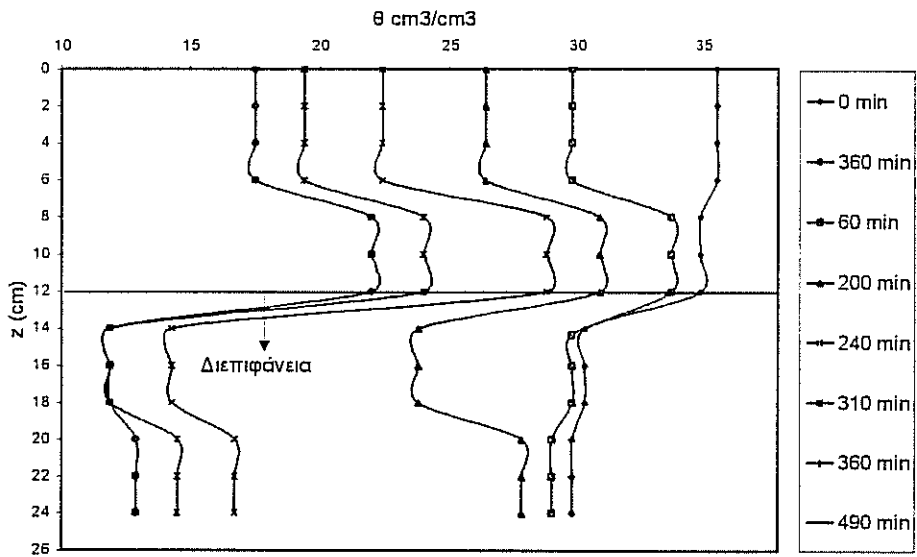
όπου m=1-1/n,  $\theta_s$  η υγρασία στον κορεσμό  $\theta_r$  η υπολειμματική υγρασία και  $\psi$  η εδαφική τάση. Στα σχήματα 5 και 6 φαίνεται σχηματικά η προσέγγιση των πειραματικών σημείων από τις θεωρητικές καμπύλες, με πολύ καλό συντελεστή συσχέτισης (πίν. 1) καθώς και οι παράμετροι για τις δύο στρώσεις.

**Πίνακας 1. Παράμετροι της χαρακτηριστικής καμπύλης κατά van Genuchten κατά την διήθηση και στράγγιση.**

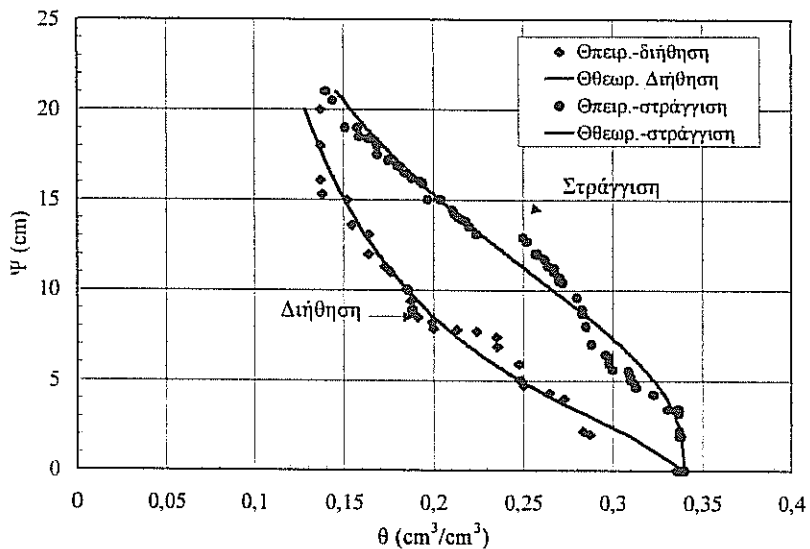
		A	n	m	$\theta_s$	$\theta_r$	R
Άνω στρώση	Διήθηση	0.234777	1.613062	0.7	0.34	0.001	0.986219
	Στράγγιση	0.07586	2.469101	0.7	0.34	0.001	0.976515
Κάτω στρώση	Διήθηση	0.571315	2.382648	0.7	0.30	0.11	0.9972876
	Στράγγιση	0.155771	2.571842	0.7	0.3	0.11	0.99529



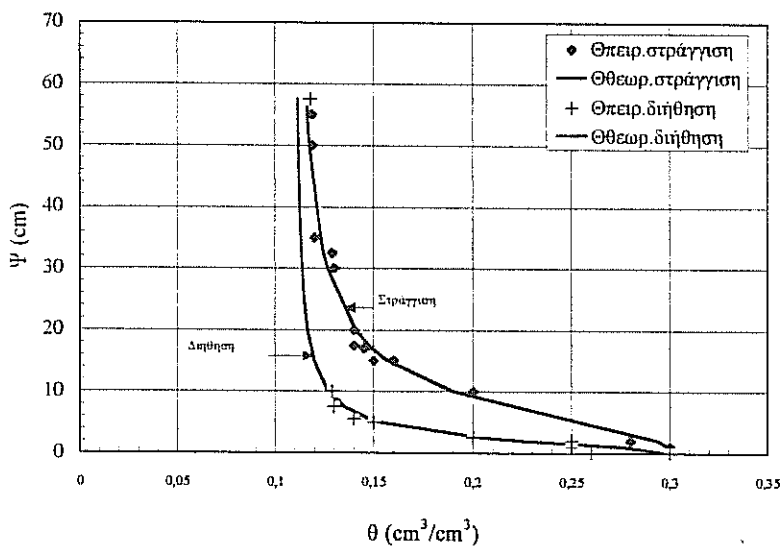
Σχήμα 3. Μέτωπα υγρασίας κατά την διήθηση



Σχήμα 4. Μέτωπα υγρασίας κατά την στράγγιση



Σχήμα 5. Βρόχος υστέρησης στο πηλοαμώδες έδαφος.



Σχήμα 6. Βρόχος υστέρησης στο αμμώδες έδαφος.

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έγιναν πειράματα στο εργαστήριο προκειμένου να μελετηθεί η κίνηση του νερού σε στρωματοποιημένο έδαφος με τη νέα τεχνολογία μέτρησης υγρασίας του εδάφους TDR. Οι πιέσεις μετρήθηκαν με τασίμετρα συνδεδεμένα με pressure transducers. Τα πειράματα διεξήχθησαν σε στήλη δύο στρώσεων εδάφους, ενός ηλοαμμώδους επί ενός αμμώδους. Από τη διαδικασία διήθησης-στράγγισης του εδαφικού νερού προέκυψαν οι αντίστοιχες πειραματικές οριακές καμπύλες οι οποίες προσεγγίστηκαν με πολύ καλό συντελεστή συσχέτισης από το μοντέλο van Genuchten. Επίσης μετρήθηκε η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού των εδαφών. Οι παραπάνω υδροδυναμικές παράμετροι θα αποτελέσουν το απαραίτητο εργαλείο για την επικείμενη εξομοίωση της κίνησης του νερού στα συγκεκριμένα δείγματα εδάφους.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Dane, J. H. and Wierenga, P.J., 1975. Effect of hysteresis on the prediction of infiltration, redistribution and drainage of water in layered soil. *J. Hydrol.*, 25: 229-242.
2. Dasberg, S., and F.N. Dalton. 1985. Time domain reflectometry measurements of soil water content and electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:293-297
3. Poulouvasilis, A., 1968. Steady-state potential and moisture profiles in layered porous media. *Soil sci.*, 107(1):47-52
4. Sakellariou-Makrantonaki M., and Hjiyiannakis S., 1991 Grounwater movement into layered soils. *Adv. In Water Resour. Techn.*, 207-216.
5. Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη Μ., 1997. Στράγγιση του νερού σε στρωματοποιημένα εδάφη στο εργαστήριο και αριθμητική εξομοίωση. *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου, "Εγγειοβελτιωτικά έργα, Διαχείριση υδατικών πόρων, Εκμηχάνιση γεωργίας", ΓΕΩΤΕΕ Παράρτημα Κεντρικής Ελλάδος, Τόμος Β, σελ. 1178-1194.*
6. Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη Μ., Τζιμόπουλος Χ. και Καλφούντζος Δ., 1997, Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων, *7ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΥΕ, Πάτρα, 184-192.*
7. Τζιμόπουλος, Χ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ. και Γιακουμάκης, Σ., 1983. Πειραματικές μετρήσεις σε προβλήματα διώγρανσης με τη βοήθεια της γ-ακτινοβολίας, *Υδροτεχνικά*, 1:IV 25-IV33.
8. Topp, G.C., J.L. Davis, and A.P. Annan. 1982a. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: I. Applications to wetting fronts and steep gradients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:672-678.
9. Topp, G.C., J.L. Davis, and A.P. Annan. 1982b. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: II. Evaluation of installation and configuration of parallel transmission lines and steep gradients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:678-684.
10. Van Genouchten, M. 1978, calculating the unsaturated hydraulic conductivity with a new closed-form analytical model. Dep. Civ. Eng. Princeton Univ. Princeton, N. J., *Water Resour. Res. Rep.* 78-WR-08.

# ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΟΛΥΝΘΙΟΥ

**Θ. Ζήσης, Ν. Καλαϊτζίδου-Πάικου και Δ. Καραμούζης**

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής  
Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 54006, Θεσσαλονίκη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εκτιμάται η δυνατότητα επιτυχίας του τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφορέα της υδρολογικής λεκάνης του Οlynθίου, από τα νερά του ιδίου, κύρια με κατακλύσεις επιφανειακών έργων. Η ανάλυση γίνεται με βάση γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής αλλά κύρια από τη διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης σε επιλεγμένες υδρογεωτρήσεις και ταυτόχρονες μετρήσεις της παροχής κατά μήκος του Οlynθίου. Συμπεραίνεται ότι η κοίτη του Οlynθίου αποτελεί την κύρια πηγή τροφοδοσίας του υδροφορέα και ότι ο τεχνητός εμπλουτισμός με ενδοποτάμιες λεκάνες, μπορεί να ενισχύσει τη φυσική επαναπλήρωση και να επαναφέρει την πιεζομετρική στάθμη στα επίπεδα προηγούμενων ετών.

# ARTIFICIAL RECHARGE OF THE OLYNTHIOS AQUIFER

**T. Zissis, N. Kalaitzidou-Paikou and D. Karamouzis**

Dept. of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering  
School of Agriculture, Aristotle University, 54006, Thessaloniki, Greece

## ABSTRACT

The feasibility of artificial recharge of the Olynthios aquifer mainly through surface spreading is studied in this paper. The analysis is based on geological and hydrogeological characteristics of the study area, but mainly on the fluctuation of the piezometric head at selected wells and on simultaneous measurements of the flow along the Olynthios river. It is concluded that the Olynthios river is an important source of recharge and that the artificial recharge through stream channel spreading can enhance the natural replenishment and recover the piezometric head at earlier high levels.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προστασία και αξιοποίηση των υδατικών πόρων της υδρολογικής λεκάνης του Ολυνθίου ποταμού είναι μεγάλης σημασίας γιατί τελευταία παρατηρείται έλλειψη νερού, τόσο για την άρδευση των καλλιεργειών, όσο και για την ύδρευση της τουριστικά αναπτυγμένης ευρύτερης περιοχής. Σήμερα στη λεκάνη του Ολυνθίου αξιοποιούνται κυρίως τα υπόγεια νερά για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς. Η φυσική επαναπλήρωση αυτών μπορεί να λαμβάνει χώρα και δια της διήθησης δια μέσου της κοίτης του Ολυνθίου, στον οποίο η ροή δεν είναι συνεχής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, όπου οι βροχές και η απορροή λαμβάνουν χώρα κατά τους χειμερινούς μήνες και οι αντλήσεις κατά τους θερινούς μήνες, ο τεχνητός εμπλουτισμός μπορεί να παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην όλη διαχείριση του υπόγειου νερού.

Έτσι η έρευνα για τον τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφορέων με τα νερά του Ολυνθίου και εφόσον διασφαλισθεί η ποιότητα αυτών, είναι μεγάλης σημασίας για την περιοχή, γιατί έτσι θα υπάρξει επάρκεια νερού κατά τους θερινούς μήνες και θα αποφευχθεί ή θα ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος υφαλμύρωσης των υδροφορέων στις παράκτιες ζώνες.

Στην εργασία αυτή εκτιμάται η δυνατότητα επιτυχίας του τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφορέα της λεκάνης του Ολυνθίου, κυρίως με κατακλύσεις επιφανειακών έργων. Τα έργα αυτά μπορεί να είναι, είτε συστήματα πολλαπλών λεκανών δίπλα στον Ολύνθιο (εξωποτάμιες λεκάνες), έτσι ώστε το νερό που παροχτεύεται σ' αυτές να διηθείται δια του πυθμένα τους βαθιά προς τον υδροφορέα, είτε ενδοποτάμιες λεκάνες, στις οποίες η βαθιά διήθηση λαμβάνει χώρα δια μέσου της κοίτης του ποταμού, μετά από κατάλληλη διαμόρφωσή της και κατασκευή αναβαθμών. Η ανάλυση έγινε με βάση υδρογεωλογικά στοιχεία, τη διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης, καθώς και με ταυτόχρονες μετρήσεις της παροχής κατά μήκος του Ολυνθίου. Συμπεραίνεται ότι ο Ολύνθιος αποτελεί την κύρια πηγή τροφοδοσίας του υδροφορέα και ο τεχνητός εμπλουτισμός με ενδοποτάμιες λεκάνες μπορεί να επαναφέρει την πιεζομετρική στάθμη στα επίπεδα προηγούμενων ετών.

## 2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΟΛΥΝΘΙΟΥ

### 2.1. Γενικά

Η υδρολογική λεκάνη του Ολυνθίου βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής, καλύπτει το μεγαλύτερό της τμήμα και έχει έκταση περίπου 244 Km<sup>2</sup>. Ο Ολύνθιος έχει τις πηγές του στον ορεινό όγκο του Χολομώντα. Η κοίτη του είναι στενή μέχρι της θέσης του υδρομετρικού σταθμού αμέσως ανάντη της οδού Σημάντρων-Πολυγύρου στη θέση Ο1 ( Σχ.1). Η θέση αυτή απέχει περίπου 10 Km από την εκβολή του. Κατάντη της θέσης αυτής αρχίζει να διευρύνεται. Το πλάτος της κοίτης γίνεται σημαντικό στην περιοχή κοντά στο χωριό Ν. Όλυθος και μάλιστα σχηματίζει και μεγάλους μαιανδρισμούς. Αντίθετα στην περιοχή αυτή η υδρολογική λεκάνη γίνεται στενή. Οι κλίσεις του Ολυνθίου είναι σχετικά μεγάλες και έτσι τα μεταφερόμενα φερτά υλικά φθάνουν μέχρι το δρόμο Ν.Μουδανιών-Πολυγύρου, σημείο που απέχει περίπου 2,5 Km από την εκβολή του ποταμού.

Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από θαμνώδη και δασώδη βλάστηση. Το ποσοστό των καλλιεργουμένων εκτάσεων είναι σχετικά μικρό και το μεγαλύτερο τους μέρος βρίσκεται κατάντη της θέσης του υδρομετρικού σταθμού.

Η υδρολογική λεκάνη του Ολυνθίου είναι μια από τις λίγες μικρές λεκάνες του Ελληνικού χώρου για την οποία υπάρχουν δεδομένα βροχής και απορροής. Αυτό

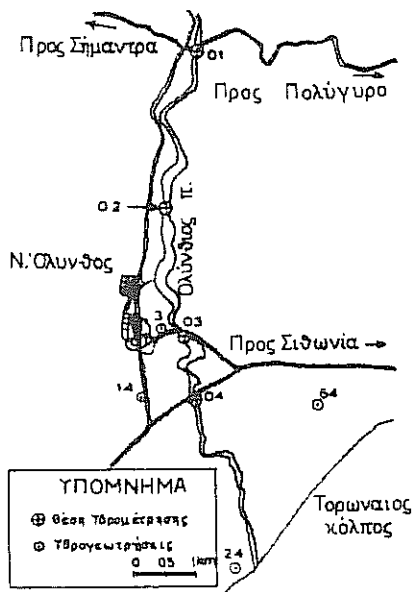
συμβαίνει γιατί στην περιοχή σχεδιάζονταν η κατασκευή χωματινού φράγματος στη θέση περίπου του υδρομετρικού σταθμού για την αποταμίευση του νερού του Ολυνθίου και τη χρησιμοποίησή του για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς.

## 2.2. Γεωλογικά-Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Τα στοιχεία που ελήφθησαν υπόψη προέρχονται από παλαιότερες γεωλογικές ή υδρογεωλογικές μελέτες, εκθέσεις (Καραμουζης κ.α. 1997) και από τη μελέτη τομών υδρογεωτρήσεων (Υ/Γ). Εν συντομία έχουν ως εξής:

Η περιοχή αποτελείται από νεογενείς σχηματισμούς, κυρίως ερυθρές αργίλους, με φακοειδείς ενστρώσεις διάσπαρτων υλικών (άμμοι, αμμάργιοι, κροκαλοπαγή, μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι κλπ). Η κοιλάδα του ποταμού αποτελείται από αποθέσεις με μορφή αναβαθμιδών και αλλουβιακών ριπιδίων και κορημάτων. Τα πετρώματα είναι μεταμορφωσιγενή ιζήματα ή βασικά - υπερβασικά πυριγενή.

Η υδροφορία των αλλουβιακών αποθέσεων εξαρτάται από την ύπαρξη εγκλωβισμένων αδρομερών υλικών. Στις τομές Υ/Γ της περιοχής, φαίνεται αυτή η αλληλουχία αργιλικών και αδρομερών υλικών. Η γεωμετρία του υδροφορέα, ο τρόπος τροφοδοσίας και οι υδρογεωλογικές παράμετροι δεν είναι επακριβώς γνωστά. Το υπόβαθρό του είναι πρακτικά αδιαπέρατο.



Σχ. 1. Χάρτης θέσεων μέτρησης παροχής και πιεζομετρικής στάθμης.

## 2.3. Διακύμανση πιεζομετρικής στάθμης.

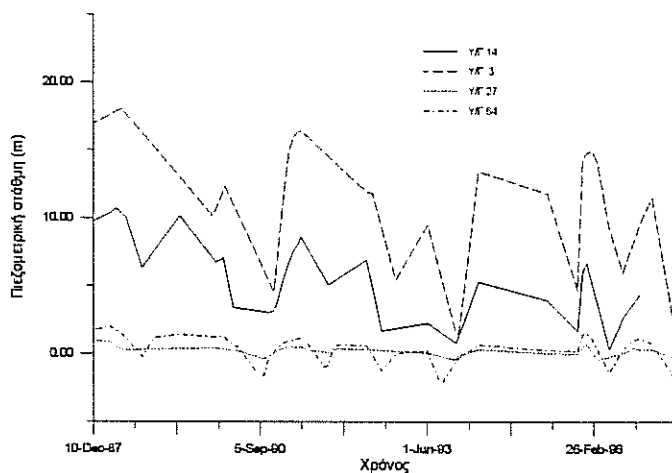
Στη λεκάνη του Ολυνθίου και μάλιστα στο κατώτερο τμήμα αυτής υπάρχουν πολλές Υ/Γ σχετικά μεγάλου βάθους, κατάλληλες για μετρήσεις της πιεζομετρικής στάθμης. Το ΗΓΜΕ κατά την τελευταία δεκαετία έχει κάνει μετρήσεις σε πολλές από αυτές. Πιο πλήρεις εμφανίζονται οι μετρήσεις στις Υ/Γ 3 και 14 εντός της αγροτικής περιοχής της κοινότητας Ν.Ολύνθου, στην Υ/Γ 27 του Αγ. Μάμα και στην Υ/Γ 64 του οικισμού Καλυβίων Πολυγύρου. Αν και το υψόμετρο των Υ/Γ έχει ληφθεί προσεγγιστικά από τους τοπογραφικούς χάρτες, οι μετρήσεις των συγκεκριμένων Υ/Γ είναι πολύ χρήσιμες γιατί σ' αυτές καταγράφεται η διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης. Η διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους, αλλά και η διακύμανση που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1987-1997, παρουσιάζεται στα διαγράμματα διακύμανσης της στάθμης (Σχ. 2). Διαπιστώνεται ότι η διακύμανση της στάθμης στις συγκεκριμένες Υ/Γ του Αγ. Μάμα και Καλυβίων, που απέχουν σημαντικά από την κοίτη του ποταμού και επιπλέον είναι στο κατώτερο τμήμα της λεκάνης προς τη θάλασσα, είναι γενικά μικρή. Αντίθετα η διακύμανση της στάθμης που παρατηρείται στις Υ/Γ της Ν.Ολύνθου είναι μεγάλη και γίνεται έτσι εμφανές ότι η



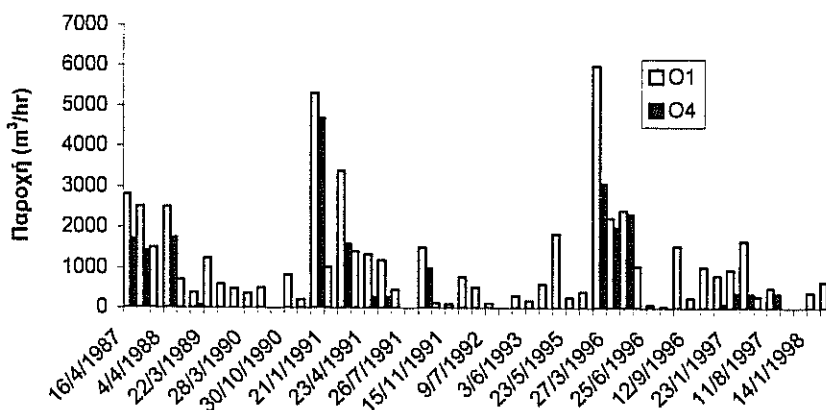
κοίτη του Ολυνθίου αποτελεί την κύρια πηγή τροφοδοσίας του υδροφορέα χωρίς να αποκλείεται και κάποια πλευρική τροφοδοσία. Από τη μεταβολή της πιεζομετρικής στάθμης κατά την τελευταία 10ετία συμπεραίνεται επίσης ότι υπάρχουν τα περιθώρια και ο τεχνητός εμπλουτισμός μπορεί να επαναφέρει την πιεζομετρική στάθμη τουλάχιστον στα επίπεδα του 1987.

#### 2.4. Υδρομετρήσεις

Η υδροφορία του ποταμού Ολυνθίου δεν είναι μόνιμη. Στο τμήμα νότια της οδού Σημάντρων - Πολυγύρου δεν παρατηρείται ροή κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Στον υδρομετρικό σταθμό αμέσως ανάντη της οδού Σημάντρων - Πολυγύρου στη θέση Ο1 έγιναν από την 1η ΔΕΚΕ τακτικές μετρήσεις της παροχής κατά την περίοδο 1971-76 (Παπαδόπουλος, 1986).



Σχ. 2. Διακύμανση πιεζομετρικής στάθμης σε επιλεγμένες υδρογεωτρήσεις.



Σχ. 3. Ταυτόχρονες μετρήσεις παροχής στις θέσεις Ο1 και Ο4.

Στη διάθεσή μας είχαμε επιπλέον ταυτόχρονες μετρήσεις της παροχής στις θέσεις Ο1 και Ο4 (Σχ.1) που έγιναν από το ΓΜΕ την περίοδο 1987-1997. Όπως προκύπτει από τις παραπάνω μετρήσεις, οι παροχές που παρατηρούνται στη θέση Ο1 μειώνονται σημαντικά στο κατάντη τμήμα του ποταμού. Η μείωση των παροχών στην περιοχή αυτή αποδίδεται σε μικρό βαθμό στην αποθήκευση μέσα στην κοίτη, αλλά κυρίως στη διήθηση του νερού μέσω της κοίτης του ποταμού προς τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα. Στην περιοχή κατάντη της θέσης Ο1 δεν παρατηρήθηκε να λαμβάνουν χώρα απολήψεις των νερών για άρδευση. Άλλωστε την κυρίως αρδευτική περίοδο Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο δεν υπάρχει ροή στο τμήμα αυτό του ποταμού. Όπως φαίνεται από τις μετρήσεις αυτές (Σχ. 3) παροχές κάτω των 1000 m<sup>3</sup>/h στη θέση Ο1 διηθούνται εξ ολοκλήρου ή σε κάποιο βαθμό αποθηκεύονται στο τμήμα του ποταμού μέχρι τη θέση Ο4.

Μετρήσεις της διηθητικότητας των επιφανειακών στρώσεων, με σκοπό να εκτιμηθεί η παροχή εμπλουτισμού, είναι χρονοβόρες και απαιτούν εγκαταστάσεις ακριβούς εξοπλισμού στο ύπαιθρο (Lichter et al., 1980). Αντ' αυτού, για να προσδιοριστούν τμήματα του ποταμού στα οποία η διήθηση είναι αυξημένη, έγιναν ταυτόχρονες μετρήσεις της παροχής στις θέσεις Ο1, Ο2, Ο3 και Ο4, οι οποίες έδειξαν ότι ένα σημαντικό τμήμα της όλης παροχής διηθείται μεταξύ των θέσεων Ο1 και Ο3. Η διήθηση είναι μεγαλύτερη στην αρχή του φαινομένου (στις 14/1/98 είναι 383-0=383 m<sup>3</sup>/hr) και σταδιακά γίνεται μικρότερη (στις 1/4/98 είναι 658-468=190 m<sup>3</sup>/hr). Η διήθηση μεταξύ των θέσεων Ο3 και Ο4 εμφανίζεται σημαντική την 1/4/98 (468-98=370 m<sup>3</sup>/hr) γιατί προφανώς είμαστε ακόμη στην αρχή του φαινομένου της διήθησης για την περιοχή μεταξύ Ο3 και Ο4.

### 2.5. Ενδεικνυόμενες θέσεις τεχνητού εμπλουτισμού

Επειδή οι εκτάσεις γύρω από τον Ολύνθιο κατάντη της θέσης Ο1 καλλιεργούνται και μόνο δύο μικρές περιοχές δίπλα στον Ολύνθιο βρέθηκαν κατάλληλες για την κατασκευή λεκανών εμπλουτισμού, η μία αμέσως κατάντη της θέσης Ο3 και η άλλη μεταξύ των θέσεων Ο1 και Ο2, δόθηκε βαρύτητα στη διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής έργων τεχνητού εμπλουτισμού μέσα στην κοίτη του Ολυνθίου με σκοπό να ενισχυθεί η φυσική επαναπλήρωση που λαμβάνει χώρα διά της κοίτης του Ολυνθίου. Στην κοίτη του ποταμού εντοπίστηκε ένα τμήμα αμέσως κατάντη της θέσης Ο2 μήκους περίπου 800 m και μεγάλου σχετικά πλάτους που κυμαίνεται από 150 ως 300m στο οποίο ο πυθμένας είναι αργιλλώδης και εμφανίζεται αδιαπέρατος. Σε κοιλάματα του τμήματος αυτού το νερό αποθηκεύεται και λιμνάζει ακόμη και τους θερινούς μήνες που δεν υπάρχει καθόλου ροή.

Κατάντη του τμήματος αυτού και μέχρι τη θέση Ο3 ο πυθμένας γίνεται αμμώδης και σημαντικές ποσότητες νερού διηθούνται βαθιά εμπλουτίζοντας το υδροφόρο στρώμα. Σ'αυτό συντελεί και ο δρόμος προς τον αρχαιολογικό χώρο ο οποίος λειτουργεί σαν ένα μικρό φράγμα συγκρατώντας το νερό. Το μήκος του τμήματος αυτού είναι περίπου 1500m αλλά το πλάτος του ποταμού στο τμήμα αυτό βαθμιαία μικραίνει και από 200m καταλήγει στα 100 στη θέση Ο3. Η γεινίαση με τον αρχαιολογικό χώρο και τον οικισμό ίσως είναι ένας απαγορευτικός παράγοντας για την κατασκευή έργων τεχνητού εμπλουτισμού.

Σαν καταλληλότερη περιοχή για τέτοια έργα εμφανίζεται αυτή που κείται αμέσως ανάντη της θέσης Ο2 και έχει μήκος περίπου 900 m. Μετρήσεις της παροχής του ποταμού έδειξαν ότι ένα μεγάλο μέρος της ποσότητας νερού που διηθείται μεταξύ των θέσεων Ο1 και Ο3, διηθείται σ'αυτό το τμήμα, δηλαδή ανάντη της θέσης Ο2. Το πλάτος του ποταμού στο σημείο αυτό είναι σημαντικό, περίπου 200 m και ο πυθμένας

καλύπτεται από άμμο, χαλίκια και κροκάλες. Η ροή του νερού λαμβάνει χώρα στο χαμηλότερο τμήμα της κοίτης πλάτους περίπου 6m. Επίσης στο τμήμα αυτό είναι εμφανές ότι σημαντικές ποσότητες νερών διηθούνται και σε συγκεκριμένες μικρές περιοχές λίγων τετραγωνικών μέτρων.

Για τον τεχνητό εμπλουτισμό μέσω της κοίτης του Ολυνθίου, προτείνεται η κατασκευή ενός μικρού φράγματος (αναβαθμού) στη θέση Ο2, ενίσχυση των αναχωμάτων και ισοπέδωση της κοίτης του Ολυνθίου ανάντη του αναβαθμού. Επειδή το φορτίο που απαιτείται για τη διέλευση της πλημμυρικής παροχής (Παπαμιχαήλ, 1998) πάνω από τον αναβαθμό είναι σχετικά μεγάλο και συγκεκριμένα 2,74 m για πλάτος στέψης 150 m, μια λεπτομερής αποτύπωση της περιοχής μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή περισσότερων του ενός αναβαθμών μικρού ύψους, ανάντη της θέσης Ο2. Το πλάτος της στέψης των αναβαθμών θα είναι 150 ως 200 m και το ύψος αυτών εκτιμάται ότι θα είναι μέχρι 3 m.

Επίσης προτείνεται η κατασκευή ενός δικτύου πιεζομέτρων που να καλύπτει όλη την περιοχή στην οποία εκτείνεται το υδροφόρο στρώμα. Ένας αριθμός αυτών θα πρέπει να κατασκευασθούν κοντά στα έργα τεχνητού εμπλουτισμού, έτσι ώστε με τη βοήθεια των μετρήσεων της πιεζομετρικής στάθμης να προσδιορίζεται η απόδοση των έργων και ακόμη να ληφθεί απόφαση για τυχόν επέκταση αυτών. Επίσης η επί σειρά ετών καταγραφή του ύψους της πιεζομετρικής στάθμης σ'όλη την έκταση του υδροφορέα είναι απαραίτητη για την ορθολογική διαχείριση των υπόγειων νερών.

### 3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

Για το σχεδιασμό του τεχνητού εμπλουτισμού είναι χρήσιμη η ανάπτυξη μεθόδων και εξισώσεων για την με ικανοποιητική ακρίβεια πρόβλεψη του ρυθμού (της ταχύτητας) της επαναπλήρωσης από την κοίτη χειμάρρων καθώς και της ανύψωσης της υπόγειας στάθμης. Μια τέτοια μέθοδος είναι και αυτή που αναπτύχθηκε από τους Abdulrazzak and M. Seytoux (1983).

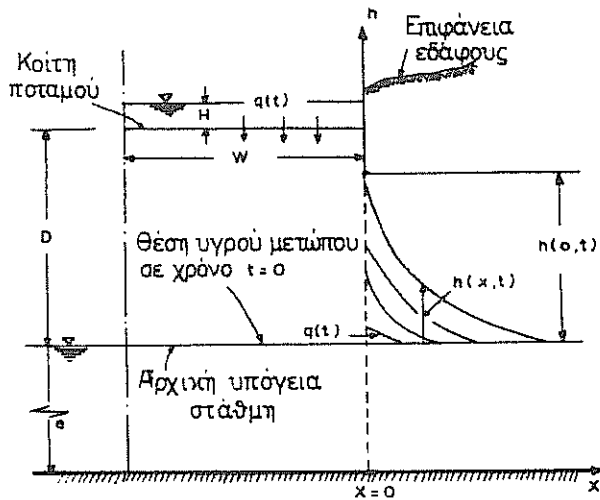
Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή για μια κοίτη μεγάλου πλάτους, κατά την έναρξη της ροής στον ποταμό, η διήθηση είναι στην ουσία μόνο κατακόρυφη. Το υγρό μέτωπο φθάνει στην κορεσμένη ζώνη με μια ταχύτητα περίπου ίση με την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα.

Η παροχή διήθησης ανά μονάδα μήκους του ποταμού τη στιγμή που το υγρό μέτωπο φθάνει στην κορεσμένη ζώνη,  $q_0$ , μπορεί να ληφθεί με βάση το μοντέλο διήθησης των Green and Ampt.

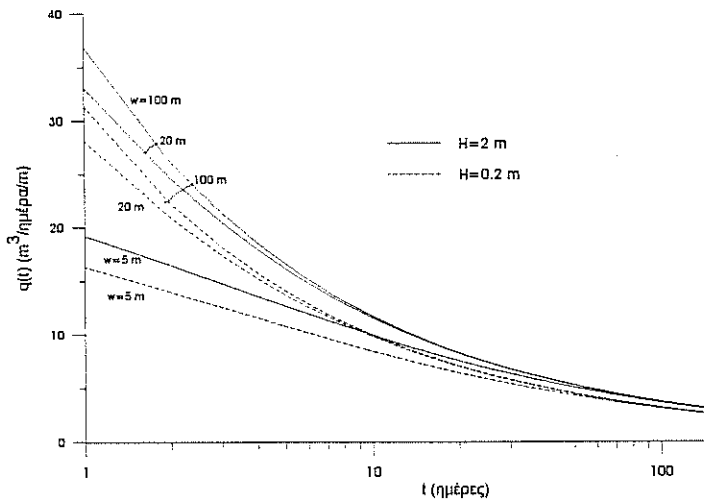
$$q_0 = Kw \left( \frac{H + D}{D} \right) \quad (1)$$

όπου D είναι το βάθος της κατατομής του εδάφους μεταξύ της θέσης της αρχικής υπόγειας στάθμης και του πυθμένα της κοίτης του χειμάρρου, w είναι το ήμισυ του πλάτους της κοίτης, K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα και H είναι το βάθος του νερού στον ποταμό ή χειμάρρο.

Η αρχικά οριζόντια υπόγεια στάθμη αρχίζει να ανυψώνεται κάτω από την κοίτη και από τη στιγμή αυτή λαμβάνει χώρα στον υδροφορέα οριζόντια πλευρική ροή κάθετη προς τον άξονα του ποταμού. Η παροχή της ροής αυτής είναι συνάρτηση του χρόνου και εξαρτάται από την ανύψωση της υπόγειας στάθμης ακριβώς στην ακμή της κατακόρυφης στήλης του διηθούμενου νερού (Σχ. 4). Η ανύψωση αυτή βρίσκεται προσεγγιστι-



Σχ. 4. Ανάπτυξη του υβάματος της υπόγειας στάθμης κατά την επαναπλήρωση.



Σχ. 5. Μεταβολή της παροχής επαναπλήρωσης με το χρόνο για διάφορα πλάτη και βάθη υγρής διατομής

κά με την επίλυση μιας γραμμικής μορφής της μονοδιάστατης εξίσωσης Boussinesq λαμβάνοντας υπόψη μια μεταβαλλόμενη πλευρική εισροή.

Με βάση το ύψος της υπόγειας στάθμης προκύπτει και η παροχή επαναπλήρωσης από τη μία πλευρά του ποταμού, ανά μονάδα μήκους αυτού, που είναι:

$$q(t) = q_0 \exp\left[\frac{q_0^2 kt}{T(D+H)^2}\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{q_0 (kt)^{1/2}}{T(D+H)}\right] \quad (2)$$

όπου  $k = Ke/S$  και  $S$  είναι ο συντελεστής αποθήκευσης του υδροφορέα.

Για την εφαρμογή της εξίσωσης (2) σε μια πραγματική κατάσταση θα πρέπει να θεωρηθεί ένα πορώδες μέσο ομογενές και ισότροπο το οποίο θα πρέπει να ισοδυναμεί με το πραγματικό πορώδες μέσο. Έτσι για τις παρακάτω τιμές των παραμέτρων των εξισώσεων (1) και (2),  $D=10$  m,  $e=100$  m,  $K=5$  m/ημέρα και  $S=0.06$ , όπως αυτές εκτιμήθηκαν για τις συνθήκες της περιοχής, έγιναν εφαρμογές με σκοπό να διερευνηθεί η επίδραση του βάθους,  $H$ , και του πλάτους,  $2w$ , της υγρής διατομής στη μεταβολή της παροχής εμπλουτισμού με το χρόνο (Σχ. 5). Είναι εμφανές ότι το πλάτος  $2w$  (για τιμές από 10 m ως 40 m) έχει σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση της παροχής  $Q(t)$  τις πρώτες ημέρες του εμπλουτισμού. Για μεγαλύτερα πλάτη, 50 ως 200 m, η επίδραση αυτή γίνεται αμελητέα. Με την πάροδο του χρόνου οι διαφορές για τα διάφορα πλάτη γίνονται επίσης αμελητέες. Η επίδραση του βάθους της υγρής διατομής είναι σχετικά μικρή, αλλά διατηρείται, με μια μικρή μείωση, σ' όλη τη διάρκεια του φαινομένου της διήθησης.

Θεωρώντας ότι με τα προτεινόμενα έργα (αναβαθμοί μικρού ύψους) η ροή θα καταλαμβάνει μεγάλο πλάτος, περίπου 200 m, και θα διαρκεί επί 150 ημέρες, ακόμη και για ένα μικρό βάθος 0,2 m, με βάση την εξίσωση (2) εκτιμάται ότι ο όγκος του διηθούμενου νερού θα είναι αυξημένος κατά 25 ως 30%.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η φυσική επαναπλήρωση του υδροφορέα της λεκάνης του Οlynθίου σε μεγάλο βαθμό λαμβάνει χώρα με τη διήθηση δια μέσου της κοίτης του Οlynθίου. Ενίσχυση της φυσικής επαναπλήρωσης μπορεί να επιτευχθεί με την κατασκευή ενδοποτάμιων λεκανών στις οποίες πρώτα θα αποθηκεύεται το νερό και στη συνέχεια θα διηθείται βαθιά με ρυθμούς μεγαλύτερους λόγω του μεγαλύτερου πλάτους και βάθους της υγρής διατομής.

#### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdulrazzak, M. And Morel-Seytoux, H., 1983. Recharge from ephemeral stream following wetting front arrival to water table, *Water Resources Research*, 19, 194-200.

2. Καραμούζης, Δ., Παρισόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ. και Βαφειάδης, Π., 1997. Χωροθέτηση και προκαταρτική διερεύνηση λιμνοδεξαμενών Οlynθίου Ν. Χαλκιδικής. Έκθεση ερευνητικού προγράμματος "Διαχείριση υδατικών πόρων υδρολογικής λεκάνης Οlynθίου Χαλκιδικής", Θεσ/νίκη.

3. Lichter, W., Stannard, D. and Kouma, E., 1980. Investigation of artificial recharge of aquifers in Nebraska, U.S. Geological Survey, *Water resources Investigations*, 80-93.

4. Παπαδόπουλος, Α., 1986. Πρόβλεψη των παροχών του χειμάρρου Οlynθίου Χαλκιδικής με χρήση ντετερμινιστικού υδρολογικού μοντέλου., Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας ΑΠΘ, Θεσ/νίκη.

5. Παπαμιχαήλ, Δ., 1998. Υδρολογία της λεκάνης απορροής του Οlynθίου Χαλκιδικής. Έκθεση ερευνητικού προγράμματος "Διαχείριση υδατικών πόρων υδρολογικής λεκάνης Οlynθίου Χαλκιδικής", Θεσ/νίκη.

# ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΚΟΡΕΣΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΜΕΣΟΥ ΜΕ ΔΙΠΛΟ ΠΟΡΩΔΕΣ

Σταύρος Γιαννόπουλος και Χρήστος Τζιμόπουλος  
Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, 540-06 Θεσσαλονίκη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα περισσότερα από τα μοντέλα της χαρακτηριστικής καμπύλης της εδαφικής υγρασίας, που έχουν χρησιμοποιηθεί, έχουν S-μορφή και δεν μπορούν να περιγράψουν ικανοποιητικά την χαρακτηριστική καμπύλη της εδαφικής υγρασίας εδαφών με πολλαπλό πορώδες. Οι Zhang and van Genuchten [24] παρουσίασαν μια νέα εξίσωση, η οποία μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά την καμπύλη  $\theta(h)$  εδαφών με διπλό πορώδες. Στο παρόν άρθρο παρουσιάζεται ένας απλός αλγόριθμος για τη βελτιστοποίηση της νέας αυτής εξίσωσης, που βασίζεται στη μέθοδο των συζυγών κλίσεων.

## AN ALGORITHM FOR THE SOIL CHARACTERISTIC CURVE OF DOUBLE POROSITY SOILS WITH THE METHOD OF CONJUGATE GRADIENTS.

Stavros Yannopoulos and Christos Tzimopoulos  
Department of Rural and Surveying Engineering, 540 -06 Thessaloniki, Greece

## ABSTRACT

The characteristic curve of almost all the existing soils can be satisfactorily simulated by an S-shape curve. However for soils having double porosity the S-shape curve can not describe the characteristic curve. Zhang and van Genuchten [24] have presented a new model with 5 parameters, which can simulate the double porosity soils. In this article a special algorithm is developed to optimize the new function, based in the theory of conjugate directions.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς των ρυπαντικών ουσιών και των διαλυμένων ουσιών στην ακόρεστη ζώνη χρειάζεται η ποσοτική εκτίμηση της κίνησης του νερού και των διαδικασιών της μεταφοράς των διαλυμάτων. Για το σκοπό αυτό έχουν παρουσιαστεί μοντέλα αριθμητικών εξομοιώσεων, τα οποία χρειάζονται ακριβή δεδομένα και παραμέτρους του συστήματος [13]. Για τη μελέτη της κίνησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη χρειάζονται δύο βασικές συναρτήσεις: α) η σχέση της περιεχομένης υγρασίας,  $\theta$ , ως προς το ύψος πίεσης  $h$ , η οποία είναι γνωστή ως χαρακτηριστική καμπύλη της εδαφικής υγρασίας,  $\theta(h)$ , και β) η σχέση της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας  $K(\theta)$  ή  $K(h)$ . Για τον προσδιορισμό των συναρτήσεων αυτών έχει παρουσιαστεί ένας σημαντικός αριθμός μεθόδων τόσο στο εργαστήριο όσο και στο ύπαιθρο [4], [10], [12]. Σε όλες αυτές τις μεθόδους κοινό γνώρισμα είναι η σύγκυση μεταξύ της επιδιωκόμενης ακρίβειας των μετρήσεων και της απαιτούμενης δαπάνης.

Οι μετρήσεις της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας  $K$  είναι δαπανηρές και χρονοβόρες και για το λόγο αυτό, μια εναλλακτική λύση των άμεσων μετρήσεων της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας είναι η χρήση θεωρητικών μοντέλων. Αυτά βασίζονται σε στατιστικά μοντέλα κατανομής του μεγέθους των πόρων, στα οποία υποτίθεται ότι η ροή του νερού γίνεται διαμέσου κυλινδρικών πόρων και στα οποία ενσωματώνονται οι εξισώσεις των Darcy και Poisseuille [24].

Τα μοντέλα αυτά μακροσκοπικής κλίμακας εκτίμησης της  $K$  σαν συνάρτηση της  $\theta$  ή του  $h$ , βασίζονται στην αναλογία μεταξύ της μικρο- και της μακροκλίμακας, έχουν θεωρητική βάση και γενικά, περιλαμβάνουν ένα μικρό αριθμό παραμέτρων προσαρμογής. Από τα σοβαρότερα μειονεκτήματα των μοντέλων αυτών είναι ότι: α) δεν λαμβάνουν υπόψη τους την επίδραση της μεταβολής της γεωμετρίας του μεγέθους των πόρων στην υδραυλική αγωγιμότητα [7], και β) υποθέτουν ότι υπάρχει μια σφαιρική γεωμετρία των πόρων [3]. Έχουν, όμως, το πλεονέκτημα ότι λαμβάνουν υπόψη τους την κατανομή του μεγέθους των πόρων και εκτιμούν την υδραυλική αγωγιμότητα από την χαρακτηριστική καμπύλη της εδαφικής υγρασίας που μετριέται πιο εύκολα και ένα παράγοντα, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του την μεταβολή της στρεβλότητας (tortuosity) του πόρου. Μια ενοποιημένη ανασκόπηση των μοντέλων αυτών παρουσιάζεται από τον Mualem [16].

Η εφαρμογή των μοντέλων αυτών προϋποθέτει ανεξάρτητες μετρήσεις της χαρακτηριστικής καμπύλης της εδαφικής υγρασίας [24]. Στη βιβλιογραφία, αν και έχει παρουσιαστεί ένας μεγάλος αριθμός αναλυτικών συναρτήσεων της χαρακτηριστικής καμπύλης της εδαφικής υγρασίας μόνο ελάχιστες από αυτές μπορούν να ενσωματωθούν στα μοντέλα κατανομής του μεγέθους των πόρων για να δώσουν απλές αναλυτικές εκφράσεις της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας, όπως για παράδειγμα οι εξισώσεις των Brooks and Corey [3], Brutsaert [5], Campbell [6], Tzimiropoulos and Sakellariou- Makrantonaki [21], van Genuchten [24], Visser [25].

Όπως σημειώνουν οι Zurmühl and Durner [27], ένα από τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι εξισώσεις αυτές είναι ότι θεωρούν την ύπαρξη στο έδαφος μιας μονοκόρυφης (unimodal) κατανομής του μεγέθους των ισοδύναμων πόρων δηλ. ότι η παράγωγος της  $\theta$  ως προς  $\log(h)$  είναι μια συνάρτηση, που έχει ένα μόνο μέγιστο. Οι πόροι του εδάφους διακρίνονται σε μικροπόρους στους οποίους υπάρχει τριχοειδές και στους μακροπόρους στους οποίους δεν υπάρχει. Οι μικροπόροι λαμβάνονται υπόψη στην χαρακτηριστική καμπύλη της εδαφικής υγρασίας όχι όμως και οι μακροπόροι. Η παράγωγος καμπύλη της χαρακτηριστικής καμπύλης της εδαφικής υγρασίας αντιπροσωπεύει την κατανομή του μεγέθους των πόρων. Όταν η κατανομή του μεγέθους των πόρων έχει δύο ή γενικά  $n$  μέγιστα, τότε αναφερόμαστε σε έδαφος με διπλό ή γενικά,  $n$  πορώδες [17]. Οι μακροπόροι, λοιπόν, σχηματίζουν ένα διπλό

πορώδες σύστημα στο οποίο υπάρχει και το σύστημα των μικροπόρων. Σε καθένα από τα δύο συστήματα η ροή του νερού περιγράφεται από διαφορετικό τύπο εξισώσεως [2].

Στην πραγματικότητα τα εδάφη στη φύση δεν έχουν μια μονοκόρυφη κατανομή του μεγέθους των πόρων. Για παράδειγμα, σε ένα καλά συσσωματωμένο έδαφος μπορεί να υπάρχει ένα μέγιστο στις κλάσεις του μεγέθους των πόρων στην περιοχή μεταξύ των συσσωματωμάτων και ένα άλλο στην περιοχή μεταξύ των πόρων των συσσωματωμάτων. Εδάφη με πολυκόρυφες κατανομές του μεγέθους των πόρων είναι αυτά που περιλαμβάνουν αδιατάρακτους πηλούς και αργίλους [17], [18], [24], εδάφη με καλά ανεπτυγμένο το δευτερεύον σύστημα πόρων λόγω των συσσωματωμάτων και εδάφη με ένα σύστημα μακροπόρων που προέρχεται από τη δράση των ριζών ή της χλωρίδας [1], [20].

Το πρόβλημα της μελέτης των πολυκόρυφων κατανομών του μεγέθους των πόρων έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον λόγω της φύσεως του διπλού πορώδους ορισμένων εδαφικών συστημάτων αλλά και λόγω της σημασίας που έχουν οι υδραυλικές συναρτήσεις με πολλαπλές κορυφές στη πρόβλεψη της επιλεκτικής ροής (preferential flow) του νερού και των διαλυμένων ουσιών στα αδιατάρακτα εδάφη και στους θρυματισμένους βράχους [9], [19].

Για την περιγραφή της χαρακτηριστικής καμπύλης της εδαφικής υγρασίας σε πορώδη μέσα με διπλό πορώδες, έχει χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο ([8], [17]), που βασίζεται στην επαλληλία καμπυλών  $\theta(h)$  του van Genuchten [24]. Το μοντέλο αυτό διατηρεί μεν ορισμένες από τις ιδιότητες της εξισώσεως van Genuchten δηλαδή είναι μια συνεχής συνάρτηση, μονότονη με μηδενικές κλίσεις στα άκρα της, αλλά παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως για παράδειγμα αύξηση του αριθμού των παραμέτρων προσαρμογής (τρεις τουλάχιστον για καθεμία καμπύλη), έλλειψη φυσικής σημασίας των παραμέτρων του μοντέλου και αδυναμία αντιστροφής της συναρτήσεως, οπότε ο υπολογισμός της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας γίνεται με αριθμητικές μεθόδους. Παρά ταύτα το μοντέλο αυτό δείχνει ότι περιγράφει ικανοποιητικά την καμπύλη  $\theta(h)$  σε αδιατάρακτα εδάφη με διακεκριμένες διπλές κορυφές ή ασύμμετρες καμπύλες κατανομής του μεγέθους των πόρων.

Οι Zhang and van Genuchten [26] για να περιγράψουν την χαρακτηριστική καμπύλη της εδαφικής υγρασίας  $\theta(h)$  σε ένα μέσο διπλού πορώδους παρουσίασαν ένα σχετικά απλό μοντέλο. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο αυτό, το οποίο είναι μη γραμμικό, σε προβλήματα εξομοίωσης της κίνησης της εδαφικής υγρασίας και των διαλυμάτων χρειάζεται η προσαρμογή του σε μετρημένα σημεία  $(\theta_i, h_i)$  στο εργαστήριο ή στο ύπαιθρο και ο προσδιορισμός των παραμέτρων του. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένας νέος αλγόριθμος βελτιστοποίησης για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του μοντέλου αυτού, που βασίζεται στη μέθοδο των συζυγών κλίσεων.

## 2. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ZHANG AND VAN GENUCHTEN

Οι Zhang and van Genuchten [26] περιέγραψαν την χαρακτηριστική καμπύλη της εδαφικής υγρασίας  $\theta(h)$  εδαφών με κατανομή μεγέθους των πόρων διπλής κορυφής (διπλό πορώδες) με μια εξίσωση που σε αδιάστατη μορφή γράφεται:

$$Se = \frac{1 + c_1 h^*}{1 + h^* + c_2 h^{*2}} \quad (1)$$

όπου το αδιάστατο ύψος πίεσης,  $h^*$ , δίνεται από τη σχέση:

$$h^* = a h \quad (2)$$



ενώ η ανηγμένη υγρασία  $Se$ , δίνεται από τη σχέση:

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (3)$$

Στις εξισώσεις (1)-(3)  $\theta$  είναι η κατ' όγκο υγρασία [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ],  $\theta_r$  είναι η υπολειπόμενη υγρασία [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ],  $\theta_s$  είναι η υγρασία κορεσμού [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ],  $\alpha$  είναι ένας συντελεστής κλίμακας ( $[\text{cm}^{-1}]$ ,  $\alpha > 0$ ),  $h$  είναι το ύψος πίεσης της εδαφικής υγρασίας [ $\text{cm}$ ],  $c_1$  και  $c_2$  είναι αδιάστατες εμπειρικές παράμετροι που επηρεάζουν το σχήμα της καμπύλης. Για λόγους ευκολίας στην παρούσα εργασία υποτίθεται ότι το ύψος πίεσης της εδαφικής υγρασίας  $h$  είναι θετικό (μύζηση). Από την εξίσωση (1) προκύπτει ότι στο σημείο κορεσμού, όπου  $h^* = 0$  είναι  $Se = 1$  και στην ξηρή περιοχή όπου  $h^* \rightarrow \infty$  η ανηγμένη περιεκτικότητα σε νερό  $Se \rightarrow 0$ .

Στην εξίσωση (1) είναι  $0 \leq c_1 \leq 1$  και  $c_2 > 0$ . Η καμπύλη  $Se(h^*)$  της εξίσωσης (1) με τη μείωση των τιμών του συντελεστή  $c_2$  μεταβάλλεται από μια καμπύλη σχήματος S σε μια καμπύλη έντονης διπλής κορυφής. Αντιστρέφοντας την (1), η εξίσωση  $h^*(Se)$  που προκύπτει έχει δύο πραγματικές ρίζες, από τις οποίες μόνο η ρίζα:

$$h^* = \frac{(c_1 - Se) + \sqrt{(c_1 - Se)^2 + 4 c_2 Se (1 - Se)}}{2 c_2 Se}$$

εξασφαλίζει τις συνθήκες:

$$h^* = 0 \text{ για } Se = 1, \quad h^* > 0 \text{ για } 0 < Se < 1 \text{ και } h^* \rightarrow \infty \text{ για } Se = 0$$

### 3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΣΥΖΥΓΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Η εξίσωση (1) περιλαμβάνει πέντε αγνώστους παραμέτρους ( $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$ ,  $c_1$ , και  $c_2$ ) οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν από τα μετρημένα σημεία ( $\theta_i$ ,  $h_i$ ). Από τις παραμέτρους αυτές η υγρασία κορεσμού,  $\theta_s$  μπορεί να μετρηθεί πειραματικά. Για την υπολειπόμενη περιεκτικότητα σε νερό,  $\theta_r$  υπάρχει μια ασάφεια στη βιβλιογραφία τόσο ως προς τον φυσικό ορισμό της, όσο και ως προς την εκτίμηση της. Βιβλιογραφική ανασκόπηση των μεθόδων εκτίμησης της  $\theta_r$  παρουσιάζεται από τον Γιαννόπουλο [28]. Αν υποθεθεί, λοιπόν, ότι η  $\theta_r$  είναι καλά ορισμένη παράμετρος και ότι υπάρχουν αρκετά ακριβείς εκτιμήσεις των  $\theta_s$  και  $\theta_r$ , τότε οι υπόλοιπες τρεις παράμετροι ( $\alpha$ ,  $c_1$  και  $c_2$ ) μπορούν να προσδιοριστούν από την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης:

$$f = \sum_i \{\theta_i - \theta_{i,exp}\}^2 \quad (4)$$

$$\text{όπου } \theta_i = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \frac{1 + c_1 \alpha h_i}{1 + \alpha h_i + c_2 (\alpha h_i)^2} \quad \text{και } \theta_{i,exp} \text{ είναι οι μετρημένες}$$

περιεκτικότητες σε υγρασία.

Η επίλυση της εξίσωσης (4) γίνεται με τη μέθοδο των συζυγών διευθύνσεων εκ των οποίων η πιο γνωστή είναι η μέθοδος των συζυγών κλίσεων (Conjugate Gradient Method), η οποία εφαρμόστηκε με επιτυχία για την περίπτωση της εξίσωσης του van Genuchten [22]. Η ανωτέρω μέθοδος έχει την ιδιότητα του τετραγωνικού τερματισμού, δηλαδή εντοπίζει το βέλτιστο σημείο της αντικειμενικής συνάρτησης σε γνωστό πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ένα σύνολο  $n$  γραμμικά ανεξάρτητων μη μηδενικών διανυσμάτων  $\bar{s}_k$ , ( $k=1,2,\dots,n$ ) καλείται συζυγές ως προς ένα θετικά ορισμένο μητρώο  $\bar{H}$ , όταν ισχύει η ιδιότητα :

$$\bar{s}_i^T \cdot \bar{H} \cdot \bar{s}_j^T = 0, \quad \forall i, j \text{ και } 1 \leq i \neq j \leq n, \quad (5)$$

όπου  $\bar{H} = \nabla(\nabla f(\bar{x}^k))$  είναι το Hessian μητρώο (τανυστής) της συνάρτησης  $f$  και  $\bar{x}^k = x, \bar{e}_i$  είναι το διάνυσμα θέσης για το  $k$  σημείο. Για τον υπολογισμό των συντελεστών χρειάζονται μόνο η τρέχουσα κλίση  $\nabla f(\bar{x}^k)$  και η προηγούμενή της  $\nabla f(\bar{x}^{k-1})$ .

Η μέθοδος αυτή, που είναι επαναληπτική, παράγει στο  $k$  βήμα της μια διεύθυνση  $\bar{s}_k$ , η οποία είναι γραμμικός συνδυασμός της  $\nabla f(\bar{x}^k)$  και των προηγούμενων διευθύνσεων  $\bar{s}^a$ , ( $a=1, 2, \dots, k-1$ ).

Για την έναρξη εφαρμογής της μεθόδου χρειάζεται μια αρχική προσέγγιση  $\bar{x}^0$  και ως πρώτη διεύθυνση ελαχιστοποίησης επιλέγεται η διεύθυνση της *μεγαλύτερης αλλαγής του Cauchy* (κανονικοποιημένης ή όχι):

$$\bar{s}^0 = -\nabla f(\bar{x}^0).$$

Το επόμενο σημείο επιλέγεται από τη σχέση:

$$\bar{x}^1 = \bar{x}^0 + \lambda_0 \bar{s}^0,$$

όπου  $\lambda_0$  είναι μια παράμετρος, η οποία βρίσκεται με τη βέλτιστη διαδικασία επιλογής βήματος (Optimum Step Size Procedure, O.S.S.P.). Η επόμενη διεύθυνση  $\bar{s}^1$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{s}^1 = -\nabla f(\bar{x}^1) + \omega_1 \bar{s}^0$$

και αποτελεί γραμμικό συνδυασμό της  $\nabla f(\bar{x}^1)$  και της προηγούμενης διεύθυνσης  $\nabla f(\bar{x}^0)$ , ενώ η παράμετρος  $\omega_1$  επιλέγεται με τη χρήση της ιδιότητας των συζυγών διευθύνσεων (5), οπότε:

$$\omega_1 = \left\{ \frac{\|\nabla \bar{x}^1\|}{\|\nabla \bar{x}^0\|} \right\}^2.$$

Κατ' αυτό τον τρόπο προκύπτει ο γενικός αλγόριθμος :

$$\bar{s}^k = -\nabla f(\bar{x}^k) + \omega_k \bar{s}^{k-1},$$

$$\text{όπου } \bar{x}^{k+1} = \bar{x}^k + \lambda_k \bar{s}^k \quad \text{και} \quad \omega_k = \left\{ \frac{\|\nabla \bar{x}^k\|}{\|\nabla \bar{x}^{k-1}\|} \right\}^2$$

Στον ανωτέρω αλγόριθμο το βήμα  $\lambda_k$  υπολογίζεται με τη βέλτιστη διαδικασία επιλογής βήματος (O.S.S.P.).

Σε κάθε βήμα επανάληψης γίνεται έλεγχος του κριτηρίου σύγκλισης :

$$\|\bar{s}^k\| < \varepsilon \quad \text{ή} \quad \|\nabla f(\bar{x}^k)\| < \varepsilon,$$

όπου  $\varepsilon$  είναι μια πολύ μικρή θετική ποσότητα.

#### 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη βιβλιογραφία ελήφθησαν τα εδάφη Silt Mont Cenis [15] και Sarpy Loam [11] για τα οποία υπολογίστηκαν οι παράμετροι  $\theta_r$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  και  $a$  της εξίσωσης (1) με την προτεινόμενη μέθοδο των συζυγών κλίσεων και οι τιμές τους δίνονται στον πίνακα 1.

Στα σχήματα 1 και 2 απεικονίζονται οι καμπύλες  $\theta(h)$  που υπολογίστηκαν με βάση τις τιμές των παραμέτρων αυτών καθώς και τα πειραματικά σημεία των εδαφών Silt Mont Cenis και Sarpy Loam αντιστοίχως. Διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια πολύ καλή συμφωνία της καμπύλης  $\theta(h)$  (εξίσωση 1) με τα πειραματικά σημεία και για τα δύο εδάφη.

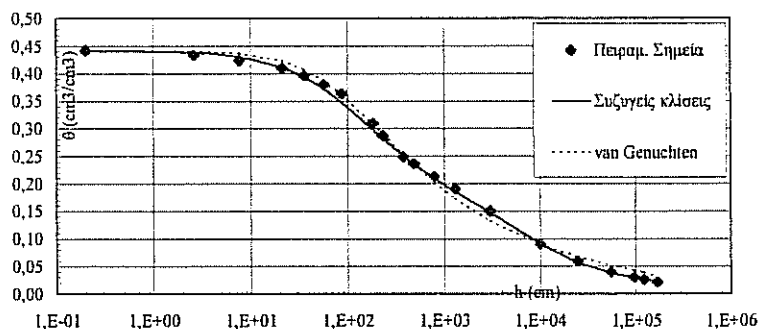
Στα ίδια σχήματα έχουν σχεδιαστεί οι καμπύλες  $\theta(h)$  οι οποίες προκύπτουν από το τριπαραμετρικό μοντέλο van Genuchten [24]. Οι παράμετροι  $\theta_r$ ,  $a$  και  $n$  του μοντέλου αυτού έχουν υπολογιστεί με τη βοήθεια του κώδικα RETC [23]. Στον πίνακα 2 δίνονται οι τιμές των παραμέτρων αυτών. Διαπιστώνεται ότι το τριπαραμετρικό μοντέλο  $\theta_r$ ,  $a$  και (van Genuchten [20]) αδυνατεί να περιγράψει την χαρακτηριστική καμπύλη της εδαφικής υγρασίας σε εδάφη με διπλό πορώδες.

Πίνακας 1. Τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης (1)

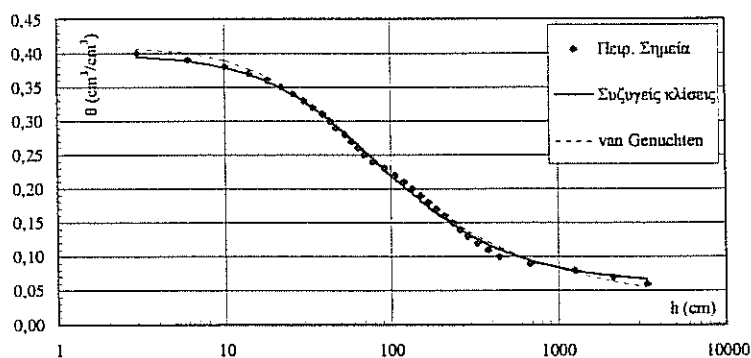
Έδαφος	$\theta_s$	$\theta_r$	$c_1$	$c_2$	$a$
Silt Mont Cenis	0.442	0.017	0.392	0.02	0.006
Sarpy loam	0.410	0.060	0.842	0.3595	0.0316

Πίνακας 2. Τιμές των παραμέτρων του τριπαραμετρικού μοντέλου van Genuchten

Έδαφος	$\theta_s$	$\theta_r$	$a$	$n$
Silt Mont Cenis	0.442	0	0.0136	1.3239
Sarpy loam	0.410	0.0271	0.0316	1.5572



Σχήμα 1. Έδαφος Silt Mont Cenis



Σχήμα 2. Έδαφος Sarpy loam

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anderson, S.H. and D.K. Cassel, 1986. Statistical and autoregressive analysis of soil physical properties of Portsmouth sandy loams. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1096-1104
2. Bouma, J., 1981. Soil morphology and preferential flow along macropores. *Agric. Water Manage.*, 3:235-250
3. Brooks, R.H. and Corey, A.T., 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper No. 3, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, 27 pp.
4. Bruce, R.R. and R.J., Luxmoore, 1986. Water retention: Field Methods. In A. Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agron. Monograph No. 9 (2<sup>nd</sup> edition). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin: 663-686.
5. Brutsaert, W., 1966. Probability laws for pore size distributions. *Soil Science*, 101, (2): 85-92.
6. Campbell, G.S., 1974. A simple model for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, 117: 311-314.
7. Childs E.C. and G.N. Collis-George, 1950. The permeability of porous materials. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A*, 201:392-405
8. Durner, W., 1994. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resour. Res.*, 30(2):211-223.
9. Gerke, H.H. and M. Th. van Genuchten, 1993. A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media. *Water Resour. Res.*, 29:305-319.
10. Green, R.E., L.R., Ahuja and S.K. Chong., 1986. Hydraulic conductivity and sorptivity of unsaturated soils: Field methods. In A. Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agron. Monograph No. 9 (2<sup>nd</sup> edition). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin: 771-798.
11. Hanks, R.J. and S. A., Bowers, 1962. Numerical solution of the moisture flow equation for infiltration into layered soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26:530-534
12. Klute, A. and Dirksen, C., 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory Methods. In A. Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agron. Monograph No. 9 (2<sup>nd</sup> edition). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin: 687-734.
13. Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory Methods. In A. Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Agron. Monograph No. 9 (2<sup>nd</sup> edition). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin: 635-662.

14. Kool J.B., J.C. Parker and M. Th. van Genuchten, 1987. Parameter estimation for unsaturated flow and transport models-A review. *J. Hydrol.*, 91:255-293
15. Mualem, Y., 1976. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Technion, Israel Inst. Techn., Haifa, Res. Proj. No. 442
16. Mualem, Y., 1986. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: Prediction and formulas. In A. Klute (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agron. Monogr. (9) (2<sup>nd</sup> ed.)*. American Society of Agronomy, Madison Wisconsin: 799-823.
17. Othmer, H., B. Diekkrüger and M. Kutilek, 1991. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci.*, 152(3):139-149.
18. Parker, J.C., J.B. Kool and M. Th. van Genuchten, 1985. [Determining soil hydraulic properties from one-step outflow experiments by parameter estimation. II. Experimental studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1354-1359.
19. Petters, R.R. and E.A. Clavetter, 1988. A continuum model for water movement in an unsaturated fractured rock mass. *Water Resour. Res.*, 24:416-430.r
20. Stephens, D.B. and K.R. Rehfeldt, 1985. Evaluation of closed-form analytical models to calculate conductivity of a fine sand. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:12-19
21. Tzimopoulos, C.D. and M. Sakellariou-Makrantonaki, 1996. A new analytical model to predict the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Water Res. Man.* 10 (5): 397-414.
22. Tzimopoulos C., M. Sakellariou-Makrantonaki, A. Spyridis, and G. Arampatzis, 1998. An algorithm for the soil characteristic curve with the method of conjugate directions. XII Intern. Conference on Computational methods in Water Resources, CMWR XII' 98, Volume 1: 231-238.
23. van Genuchten, M. Th., F.J. Leij and S.R. Yates, 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. EPA/600/2-91/065. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Ada. OK.
24. 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.
25. Visser, W.C., 1968. An empirical expression for the desorption curve. In P.E. Ritjema and H. Wassink (eds) *Water in the Unsaturated Zone*, Proc. Wageningen Symposium, Vol. I. IASH/IAHS, UNESCO, Paris.
26. Zahng, R., and M. Th. van Genuchten, 1994. New models for unsaturated soil hydraulic properties. *Soil Science*, 158(2):77-85.
27. Zurmühl, T. and W. Durner, 1998. Determination of parameters for bimodal hydraulic functions by inverse modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:874-880.
28. Γιαννόπουλος Στ., 1985. Μεταφορά του νερού στο σύστημα έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα: Αβεβαιότητα στην εκτίμηση των υδροδυναμικών παραμέτρων. Διδακτορική διατριβή. Α.Π.Θ., σελ. 243.

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΡΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΩΝ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ - ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

**Χ.Τζιμόπουλος<sup>1</sup>, Μ.Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη<sup>2</sup>, Σ.Στεργιοπούλου<sup>2</sup>**

1. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρ.& Τοπ. Μηχανικών.

2. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υστέρηση αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο που εκδηλώνεται εμφανέστερα σε χοντρόκοκκα εδάφη, όπου κατά τη διάρκεια μιας διύγρανσης και στη συνέχεια μιας στράγγισης ενός εδαφικού δείγματος, απαιτείται μικρότερη πίεση (μεγαλύτερη μύζηση) κατά τη στράγγιση παρά κατά τη διύγρανση για το ίδιο ποσοστό συγκράτησης εδαφικής υγρασίας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η πρόβλεψη της οριακής καμπύλης στράγγισης από την οριακή καμπύλη της διύγρανσης σύμφωνα με το βελτιωμένο μοντέλο που παρουσίασε ο Mualem το 1977 και στηρίζεται στη θεωρία των ανεξαρτήτων χώρων και στην υπόθεση ομοιότητας, θεωρώντας το μέσο ομογενές. Το πειραματικό μέρος υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σε αμμώδες έδαφος με τη βοήθεια συσκευής Volumetric Pressure Plate και οι οριακές χαρακτηριστικές καμπύλες προσεγγίστηκαν με την εξίσωση van Genuchten με τη μέθοδο των συζυγών διευθύνσεων, ενώ οι δύο οριακές καμπύλες στράγγισης και διύγρανσης εκτιμήθηκαν με βάση το παραπάνω μοντέλο με πολύ ικανοποιητική προσέγγιση.

## ESTIMATION OF MAIN HYSTERESIS LOOP- COMPARISON WITH EXPERIMENTAL DATA

**C. Tzimopoulos<sup>1</sup>, M. Sakellariou-Makrantonaki<sup>2</sup>, S. Stergiopoulou<sup>2</sup>**

1. Aristotle University of Thessaloniki, Dep. of Rural Engineering.

2. University of Thessaly, Department of Agronomy.

## ABSTRACT

It is well-known that in unsaturated porous media during wetting and drainage flow there is an hysteresis in the relationship between the capillary potential  $\Psi$  and the volumetric moisture content  $\theta$ . In this paper a conceptual model permitting the prediction of the hysteretical loop from only one branch is presented, referring to Mualem extension similarity hypothesis model. The experimental determination of the soil characteristic relationship is presented, as well as a comparison between experimental and computational results. The ultimate characteristic curves were approximated by the van Genuchten's model. In all cases the predicted curves are in very good agreement with the observed ones.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υστέρηση αποτελεί ένα φαινόμενο που εμφανίζεται σε ορισμένα φυσικά μέσα όπως οι φερομαγνήτες, οι κρύσταλλοι, τα κράματα, τα πορώδη μέσα κλπ. Το φυσικό αυτό φαινόμενο εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ορισμένων διαδικασιών που εξελίσσονται στα μέσα αυτά, μεταξύ δύο μεταβλητών του συστήματος  $X$  και  $Y$ , όπου  $Y=Y(X)$  και οι οποίες περιγράφουν την κατάσταση ισορροπίας στο σύστημα, η δε σχέση αυτή δεν είναι μονοσήμαντη, αλλά σε μία τιμή της μεταβλητής  $X$  είναι δυνατόν ν' αντιστοιχούν άπειρες τιμές της  $Y$ . Έτσι για παράδειγμα η χαρακτηριστική καμπύλη της υγρασίας ενός εδάφους περιγράφει την κατάσταση ισορροπίας που υπάρχει μεταξύ της αρνητικής πίεσης του νερού των πόρων  $\Psi(\text{cm})$  και της περιεχόμενης υγρασίας  $\theta$  ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) σε μη κορεσμένο έδαφος. Η σχέση αυτή  $\Psi(\theta)$  δεν είναι μονοσήμαντη αλλά παρουσιάζει υστέρηση, δηλαδή η χαρακτηριστική καμπύλη παρουσιάζει άλλη πορεία κατά τη διάρκεια μιας διύγρυνσης και άλλη πορεία κατά τη διάρκεια μιας στράγγισης και η τιμή της αρνητικής πίεσης του νερού των πόρων είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια μιας στράγγισης παρά κατά τη διάρκεια μιας διύγρυνσης για την ίδια υγρασία.

Οι υστερητικοί βρόχοι που παράγονται στη σχέση αρνητικής πίεσης του νερού των πόρων  $[\Psi]$  – υγρασίας  $[\theta]$  του εδάφους, σε διαδοχικές φάσεις διύγρυνσης-στράγγισης, μελετήθηκαν για πρώτη φορά το 1930 από τον Haines, ο οποίος θεώρησε ότι το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην αρχιτεκτονική του πορώδους μέσου, ενώ ο Childs το 1969 έδειξε ότι εμπλέκονται ορισμένοι παράγοντες, όπως ο εγκλωβισμένος αέρας κατά τη διήθηση-στράγγιση και η γωνία επαφής μεταξύ εδαφικού νερού και εδαφομορίων. Πρώτος ο Roulouassilis [1962] εφάρμοσε στην ακόρεστη ροή τη θεωρία των ανεξαρτήτων χώρων, την οποία είχαν αναπτύξει οι Everett and Whitton [1952] για την υστέρηση σε ηλεκτρομαγνητικά συστήματα. Βέβαια για λόγους ιστορικής αλήθειας θα πρέπει να μνημονευθεί ο Γάλλος Νομπελίστας Neel (1942, 1943), ο οποίος εισήγαγε τη θεωρία των ανεξαρτήτων χώρων στα μαγνητικά συστήματα. Ο Philip [1964] εισήγαγε την υπόθεση ομοιότητας για την πρόβλεψη της υστέρησης από μια οριακή καμπύλη, δυστυχώς όμως το μαθηματικό μοντέλο που πρότεινε περιείχε πολλές και δυσχερείς μαθηματικές πράξεις και η πρακτική εφαρμογή του ήταν ανέφικτη, ενώ οι Roulouassilis and Childs [1971] εισήγαγαν τη θεωρία των εξαρτημένων χώρων. Τέλος ο Mualem [1973, 74, 77, 84] στηριζόμενος στη θεωρία των ανεξαρτήτων και των εξαρτημένων χώρων και στην υπόθεση ομοιότητας του Philip, πρότεινε μια σειρά μοντέλων πρόβλεψης των διερευνητικών καμπυλών με πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα.

Στην πράξη, είτε στο Εργαστήριο είτε στο ύπαιθρο, διατίθενται πειραματικά σημεία από την χαρακτηριστική καμπύλη που αφορούν μόνο τη μία κατάσταση (π.χ. τη διύγρυνση ή την στράγγιση) και είτε για λόγους αντικειμενικών δυσκολιών είτε για λόγους οικονομίας χρόνου είναι επιθυμητή η πρόβλεψη της άλλης χαρακτηριστικής καμπύλης με ικανοποιητική προσέγγιση. Στην παρούσα λουπών εργασία περιγράφεται ένα τέτοιο μοντέλο πρόβλεψης των οριακών χαρακτηριστικών καμπυλών (Mualem, 1977) και δίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα από πειραματικά δεδομένα του Εργαστηρίου με πολύ καλή προσέγγιση.

## 2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Σύμφωνα με τον Childs (1969) στο επίπεδο των πιέσεων του νερού των πόρων  $P_d, P_w$  ( $d$ =drainage,  $w$ =wetting), το στοιχειώδες πρίσμα ( $F \cdot \delta P_d \cdot \delta P_w$ ) δίνει το ποσοστό της υγρασίας που περιέχεται σε ένα στοιχείο του πορώδους μέσου, όπου η  $F(P_d, P_w)$  αποτελεί μια συνάρτηση κατανομής της υγρασίας. Το στοιχείο αυτό χάνει νερό όταν η

πίεση  $P_d$  μειωθεί από  $P_d + \delta P_d \rightarrow P_d$  και γειμίζει όταν η πίεση  $P_w$  αυξηθεί από  $P_w \rightarrow P_w + \delta P_w$ . Η υγρασία σε όλο το μέσο δίνεται από τη σχέση:

$$\theta = \int_{P_d}^{-\infty} \int F dP_d dP_w, \quad (1)$$

ενώ η συνάρτηση  $F$  προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$F = \frac{\partial}{\partial P_d} \left( \frac{\partial \theta}{\partial P_w} \right). \quad (2)$$

Η διαδικασία αυτή συντελείται ανεξάρτητα από τους γειτονικούς πόρους του στοιχείου. Έτσι αν έχουν μετρηθεί στο Εργαστήριο οι πρωτογενείς διερευνητικές καμπύλες της διύγρανσης, είναι δυνατή με βάση τις κλίσεις των καμπυλών αυτών η χάραξη στο επίπεδο  $P_d, P_w$  των ισοκαμπυλών της  $F$  και στη συνέχεια η πρόβλεψη των πρωτογενών διερευνητικών καμπυλών στράγγισης.

Ο Mualem (1974) παρουσίασε ένα νέο μοντέλο πρόβλεψης στηριζόμενο και αυτό στη θεωρία των ανεξαρτήτων χώρων. Το μοντέλο αυτό διακρίνεται από το προτεινόμενο από τον Ρουλιονασιλλίς (1962), διότι προβλέπει τις πρωτογενείς διερευνητικές καμπύλες με βάση μόνο τις κύριες καμπύλες διύγρανσης και στράγγισης, δεν απαιτείται δηλαδή η μέτρηση στο Εργαστήριο μιας ομάδας πρωτογενών διερευνητικών καμπυλών. Ο Mualem εισάγει την υπόθεση της ομοιότητας, θεωρώντας ότι η συνάρτηση κατανομής  $F$  μπορεί να παρασταθεί ως γινόμενο δύο ανεξάρτητων συναρτήσεων κατανομής  $h(\Psi_w)$  και  $l(\Psi_d)$ :  $F(\Psi_w, \Psi_d) = h(\Psi_w) \cdot l(\Psi_d)$ , ή κάνοντας χρήση της ακτίνας των πόρων:  $F(r, \rho) = h(r) \cdot l(\rho)$ , όπου  $r$  είναι η ακτίνα της εισόδου των πόρων στην ομάδα των πόρων και  $\rho$  είναι η ακτίνα εντός της ομάδας. Για ευκολία ο Mualem χρησιμοποιεί ανηγμένες μεταβλητές  $\bar{\rho}, \bar{r}$  ( $0 \leq \bar{\rho} \leq 1, 0 \leq \bar{r} \leq 1$ ) και εισάγει τις συναρτήσεις:

$$L(\bar{R}) = \int_0^{\bar{R}} l(\bar{\rho}) d\bar{\rho}, \quad H(\bar{R}) = \int_0^{\bar{R}} h(\bar{r}) d\bar{r}, \quad (3)$$

οι οποίες δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$L(\Psi) = \theta_w(\Psi), \\ H(\Psi) = (\theta_d(\Psi) - \theta_w(\Psi)) / (\theta_s - \theta_w(\Psi)).$$

Οι πρωτογενείς διερευνητικές καμπύλες στράγγισης (4) και διύγρανσης (5) δίνονται αντίστοιχα ως ακολούθως:

$$\theta \left( \Psi_{\min}^{\Psi_1} \Psi \right) = \theta_w(\Psi) + (\theta_w(\Psi_1) - \theta_w(\Psi)) \cdot H(\Psi), \quad (4)$$

$$\theta \left( \Psi_{\max}^{\Psi_1} \Psi \right) = \theta_w(\Psi) + (\theta_s - \theta_w(\Psi)) \cdot H(\Psi_1), \quad (5)$$

όπου:

$\theta_w(\Psi)$  = είναι η υγρασία στην κύρια καμπύλη της διύγρανσης,

$\theta_d(\Psi)$  = είναι η υγρασία στην κύρια καμπύλη στράγγισης,

$\theta_s$  = η υγρασία κορεσμού,

$\theta_w(\Psi_1)$  = η τιμή της υγρασίας επί της κύριας καμπύλης διύγρανσης που αντιστοιχεί στο σημείο αφετηρίας  $\Psi_1$  της διερευνητικής καμπύλης στράγγισης.

$\theta_d(\Psi_1)$  = η τιμή της υγρασίας επί της κύριας καμπύλης στράγγισης που αντιστοιχεί στο σημείο αφετηρίας  $\Psi_1$  της διερευνητικής καμπύλης διύγρανσης.



Το 1977 ο Mualem θεώρησε ότι οι συναρτήσεις κατανομής  $h(r)$  και  $l(\rho)$  παριστάνουν πορώδη επιφάνειες και όγκου και επειδή σε ένα ομογενές μέσο τα πορώδη αυτά είναι ίσα, συνεπάγεται ότι:

$$h(\bar{r}) = l(\bar{\rho}), \quad f(\bar{r}, \bar{\rho}) = h(\bar{r})h(\bar{\rho}). \quad (6)$$

Οι συναρτήσεις  $L(\bar{R}), H(\bar{R})$  ταυτίζονται και δίνονται είτε από τη σχέση:

$$L(\Psi) = H(\Psi) = (\theta_w(\Psi) - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)^{1/2}, \quad (7)$$

σαν συνάρτηση της υγρασίας κατά τη διύγρανση είτε από την ακόλουθη:

$$H(\Psi) = (\theta_s - \theta_r)^{1/2} - \sqrt{\theta_s - \theta_d(\Psi)}, \quad (8)$$

σαν συνάρτηση της υγρασίας κατά τη στράγγιση, είναι δηλαδή δυνατόν να προσδιοριστούν είτε από την καμπύλη διύγρανσης, είτε από την καμπύλη στράγγισης. (Extension of model II).

Η γενικευμένη σχέση (universal relationship) μεταξύ της κύριας καμπύλης στράγγισης και της κύριας καμπύλης διύγρανσης δίνεται ως ακολούθως:

$$\theta_d(\Psi) = [2 - S_{ew}(\Psi)] \cdot (\theta_w(\Psi) - \theta_r) + \theta_r. \quad (9)$$

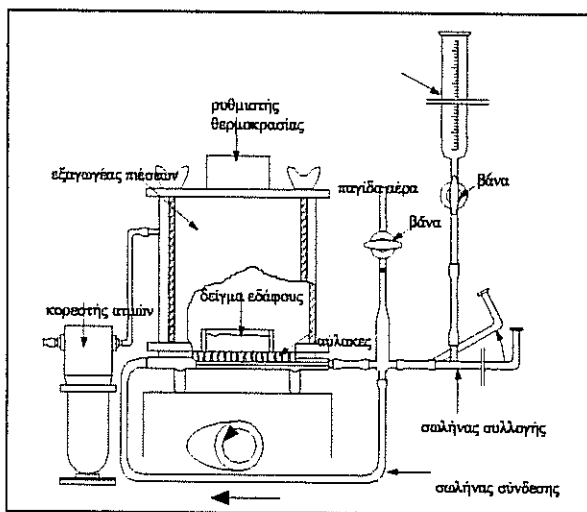
όπου:  $S_{ew} = (\theta_w(\Psi) - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ . Με βάση την παραπάνω σχέση είναι δυνατή η πρόβλεψη της καμπύλης στράγγισης όταν είναι γνωστή από πειράματα η καμπύλη διύγρανσης. Όταν δίνεται η καμπύλη στράγγισης τότε η πρόβλεψη της καμπύλης διύγρανσης δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\theta_w(\Psi) = \theta_s - (\theta_s - \theta_r) \sqrt{1 - S_{ed}}, \quad (10)$$

όπου:  $S_{ed} = (\theta_d(\Psi) - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ .

### 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τη μέτρηση της υστέρησης χρησιμοποιήθηκε εξαγωγέας πιέσεων (volumetric pressure plate extractor) της εταιρείας Soil Moisture (Σχήμα 1).

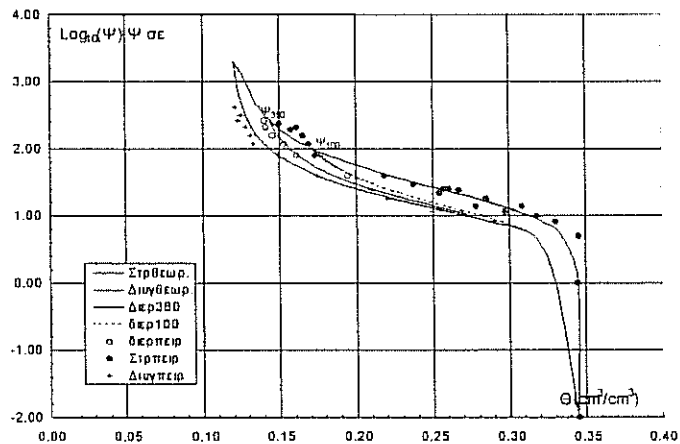


Σχήμα 1. Εξαγωγέας πιέσεων και εξαρτήματα υστέρησης

Στη βάση του οργάνου αυτού υπάρχει πορώδης κεραμικός δίσκος 2 bar, διαμέτρου 11,7cm, πάχους 0,81cm, αγωγιμότητας  $K=1,73 \times 10^{-7}$  cm/sec, ο οποίος επιτρέπει τη λειτουργία του για κάθε πίεση από 0 έως 2 bars. Επάνω στο δίσκο τοποθετήθηκε διαταραγμένο δείγμα αμμώδους εδάφους εντός δακτυλίου διαμέτρου 5.5 cm και ύψους 1 cm. Το δείγμα προηγουμένως πέρασε από κόσκινο 2mm, ξηράθηκε στους 105° C, κορέσθηκε και μετρήθηκε η υγρασία κορεσμού ίση με 34,5 % κατ' όγκο. Ο όγκος του νερού που εξέρχεται από το δείγμα ή εισέρχεται σε κάθε αυξανόμενο ή ελαττούμενο βήμα πίεσης ογκομετρείται με ακρίβεια με τη βοήθεια ενός διαβαθμισμένου σωλήνα και υπολογίζεται η υγρασία που απομένει ή προστίθεται στο δείγμα μετά τη στράγγιση ή τη διήθηση.

Ο κορεστής ατμών χρησιμεύει για τον κορεσμό του εισερχόμενου υπό πίεση αέρα ώστε να μην ξηραθεί το εξεταζόμενο δείγμα και προκληθούν σφάλματα στις μετρήσεις. Στην παγίδα αέρα, συσσωρεύεται με κατάλληλους χειρισμούς ο αέρας που μπορεί να εγκλωβίζεται στο κάτω μέρος του κεραμικού δίσκου. Από το διαβαθμισμένο σωλήνα εισάγεται το νερό στα εξαρτήματα υστέρησης, το οποίο πρέπει να φθάνει, αφού εξαχθεί ο αέρας, μέχρι ενός ορισμένου σημείου στην παγίδα αέρα και στο σωλήνα συλλογής. Το ύψος του νερού μέσα στο διαβαθμισμένο σωλήνα δείχνει την ποσότητα νερού που απορροφήθηκε ή εξήλθε από το δείγμα, μετά την αποκατάσταση ισορροπίας.

Το όλο σύστημα που περιγράφηκε παραπάνω για να λειτουργήσει συνδέεται με ένα συμπιεστή (Compressor Model 500 Sevies) και ένα ρυθμιστή πιέσεων (Manifold model 700-3) της Soil Moisture. Οι πιέσεις οι οποίες εξασκήθηκαν στο δείγμα ήταν από 0 έως 413 mbar. Από τις τιμές υγρασίας – πίεσης κατά τη διύγρανση και στράγγιση σχεδιάστηκαν οι πειραματικές οριακές και διερευνητικές καμπύλες του βρόχου της υστέρησης, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.



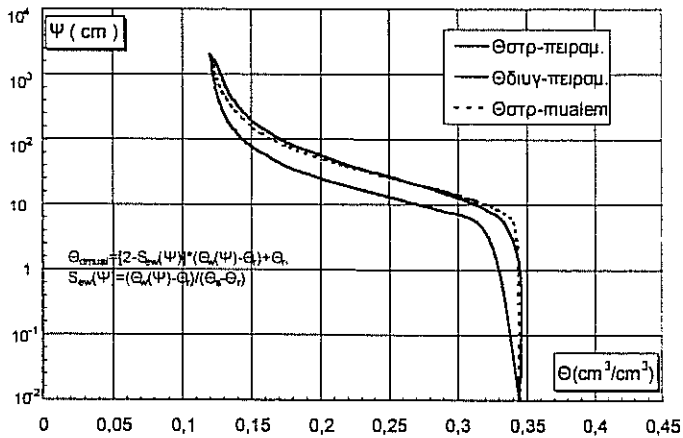
Σχήμα 2. Πειραματικές οριακές και διερευνητικές καμπύλες

Οι οριακές καμπύλες του βρόχου της υστέρησης προσεγγίστηκαν από τον τύπο του van Genuchten:  $(\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = 1 / [1 + (\alpha \cdot \Psi)^n]^m$ , όπου:  $\theta_s$  = υγρασία κορεσμού,  $\theta_r$  = υπολειπόμενη υγρασία, και  $\alpha, n, m$  είναι παράμετροι με τις τιμές  $\alpha = 0.0606$ ,  $n = 1.809$ ,  $m = 0.447$  για τη στράγγιση και  $\alpha = 0.1130$ ,  $n = 1.928$ ,  $m = 0.481$  για τη διύγρανση.

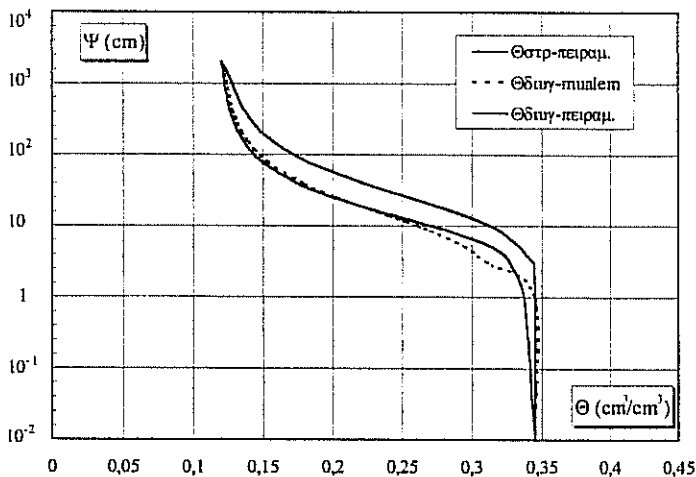
Στο σχ. 2 φαίνεται ότι οι θεωρητικές οριακές καμπύλες προσεγγίζουν πολύ ικανοποιητικά τις πειραματικές ( συντελεστής συσχέτισης για τη στράγγιση  $R = 0.988$

και μέσο τετραγωνικό σφάλμα  $1.18 \cdot 10^{-4}$ , και για τη διήθηση  $R=0.995$  και μέσο τετραγωνικό σφάλμα  $4.99 \cdot 10^{-5}$ ).

Στη συνέχεια έγινε ο έλεγχος της οριακής καμπύλης στράγγισης με εφαρμογή της εξίσωσης (9) και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο σχήμα 3. Η προσέγγιση είναι πολύ ικανοποιητική με  $mse=2.32 \cdot 10^{-3}$  και  $R=0.956$ , ενώ στο σχήμα 4 εμφανίζονται τα αποτελέσματα από τον έλεγχο της οριακής καμπύλης διύγρανσης που έγινε με εφαρμογή της εξίσωσης (10). Και εδώ η προσέγγιση είναι πολύ ικανοποιητική με  $mse=5.265 \cdot 10^{-5}$  και  $R=0.996$ .



Σχήμα 3. Έλεγχος οριακής καμπύλης στράγγισης



Σχήμα 4. Έλεγχος οριακής καμπύλης διύγρανσης.

#### 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Childs, E. E., 1969, An Introduction to the physical basis of soil water phenomena, John Wiley, New York.
2. Everett, D. H. and Whitton, W. I., 1952, A general approach to hysteresis, *J. Trans. Faraday Soc.*, 48: 749-757.
3. Haines, W. B., 1930, Studies in the physical properties of soils. V. The hysteresis effect in capillary properties and the modes of moisture distribution associated there with, *J. of Agr. Sci.*, 20: 97-116.
4. Mualem, Y., 1973, Modified Approach to capillary Hysteresis Based on a similarity hypothesis, *Water Resour. Res.*, 9 (5), 1324-1331.
5. Mualem, Y., 1974, A conceptual model of hysteresis, *Water Resour. Res.*, 10 (3), 514-520.
6. Mualem, Y., 1977, Extension of similarity hypothesis used for modeling the soil water characteristics, *Water Resour. Res.*, 13 (4), 773-780.
7. Mualem, Y., 1984, A modified dependent-domain theory of hysteresis, *Soil Sci.*, 137 (5), 283-291.
8. Neel, L., 1942, Theorie des lois d'aimantation de Lord Rayleigh, 1, *Cahiers Phys.*, 12, 1-20.
9. Neel, L., 1943, Theorie des lois d'aimantation de Lord Rayleigh, 2, *Cahiers Phys.*, 13, 18-30.
10. Philip, J. R., 1964, Similarity hypothesis for capillary hysteresis in porous materials, *J. of Geophys. Res.*, 69 (8), 1553-1562.
11. Poulouvassilis, A., 1962, Hysteresis of pore water: An application of the Concept of independent domains, *Soil Sci.*, 93: 405-412.
12. Poulouvassilis, A. and Childs, F. C., 1971, The hysteresis of pore water: the non-independence of domains, *Soil Sci.*, 112: 301-312.
13. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 1990, Επίδραση της υστέρησης στην εξομοίωση του προβλήματος της διήθησης του νερού σε εδαφικό δείγμα εδραζόμενο επί πορώδους κάψας, 4<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΥΕ, Ηράκλειο-Κρήτη, 435-449.
14. Sakellariou-Makrantonaki, M., 1997, Water drainage in layered soils. Laboratory experiments and numerical simulation, *Water Resour. Manag.*, 11: 437-444.
15. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος, Χ. και Καλφούντζος, Δ., 1997, Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων, 7<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΥΕ, Πάτρα, 184-192.
16. Τζιμόπουλος, Χ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ. και Γιακουμάκης, Σ., 1983, Πειραματικές μετρήσεις σε προβλήματα διύγρανσης με τη βοήθεια της γ-ακτινοβολίας, *Υδροτεχνικά*, 1: IV 25- IV 33.
17. Topp, G. C., 1969, Soil water hysteresis measured in a sandy loam and compared with the hysteretic domain model, *Proc. of Soil Sci. Soc. Am.*, 33: 645- 651.
18. Vachaud, G. and Thony, J. L., 1971, Hysteresis during infiltration and redistribution in a soil column at different initial water contents, *Water Resour. Res.*, 7, 111-112.
19. Watson, K. K. and Lee, S. J., 1975, Simulation of rainfall-rainoff process using a hysteretic infiltration-redistribution model, *Australian J. of Soil Sci. Resear.*, vol. 13, 133-170.

# ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΕΝΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

**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 εργασία αυτή μελετάται στοχαστικά το υδατικό ισοζύγιο ενός καλλιεργούμενου εδάφους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το μαθηματικό μοντέλο S.W.BA.CRO.S. με τη βοήθεια της μεθόδου *stude Monte Carlo* και του μοντέλου *nearest neighbor* σε δυο διαστάσεις. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων Monte Carlo που διενεργήθηκαν, προκύπτουν τα όρια εμπιστοσύνης μέσα στα οποία προβλέπεται να κινηθεί η υγρασία του εδάφους κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες προσθήκης νερού στο έδαφος (αρδεύσεις – βροχοπτώσεις)

## WATER BALANCE OF A CULTIVATED SOIL: A STOCHASTIC APPROACH

**H. Georgoussis and Ch. Babajimopoulos**

Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, School of  
Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 540 06, Greece

## ABSTRACT

The simulation of large scale unsaturated flow in spatially variable soils is investigated in this paper. The mathematical model S.W.BA.CRO.S., the Monte Carlo (MC) method and the nearest neighbor model, are used to incorporate the stochastic nature of hydraulic conductivity into the flow domain. The confidence limits of soil moisture and statistical information on the differences between the stochastic and deterministic solution of the Richards equation are presented based on the results of the MC simulation.

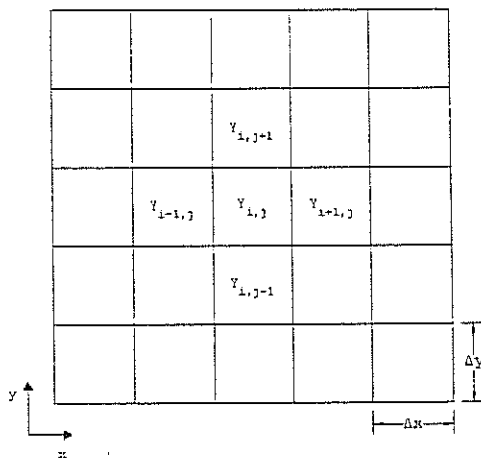
## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση μαθηματικών μοντέλων για την προσομοίωση της κίνησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους έχει διαδοθεί πολύ μεταξύ των ερευνητών τα τελευταία χρόνια. Το κύριο χαρακτηριστικό των περισσότερων από αυτά τα αριθμητικά μοντέλα είναι ότι λειτουργούν ντετερμινιστικά: θεωρούν δηλαδή ότι οι υδραυλικές παράμετροι των υπό μελέτη περιοχών έχουν μια σταθερή τιμή που είναι γνωστή με βεβαιότητα. Η θεώρηση αυτή αντικρούει στο γεγονός ότι την επιφάνεια της γης την καταλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία εδαφών με πλήθος διαφορετικών χαρακτηριστικών το καθένα ακόμη και σε επίπεδο αγρού. Συνεπώς η παραδοχή οποιουδήποτε βαθμού ομοιογένειας των εδαφών, αποτελεί σημαντική απλοποίηση αφού δεν είναι καθόλου βέβαιο πως οι τιμές που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα θα αντιστοιχούν στη μέση συμπεριφορά ενός ετερογενούς εδάφους. Η ποσοτική λουπόν εκτίμηση της μεταβλητότητας – αβεβαιότητας – αυτής είναι τόσο αναγκαία, όσο αναγκαία είναι και τα ίδια τα αποτελέσματα.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να συμβάλει προς την κάλυψη αυτής της αδυναμίας συνδυάζοντας τρία εργαλεία: i) το μοντέλο nearest neighbor [20, 6, 5] για να περιγράψει τις μεταβολές των παραμέτρων εισόδου στο χώρο, ii) το μαθηματικό μοντέλο S.W.BA.CRO.S. [3] για την περιγραφή της κίνησης του νερού στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους και iii) τη μέθοδο Monte Carlo για να περιγράψει στοχαστικά το υδατικό ισοζύγιο μιας περιοχής.

## 2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ NEAREST NEIGHBOR

Έστω ότι μια περιοχή, που αποτελεί πεδίο τιμών μιας παραμέτρου  $Y$ , διακριτοποιείται σε ένα σύστημα υποπεριοχών οι οποίες χαρακτηρίζονται από ζεύγη ακεραίων  $(i,j)$  (Σχ.1).



Σχήμα 1 Σχηματική αναπαράσταση του nearest neighbor καννάβου για ένα πρώτης τάξης μοντέλο σε δυο διαστάσεις.

Αν η παράμετρος  $Y$  ακολουθεί την κανονική κατανομή  $N(\mu, \sigma)$  τότε, σύμφωνα με το μοντέλο nearest neighbor πρώτης τάξης, κάθε τιμή  $Y_{ij}$  εξαρτάται από τις γειτονικές της  $Y_{i+1,j}$ ,  $Y_{i-1,j}$ ,  $Y_{i+1,j}$ ,  $Y_{i,j-1}$  σύμφωνα με τη σχέση:

$$Y_{i,j} = \frac{\alpha_x}{4}(Y_{i-1,j} + Y_{i+1,j}) + \frac{\alpha_y}{4}(Y_{i,j-1} + Y_{i,j+1}) + \varepsilon_{i,j} \quad (1)$$

όπου:  $\alpha_x$  η αυτοσυσχετιστική παράμετρος ( $|\alpha_x| < 1$ ) που εκφράζει το βαθμό της χωρικής εξάρτησης της μεταβλητής  $Y_{i,j}$  από τις δυο γειτονικές τιμές της στον x- άξονα,  $Y_{i-1,j}$  και  $Y_{i+1,j}$ ,  $\alpha_y$  η αυτοσυσχετιστική παράμετρος ( $|\alpha_y| < 1$ ) που εκφράζει το βαθμό της χωρικής εξάρτησης της μεταβλητής  $Y_{i,j}$  από τις δυο γειτονικές τιμές της στον y- άξονα  $Y_{i,j-1}$  και  $Y_{i,j+1}$  και  $\varepsilon_{i,j}$  ένας τυχαίος αριθμός που ακολουθεί την ίδια στατιστική κατανομή –  $N(\mu, \sigma)$  – με την παράμετρο  $Y$  και εκφράζει τις διάφορες τυχαίες επιδράσεις στη φυσική πραγματικότητα. Για περισσότερες λεπτομέρειες και εκτενή βιβλιογραφία για το μοντέλο nearest neighbor ο αναγνώστης παραπέμπεται στο Γεωργούση [22].

### 3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ MONTE CARLO

Οι αριθμητικές μέθοδοι, που είναι γνωστές ως «μέθοδοι Monte Carlo» μπορούν να περιγραφούν ως μέθοδοι στοχαστικής προσομοίωσης, όπου ως στοχαστική προσομοίωση ορίζεται γενικά κάθε μέθοδος που χρησιμοποιεί τυχαίους αριθμούς κατά την εφαρμογή της. Συνεπώς ο τίτλος «μέθοδος Monte Carlo» δεν αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη μέθοδο αλλά σε ένα πλήθος μεθοδολογιών, των οποίων κοινό χαρακτηριστικό είναι η προσπάθεια προσέγγισης της πραγματικής λύσης ενός προβλήματος με την επαναληπτική χρήση τυχαίων αριθμών.

Έστω ότι υπάρχει μοντέλο προσομοίωσης ενός φαινομένου και μια παράμετρος του θεωρείται στοχαστική (είναι γνωστή δηλαδή η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας την οποία ακολουθεί). Η επαναληπτική διαδικασία εισαγωγής  $n$  τυχαίων τιμών (που θα πρέπει να προέρχονται από την ίδια κατανομή με τη στοχαστική παράμετρο) στη θέση της στοχαστικής παραμέτρου και η εξαγωγή  $n$  διαφορετικών αποτελεσμάτων, περιγράφει την πιο απλή σε εφαρμογή μεθοδολογία Monte Carlo: την **crude Monte Carlo**.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου Monte Carlo αποτελούν: (i) η ευκολία ενσωμάτωσής της μέσα στον αλγόριθμο ενός μοντέλου (ii) ότι επαναλαμβανόμενοι υπολογισμοί της θεωρητικά αντιστοιχούν σε μια σειρά παρατηρήσεων ή μετρημένων στο πεδίο τιμών και (iii) ότι η μέθοδος μπορεί να χειριστεί δεδομένα εισόδου που χαρακτηρίζονται από μεγάλη μεταβλητότητα. Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί ο υπέρμετρος υπολογιστικός χρόνος για την επίτευξη ικανοποιητικής ακρίβειας.

### 4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SWBACROS

Το μαθηματικό μοντέλο SWBACROS αναπτύχθηκε το 1995 στο εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων [3]. Ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου ενός καλλιεργούμενου εδάφους βασίζεται στην αριθμητική επίλυση της γνωστής εξίσωσης Richards με τη μέθοδο πρόβλεψης – διόρθωσης Douglas–Jones [12].

Η υψηλή περιγραφική ικανότητα του μοντέλου έχει αποδειχθεί σε αρκετές ερευνητικές εργασίες [3, 23, 24, 25].

### 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Στην εργασία αυτή η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό θεωρείται ως η μόνη στοχαστική μεταβλητή. Αν και αναγνωρίζεται ότι αυτό δεν είναι απόλυτα ακριβές, δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι άλλες υδραυλικές παράμετροι του εδάφους

μεταβάλλονται σε πολύ στενότερα πλαίσια σε σχέση με την υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό [9, 16, 17, 19].

Θεωρείται επίσης ότι η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή [1, 4, 7, 14, 16, 21]. Επειδή συνήθως οι τυχαίοι αριθμοί που δημιουργούνται από μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών ακολουθούν την τυπική κανονική κατανομή  $N(0,1)$ , για να μετασχηματιστούν τα δεδομένα που παράγει το μοντέλο nearest neighbor σε δεδομένα υδραυλικής αγωγιμότητας με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ , χρησιμοποιείται ο ακόλουθος μετασχηματισμός [18]:

$$K_s^{i,j} = 10^{\mu + \sigma Z_{i,j}} \quad (2)$$

Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε με δεδομένα που λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία. Τα δεδομένα αυτά αφορούν συνολικά τέσσερα εδάφη: ένα αργιλοπηλώδες (clay loam) έδαφος στην περιοχή της Σίνδου, στο οποίο είχε γίνει εγκατάσταση καλλιέργειας βαμβακιού [23], ένα ιλυοαργιλοπηλώδες (silty clay loam) έδαφος [11] και δυο αμμοπηλώδη (sandy loam) εδάφη [13, 15]. Κριτήριο επιλογής των τριών αυτών εδαφών ήταν η τάξη μεγέθους της υδραυλικής αγωγιμότητας τους.

Λόγω του όγκου των αποτελεσμάτων, στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο για το αργιλοπηλώδες (clay loam) έδαφος στην περιοχή της Σίνδου, στο οποίο είχε γίνει εγκατάσταση καλλιέργειας βαμβακιού ποικιλίας Ουρανία [23]. Το έδαφος αυτό θεωρήθηκε ότι δεν ήταν στρωματωμένο μέχρι του βάθους των 70cm. Η επιλογή του συγκεκριμένου βάθους έγινε γιατί το κυρίως ριζικό σύστημα του βαμβακιού βρίσκεται συνήθως σε βάθος από 40 ως και 60cm.

Λόγω έλλειψης πειραματικών δεδομένων υδραυλικής αγωγιμότητας από τα οποία θα μπορούσαν να προσδιοριστούν η αυτοσυσχετιστική παράμετρος  $a$  και η τυπική απόκλιση  $\sigma$ , επιλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία οι τιμές  $a=0.35$  και  $\sigma=40\%K_s$ , αντίστοιχα [8]. Με τον τρόπο αυτό το υδατικό ισοζύγιο εκφράζεται στοχαστικά από μια συνάρτηση του τύπου  $\theta(z, t, K_s, a = 0.35, \sigma = 40\%K_s)$ .

Η έκταση του πειραματικού αγρού ήταν πέντε στρέμματα. Από εδαφοτρήσεις που έγιναν, το έδαφος αυτό φάνηκε ότι είχε τρεις διακεκριμένους ορίζοντες: 0–60cm, 60–100cm και 100–140cm. Επειδή η στοχαστική μελέτη στην εργασία αυτή περιορίζεται στα 70 πρώτα εκατοστά του εδάφους αυτού, θεωρήθηκε ότι η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας (ΧΚΥ) τους μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση Van Genuchten που βρέθηκε ότι χαρακτηρίζει τον ορίζοντα 0–60 cm:

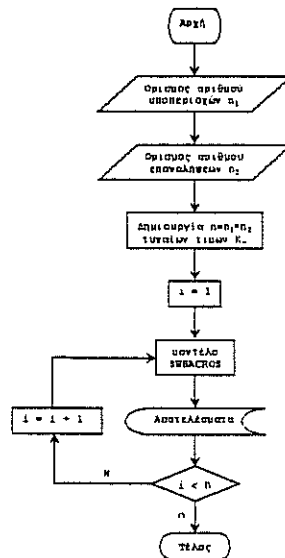
$$\theta(h) = 0.049 + \frac{0.434 - 0.049}{\left[1 + (0.011552h)^{1.13528}\right]^{0.11916}} \quad (3)$$

Για τον ίδιο ορίζοντα η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό  $K_s$  είχε μετρηθεί με περατόμετρο Guelph και βρέθηκε να είναι ίση με 0.2855 m/day. Για τη στοχαστική επίλυση της εξίσωσης Richards, η τιμή αυτή θεωρήθηκε ότι είναι η μέση τιμή των τιμών υδραυλικής αγωγιμότητας αυτού του εδάφους. Έτσι αφού χωρίστηκε ο αγρός σε υποπεριοχές, με τη βοήθεια του μοντέλου nearest neighbor, δημιουργήθηκαν τυχαίες τιμές που ακολουθούσαν τη λογαριθμοκανονική κατανομή:  $LN(\mu=0.2855 \text{ m/day}, \sigma=40\% = 0.1142 \text{ m/day})$ .

Στη στοχαστική επίλυση της εξίσωσης Richards που παρουσιάζεται στη εργασία αυτή, θεωρήθηκε ότι η περιοχή μελέτης έχει τετράγωνο σχήμα και ότι είναι χωρισμένη σε



9 μόνο υποπεριοχές ( $n_1=9$ ). Το πλήθος των επαναλήψεων της μεθόδου Monte Carlo επιλέχθηκε να είναι  $n_2=10$ . Έτσι έγιναν  $n_1 \times n_2=90$  εκτελέσεις του μοντέλου S.W.BA.CRO.S.. Οι επιλογές αυτές αν και απλουστεύουν τη στοχαστική ανάλυση μιας ανομοιογενούς περιοχής έγιναν, στη φάση αυτή, με μόνο κριτήριο το χρόνο εκτέλεσης του προγράμματος στον Η/Υ. Η όλη διαδικασία περιγράφεται στο λογικό διάγραμμα του Σχήματος 2:

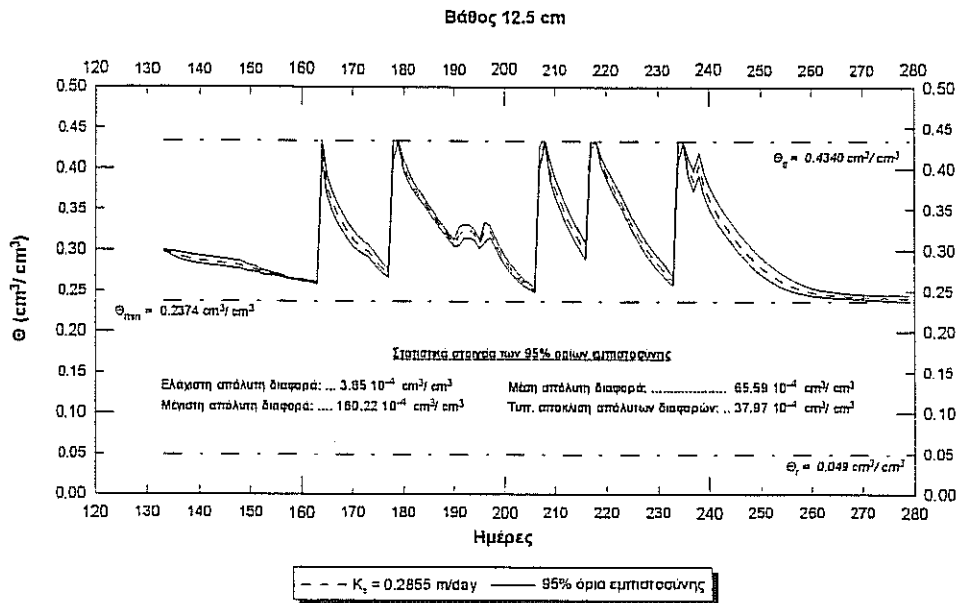


Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής για την εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo.

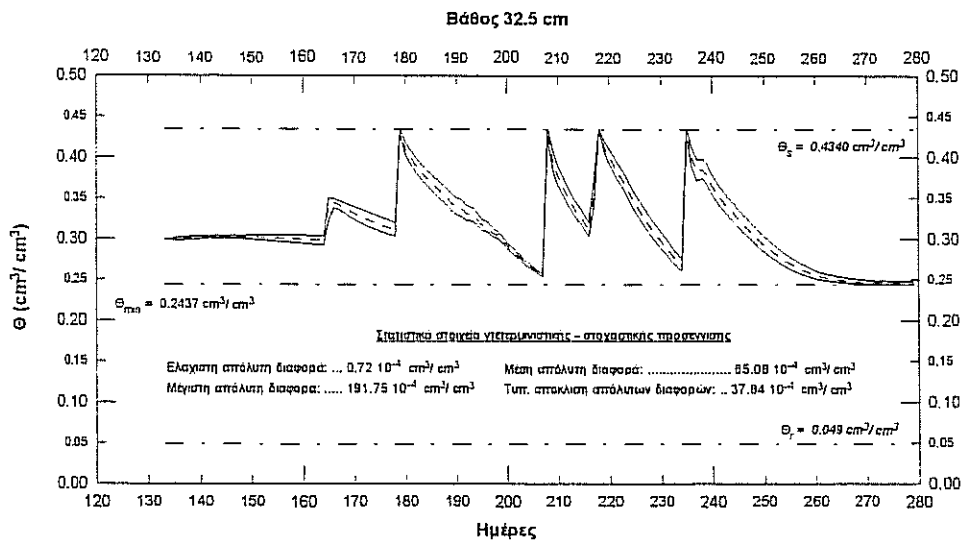
Αναφέρεται ότι χρησιμοποιώντας μεταβλητό χρονικό βήμα  $\Delta t$ , που κυμαινόταν από 0.001 min ως 2 min η μια εκτέλεση του μοντέλου S.W.BA.CRO.S. για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο απαιτούσε από  $\approx 4.5$  (Pentium Celeron 300MHz) ως και  $\approx 34$  λεπτά (Pentium 100MHz). Έτσι οι 90 εκτελέσεις του προγράμματος απαιτούσαν από  $\approx 7$  ώρες ως και  $\approx 51$  ώρες.

## 6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

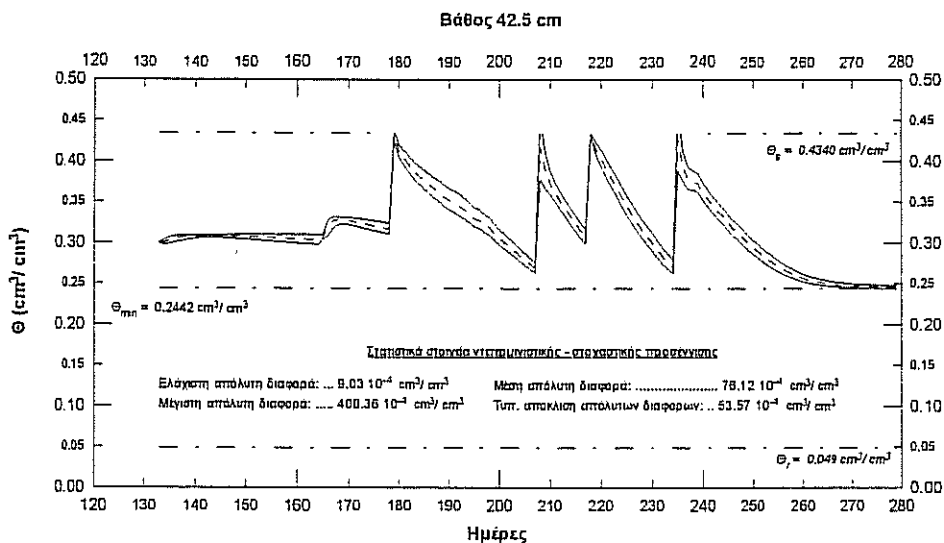
Υπό τις κλιματικές και αρδευτικές συνθήκες που περιγράφει ο Μπαμπατζιμόπουλος (1995) και με τη βοήθεια του μοντέλου S.W.BA.CRO.S. επιλύθηκε η εξίσωση Richards. Από τη στατιστική επεξεργασία που ακολούθησε προέκυψαν τα όρια εκείνα μέσα στα οποία βρίσκεται με πιθανότητα 95% η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας του αγρού. Τα 95% όρια εμπιστοσύνης (συνεχής γραμμή) και η σύγκριση της στοχαστικής – ντετερμινιστικής λύσης (για τρία ενδεικτικά βάθη 12.5, 32.5 και 42.5 cm) φαίνονται στο Σχήμα 3(α), 3(β) και 3(γ):



3(α)



3(β)



3(γ)

Σχήμα 3 Στοχαστική διακύμανση ( $\alpha=0.35$ ,  $\sigma=40\%K_s$ ) του υγρασιακού περιεχομένου του αργιλοπηλώδους εδάφους της Σίνδου και σύγκρισή της με τη ντετερμινιστική διακύμανση.

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν στα διάφορα στάδια διεξαγωγής αυτής της εργασίας μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Η εισαγωγή μιας ενδεικτικής τιμής κάποιας υδραυλικής παραμέτρου σε ένα μοντέλο πρόβλεψης της υγρασίας του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη του, μπορεί να δώσει αποτελέσματα αρκετά μακριά από την πραγματικότητα. Οι υδραυλικές παράμετροι μεταβάλλονται τόσο περισσότερο, όσο πιο ανομοιογενής και μεγαλύτερη σε έκταση είναι η μελετούμενη περιοχή. Είναι λοιπόν φανερό πως η στοχαστική προσέγγιση δίνει σαφώς πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.
- Για τη στοχαστική προσέγγιση απαραίτητη είναι η αναπαράσταση με κάποιο τρόπο της χωρικής μεταβλητότητας μιας υδραυλικής παραμέτρου. Στο σημείο αυτό το μοντέλο nearest neighbor πλεονεκτεί της θεώρησης ότι η παράμετρος ακολουθεί απλά μια κατανομή, αφού λαμβάνει υπόψη και τις αλληλοεξαρτήσεις μεταξύ των τιμών της κατανομής.
- Για την αποτελεσματικότερη εφαρμογή του μοντέλου nearest neighbor απαιτείται ο κατά το δυνατόν λεπτομερέστερος διαμερισμός της περιοχής μελέτης σε υποπεριοχές. Με το λεπτομερή διαχωρισμό προσεγγίζονται πιστότερα προς τη φυσική πραγματικότητα οι μεταβολές της υδραυλικής παραμέτρου στο χώρο.
- Ο λεπτομερής διαχωρισμός της περιοχής πρέπει να συνδυαστεί με μετρήσεις πεδίου σε κάθε μια από τις υποπεριοχές. Από τις μετρήσεις και μετά από στατιστική επεξεργασία θα προσδιοριστούν: η αυτοσυσχετιστική παράμετρος  $\alpha$ , η μέση τιμή  $\mu$  και η τυπική απόκλιση  $\sigma$ . Η επίδραση του μεγέθους των υποπεριοχών

στον ακριβή προσδιορισμό των τριών αυτών παραμέτρων πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

- Επίσης αντικείμενο μελέτης μπορεί να αποτελέσει η ίδια η αυτοσυσχετιστική παράμετρος: η σύγκριση της επιλογής μιας κοινής για κάθε κατεύθυνση αυτοσυσχετιστικής παραμέτρου  $\alpha$ , έναντι της επιλογής δυο ξεχωριστών παραμέτρων  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  για κάθε κατεύθυνση, όπως επίσης και ο υπολογισμός της αυτοσυσχετιστικής παραμέτρου για διάφορους τύπους εδαφών. Με τον τρόπο αυτό θα μπορεί να τυποποιηθεί η στοχαστική μελέτη του υδατικού ισοζυγίου και έτσι να διευρυνθεί η χρήση της.
- Η μέθοδος Monte Carlo είναι εύχρηστη και συνδυάζεται πολύ εύκολα με τα μοντέλα nearest neighbor και S.W.BA.CRO.S. Οι απαντήσεις της είναι προσεγγιστικές, μπορούν όμως να βελτιωθούν σε ακρίβεια αν βασιστούν σε μεγάλο αριθμό επαναλήψεων (εκατοντάδες ή και χιλιάδες).
- Μετά τις εφαρμογές στους διάφορους τύπους εδαφών, φαίνεται πως οι διαφορές ντετερμινιστικής – στοχαστικής λύσης μεταβάλλονται με το βάθος και με τον τύπο εδάφους. Είναι δε τέτοιας τάξης μεγέθους που μπορούν να επηρεάσουν την αρδευτική πρακτική, μεταβάλλοντας τις ημερομηνίες άρδευσης.
- Η μελέτη του υδατικού ισοζυγίου σε περιοχές μεγάλης έκτασης δεν ήταν εφικτή μέχρι τώρα λόγω της μεταβολής των υδραυλικών παραμέτρων στο χώρο. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, βοηθά προς την κατεύθυνση αυτή. Προσφέρει δε τη δυνατότητα σε έναν ευρύτερο, επιτελικό φορέα να προγραμματίσει τις αρδεύσεις της περιοχής με τον βέλτιστο τρόπο.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aitchison, J., and J. A. C. Brown, 1957. The lognormal distribution. 176pp., Cambridge University Press, London.
2. 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, No. 3, pp. 211–220.
3. 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.
4. Baker, F. G., and J. Bouma, 1976. Variability of hydraulic conductivity in two subsurface horizons of two silt loam soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 40, 219–222.
5. Bartlett, M. S., 1975. The statistical analysis of spatial pattern. Chapman and Hall, London.
6. Besag, J., 1974. Spatial interaction and the statistical analysis of lattice systems. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, Vol. 36, No. 2, 192–236.
7. Biggar, J. W., and D. R. Nielsen, 1976. The spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. Water Resour. Res., 12:78–84.
8. Chung, S. O., 1985. Stochastic modeling of water movement in the saturated – unsaturated zone. Thesis presented to Iowa State University, at Ames, Iowa, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (University Microfilm International Order No 85–14383, Ann Arbor, Mich.).

9. Dagan, G., and E. Bresler, 1983. Unsaturated flow in spatially variable fields, 1. Derivation of models of infiltration and redistribution. *Water Resour. Res.*, 19(2):413–428.
10. De Jong, R., and D. R. Cameron, 1979. Computer simulation model for predicting soil water content profiles. *Soil Sci.*, 128, 41–48.
11. Deju, Z. and L. Jingwen, 1993. The water use efficiency of winter wheat and maize on a salt-affected soil in the Huang Huai Hai river plain of China. *Agric. Water Manag.*, 23, 67–82.
12. Douglas, J. J., and B. F. Jones, 1963. One predictor-corrector method for non linear parabolic differential equations. *J. SIAM*, 11, pp. 195–204.
13. Kool, J. B., J. C. Parker, and M.Th. Van Genuchten, 1985. Determining soil hydraulic properties from one-step outflow experiments by parameter estimation, I, Theory and numerical studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1348–1354.
14. Law, J., 1944. A statistical approach to the interstitial heterogeneity of sand reservoirs. *Trans. AIME*, 155, 202–222.
15. Mallants, D., P. H. Tseng, N. Toride, A. Timmerman, and J. Feyen, 1997. Evaluation of multimodal hydraulic functions in characterizing a heterogeneous field soil. *J. of Hydrology*, 195, 172–199.
16. Nielsen, D. R., J. W. Biggar, and K. T. Erh, 1973. Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia* 42(7), 215–259.
17. Polman, D. J., D. McLaughlin, S. Lewis, L. Gelhar and R. Ababou, 1991. Stochastic modeling of large-scale flow in heterogeneous unsaturated soils. *Water Resour. Res.*, 27(7):1447–1458.
18. Smith, J. L., 1978. A stochastic analysis of steady-state groundwater flow in a bounded domain. Ph.D. Thesis. University of British Columbia, Canada.
19. Smith, R. E., and R. H. B. Hebbert, 1979. A Monte Carlo analysis of the hydrologic effects of spatial variability of infiltration. *Water Resour. Res.*, 15(2):419–429.
20. Whittle, P., 1954. On stationary processes in the plane. *Biometrika*, 41, 434–449.
21. Willardson, L. S. and R. L. Hurst, 1965. Sample size estimates in permeability studies. *J. Irrig. Drain. Div. Amer. Soc. Civil Eng.*, 91(IR1), 1–9.
22. Γεωργούσης, Χ. 2000. Στοχαστική μελέτη του υδατικού ισοζυγίου στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους. Διπλωματική μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας-ΑΠΘ.
23. Μπαμπατζιμόπουλος, Χ. (επιστημονικά υπεύθυνος), 1995. Τελική έκθεση του ερευνητικού προγράμματος: «Προγραμματισμός των αρδεύσεων με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων». Γ.Γ.Ε.Τ., Θεσσαλονίκη.
24. Μπαμπατζιμόπουλος, Χ. (επιστημονικά υπεύθυνος), 1998. Τελική έκθεση του ερευνητικού προγράμματος: «Εφαρμογή της πληροφορικής στη μελέτη του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους ενός αγρού ζαχαροτεύτλων». Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
25. Μπαμπατζιμόπουλος, Χ., Α. Πανάρας, 2000. Τελική έκθεση του ερευνητικού προγράμματος: «Εφαρμογή της πληροφορικής στη μελέτη του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους ενός αγρού ζαχαροτεύτλων». Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΩΝ ΤΙΜΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ PENMAN ΚΑΙ PENMAN-MONTEITH

I. Αλεξίου, Σ. Κωτσόπουλος, Γ. Ζέρβα και Π. Βύρλας

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας,  
Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας,  
Θεοφράστου 1, Λάρισα 413 35

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ορθολογική διαχείριση του αρδευτικού νερού. Στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση των ημερήσιων τιμών της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής βασικών ετήσιων καλλιεργειών σε δύο περιοχές της Θεσσαλικής πεδιάδας όπως αυτές υπολογίζονται με βάση τις τροποποιημένες μεθόδους FAO-56 Penman-Monteith, FAO-24 Penman και FAO-24 Penman με φυτικούς συντελεστές για τις Ελληνικές συνθήκες. Προκύπτει ότι η FAO-24 δίνει υψηλότερες τιμές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ~25% από την FAO-56. Αντίθετα η FAO-24 με προσαρμοσμένους φυτικούς συντελεστές δίνει παραλήσια αποτελέσματα με αυτά της FAO-56.

## COMPARATIVE EVALUATION OF CROP POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION USING THE EQUATIONS OF PENMAN AND PENMAN-MONTEITH

I. Alexiou, S. Kotsopoulos, G. Zerva and P. Vyrilas

National Agricultural Research Foundation,  
Institute of Soil Mapping and Classification of Larissa,  
1, Theophrastos Str., Larissa 413 35, Greece

## ABSTRACT

Estimates of the crop potential evapotranspiration is a prerequisite for the rational management of the available water for irrigation. In the present study, are compared the daily potential evapotranspiration rates of some basic crops in the Thessaly Plain which are estimated through the methods : FAO-56 Penman-Monteith, FAO-24 Penman and FAO-24 Penman with adjusted crop coefficients for the Greek conditions. The results show that the FAO-24 method gives higher rates at about 25% than those of FAO-56. On the contrary the methods FAO-56 and FAO-24 with adjusted crop coefficients give comparative results.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έχει διαπιστωθεί, με βάση πειραματικές μετρήσεις, ότι οι υπολογισμένες τιμές της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών στον Ελληνικό χώρο [12] με βάση την προτεινόμενη μεθοδολογία κατά FAO-24 [4] υπερεκτιμούν τις πραγματικά αναμενόμενες τιμές της. Για το λόγο αυτό προτάθηκε [12] στην τροποποιημένη κατά FAO-24 μέθοδο Penman μείωση των φυτικών συντελεστών έτσι που οι τιμές της να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές. Επειδή η εκτίμηση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ορθολογική διαχείριση του αρδευτικού νερού και την εκτίμηση της γεωργικής παραγωγής [5] [7] κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστούν τα μεγέθη της υδατοκατανάλωσης των καλλιεργειών σε ορισμένες περιοχές της Θεσσαλίας όπου παρουσιάζονται ελλείψεις νερού κατά την καλλιεργητική περίοδο.

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “Υπολογισμός αναγκών σε νερό άρδευσης ορισμένων καλλιεργειών” που χρηματοδοτείται από το Β’ Κ.Π.Σ. 1994-99, έχουν εγκατασταθεί πειραματικοί αγροί καλλιεργειών βαμβακιού, καλαμποκιού και ζαχαροτεύτλων στη Λάρισα (αγρόκτημα ΙΚΦΒ) και τον Παλαμά Καρδίτσας (αγρόκτημα ΣΓΕ Παλαμά) [9] [6] όπου μεταξύ των άλλων υπολογίζονται οι τιμές της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η FAO-56 [3] επειδή έδωσε ικανοποιητικές εκτιμήσεις της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σε συνθήκες ανεπάρκειας του εδαφικού νερού [2].

Στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση των τιμών δυναμικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών βαμβακιού, καλαμποκιού και ζαχαροτεύτλων στη Λάρισα και τον Παλαμά Καρδίτσας όπως αυτές προκύπτουν με βάση την τροποποιημένη κατά FAO-24 μέθοδο Penman [4], την ίδια μέθοδο με προσαρμοσμένους όμως για τις Ελληνικές συνθήκες φυτικούς συντελεστές [12] και την τροποποιημένη κατά FAO-56 μέθοδο των Penman-Monteith [3]. Για την εφαρμογή των μεθόδων αξιοποιήθηκαν τα ημερήσια κλιματικά στοιχεία των εγκατεστημένων στην περιοχή μετεωρολογικών σταθμών κατά τα έτη 1997 και 1998 και δεδομένα καλλιεργειών για τις Ελληνικές συνθήκες [12][11][10].

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την υλοποίηση του ερευνητικού προγράμματος “Υπολογισμός αναγκών σε νερό άρδευσης ορισμένων καλλιεργειών” είχαν εγκατασταθεί πειραματικοί αγροί βαμβακιού, καλαμποκιού και ζαχαροτεύτλων στη Λάρισα και τον Παλαμά Καρδίτσας και υπολογίστηκαν οι ημερήσιες τιμές της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής τους για την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου κατά τα έτη 1997 και 1998.

Για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιείται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς [12] [4] [3] [1] [13] και ο φυτικός συντελεστής [12] [4] [3] [10] για τα διάφορα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών.

Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς [12] [4] [11] [10] χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος Penman και Penman-Monteith όπως αυτές περιγράφονται από τον FAO-24 [4] και FAO-56 [3] αντίστοιχα και υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$ET_o = c \cdot \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot f(u_2) \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma} \quad (1)$$

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \quad (2)$$

όπου  $ET_o$  η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (mm/d),  $c$  διορθωτικός παράγοντας ενδεικτικός της διαφοράς των καιρικών συνθηκών που επικρατούν την ημέρα και τη νύχτα,  $R_n$  η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $G$  η ροή θερμότητας στο έδαφος ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) που για ημερήσια χρονικά διαστήματα μπορεί να θεωρηθεί  $G \approx 0$ ,  $T$  η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $f(u_2) = 0.27 \cdot (1 + 0.864 \cdot u_2)$ ,  $u_2$  η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s$  πίεση κορεσμένων υδρατμών (kPa),  $e_a$  πραγματική πίεση υδρατμών (kPa),  $e_s - e_a$  έλλειμμα κορεσμού υδρατμών (kPa),  $\Delta$  κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών στη θερμοκρασία  $T$  ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) και  $\gamma$  ψυχομετρική σταθερά ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Για τον υπολογισμό του  $R_n$  απαιτείται η εκτίμηση των ημερήσιων τιμών της ακτινοβολίας στο άνω όριο της ατμόσφαιρας ( $R_a$ ) και της θεωρητικής ηλιοφάνειας ( $N$ ) που γίνεται με περιοδικές συναρτήσεις [8].

Για τον υπολογισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής,  $ET_c$ , χρησιμοποιούνται οι φυτικοί συντελεστές του FAO-24 [4], οι προσαρμοσμένοι στις Ελληνικές συνθήκες [12] και ο απλός φυτικός συντελεστής του FAO-56 [3] όπως περιγράφεται από την εξίσωση:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (3)$$

όπου  $K_c$  ο φυτικός συντελεστής καλλιεργειών (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1.** Φυτικοί συντελεστές καλλιεργειών για τα διάφορα στάδια ανάπτυξης

Καλλιέργεια	στάδιο	Διάρκεια (ημέρες)	FAO-56	FAO-24	[1]
Βαμβάκι	(1)	30	0.35	0.35	0.30
	(2)	60			
	(3)	45	1,15	1,15	0.90
	(4)	25	0.60*	0.60*	0.45*
Καλαμπόκι	(1)	25	0.30	0.30	0.35
	(2)	40			
	(3)	60	1.20	1.20	0.85
	(4)	25	0.60*	0.60*	0.40*
Ζαχαρότευτλα	(1)	25	0.35	0.35	0.35
	(2)	35			
	(3)	90	1.20	1.20	0.85
	(4)	10	0.70*	0.70*	0.70*

\* στο τέλος του (4) σταδίου



### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα αναφέρονται στην περίοδο Απριλίου - Σεπτεμβρίου για τα έτη 1997 και 1998. Αρχικά υπολογίζεται σε ημερήσια βάση η εξαμυσοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς με τις μεθόδους Penman [4] [εξ. (1)] και Penman-Monteith [3] [εξ. (2)]. Όπως διαπιστώνεται (Σχήμα 1, 2) η μέθοδος FAO-24 [4] δίνει σημαντικά μεγαλύτερες τιμές εξαμυσοδιαπνοής από ότι η μέθοδος FAO-56 [3] για τις ίδιες χρονικές περιόδους στη Λάρισα και τον Παλαμά Καρδίτσας. Για τις ίδιες περιόδους υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των ημερήσιων τιμών εξαμυσοδιαπνοής αναφοράς (mean), η τυπική τους απόκλιση (STD), ο συντελεστής μεταβλητότητας (CV), οι ποσοστιαίες διαφορές (DIF) των δύο μεθόδων, καθώς επίσης και οι μέσες τιμές της περιόδου Απριλίου - Σεπτεμβρίου (Πίνακας 2). Από τον Πίνακα 2 διαπιστώνεται ότι οι μέσες ποσοστιαίες διαφορές κυμαίνονται από 20 έως 32 % σε μηνιαία βάση και από 25 έως 28 % για την περίοδο Απριλίου - Σεπτεμβρίου. Αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας (CV) οι δύο μέθοδοι δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα με τη μέθοδο FAO-24 να δίνει συνήθως μεγαλύτερες τιμές. Συγκρίσιμες τιμές του CV για τη Λάρισα έχουν υπολογιστεί και από άλλους ερευνητές [14].

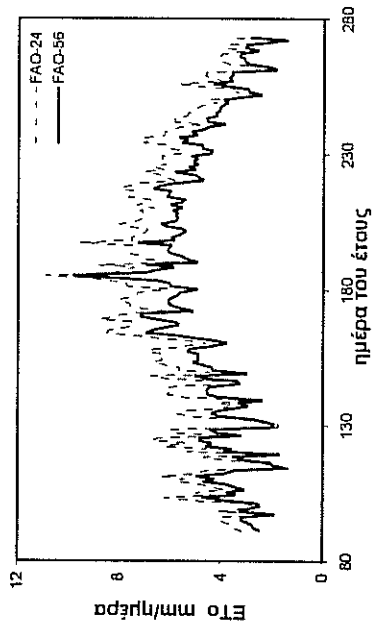
**Πίνακας 2.** Σύγκριση παραμέτρων μηνιαίων τιμών της εξαμυσοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς στη Λάρισα και τον Παλαμά Καρδίτσας

	FAO-24			FAO-56			
	Mean mm/ημ (1)	STD mm/ημ (2)	CV % (3)	Mean mm/ημ (4)	STD mm/ημ (5)	CV % (6)	DIF % [(1)-(4)]/(4)
<b>Λάρισα</b>							
Απρίλιος	3,44	1,44	41,8	2,77	0,98	35,3	24,2
Μάιος	5,29	1,46	27,6	4,12	0,96	23,4	28,5
Ιούνιος	6,94	1,33	19,1	5,50	1,05	19,1	26,0
Ιούλιος	7,39	1,12	15,1	5,96	0,95	15,9	24,1
Αύγουστ.	5,95	0,98	16,5	4,80	0,80	16,6	24,0
Σεπτέμβρ.	3,80	1,17	30,8	3,15	0,84	26,8	20,4
Περίοδου	5,48			4,39			24,8
<b>Παλαμάς</b>							
Απρίλιος	3,73	1,49	39,9	2,90	0,98	33,9	28,9
Μάιος	5,31	1,80	33,8	4,07	1,19	29,4	30,5
Ιούνιος	7,39	1,33	17,9	5,90	1,14	19,2	25,3
Ιούλιος	7,00	1,22	17,4	5,32	0,84	15,9	31,6
Αύγουστ.	5,57	0,79	14,2	4,31	0,55	12,7	29,3
Σεπτέμβρ.	3,83	1,29	33,5	3,13	0,92	29,4	22,4
Περίοδου	5,48			4,27			28,2

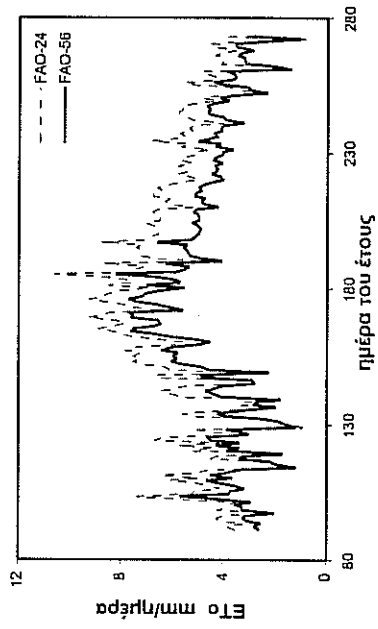
Για τις καλλιέργειες βαμβάκι, καλαμπόκι και ζαχαρότευτλα υπολογίζονται οι ημερήσιες τιμές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής από την εξ. (3) για τις τρεις μεθόδους : FAO-56, FAO-24 και FAO-24 με τους  $K_c$  προσαρμοσμένους στις Ελληνικές συνθήκες [12]. Στο Σχήμα 3 παριστάνονται οι ημερήσιες τιμές της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής για το βαμβάκι στη Λάρισα κατά το 1998 με τις τρεις μεθόδους και στο Σχήμα 4 οι αθροιστικές τιμές της (ΣΕΤc). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι αθροιστικές τιμές της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής των τριών καλλιεργειών για την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου και κατά το μήνα Ιούλιο για τις τρεις μεθόδους αντίστοιχα. Επίσης στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες διαφορές των μεθόδων FAO-24 και FAO-24 με τους προσαρμοσμένους  $K_c$  με τη μέθοδο FAO-56. Από τον Πίνακα 3 είναι φανερό ότι η μέθοδος FAO-24 δίνει για την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου, για τις τρεις καλλιέργειες, 24.6 - 32.4 % μεγαλύτερες τιμές από αυτές της FAO-56. Οι διαφορές αυτές για τον Ιούλιο είναι 23 - 32 %. Αντίθετα οι μέθοδοι FAO-24 με τροποποιημένους  $K_c$  και FAO-56 δίνουν περίπου ίδια αποτελέσματα.

**Πίνακας 3.** Σύγκριση της αθροιστικής δυναμικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών τον Ιούλιο και την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου στη Λάρισα και τον Παλαμά

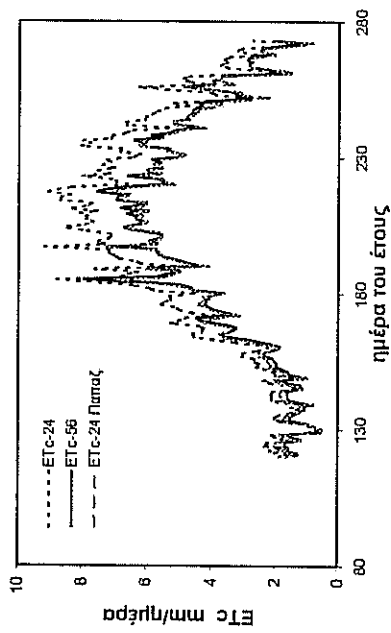
	FAO-56	FAO-24	FAO-24-[12]	Διαφορές	
	mm (1)	mm (2)	mm (3)	% [(2)-(1)]/(1)	% [(1)-(3)]/(1)
<b>Λάρισα</b>					
Βαμβάκι					
• Περίοδου	602	750	594	24.6	1.3
• Ιουλίου	172	227	178	32.0	-3.5
Καλαμπόκι					
• Περίοδου	707	882	646	24.7	8.6
• Ιουλίου	228	284	201	24.6	11.8
Ζαχαρότευτλα					
• Περίοδου	750	979	715	30.5	4.7
• Ιουλίου	231	284	201	23.0	13.0
<b>Παλαμάς</b>					
Βαμβάκι					
• Περίοδου	568	721	571	26.9	-0.5
• Ιουλίου	160	210	165	31.2	-3.1
Καλαμπόκι					
• Περίοδου	672	842	624	25.3	7.1
• Ιουλίου	200	264	187	32.0	6.5
Ζαχαρότευτλα					
• Περίοδου	719	952	696	32.4	3.2
• Ιουλίου	201	263	186	30.8	7.5



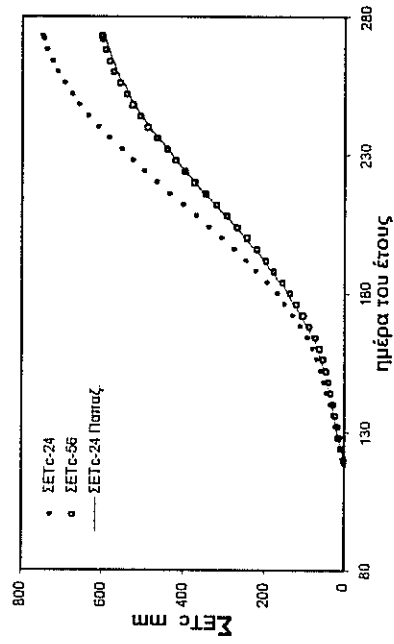
Σχήμα 1: Εξαισιοδισπνοή αναφοράς στη Λάρισσα το 1998



Σχήμα 2: Εξαισιοδισπνοή αναφοράς στον Παλαμά το 1998



Σχήμα 3: Δυναμική Εξάτμιση για το βαμβάκι, στη Λάρισσα το 1998



Σχήμα 4: Αθροιστική Δυναμ. Εξάτμιση για το βαμβάκι, στη Λάρισσα το 1998

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις υπολογισμένες τιμές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής για περιοχές της Θεσσαλίας προκύπτει :

Η τροποποιημένη μέθοδος Penman κατά FAO-24 δίνει αυξημένες τιμές εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς σε σχέση με αυτά της μεθόδου Penman-Monteith κατά FAO-56 σε ποσοστά που μπορεί να υπερβούν το 30% σε μηνιαία βάση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τις αυξημένες τιμές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής για τις διάφορες καλλιέργειες από 25 - 32 % για την περίοδο Απριλίου - Σεπτεμβρίου. Αντίστοιχες είναι οι διαφορές για την περίοδο αιχμής (Ιούλιο).

Η τροποποιημένη μέθοδος Penman κατά FAO-24 με προσαρμοσμένους στις Ελληνικές συνθήκες φυτικούς συντελεστές δίνει παραπλήσια αποτελέσματα με αυτά της μεθόδου FAO-56 τόσο σε επίπεδο καλλιεργητικής περιόδου όσο και κατά το μήνα αιχμής. Έτσι οι δύο αυτές μέθοδοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ικανοποιητική εκτίμηση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών τουλάχιστο για τις περιοχές της Θεσσαλίας.

Είναι όμως αναγκαίο να γίνει έρευνα και σύγκριση των μεθόδων και σε άλλες περιοχές για την αξιοποίηση των μεθόδων στις Ελληνικές συνθήκες.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αλεξίου, Ι., Καρφούντζος, Δ. και Ζέρβα-Καπετανάκη Γ., 1994, Εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής με τις μεθόδους της ακτινοβολίας, των Blaney Criddle και Penman. *Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Υδρογεωλογικού Συνεδρίου ΕΕΥ*, Πάτρα, Β, 467-476.
2. Αλεξίου, Ι., Κωτσόπουλος, Σ. Ι., Καρφούντζος, Δ. και Βύρλας, Π., 2000, Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής μέσω συναρτήσεων διαθεσιμότητας της εδαφικής υγρασίας. *Πρακτικά 8<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ*, Αθήνα, 493 - 500.
3. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998, Crop Evapotranspiration : Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No 56*, FAO, Rome.
4. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977, Crop Water Requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No 24*, FAO, Rome.
5. Doorenbos, J. and Kassam, A. H., 1979, Yield Response to Water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No 33*, FAO, Rome.
6. Καρφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ. Ι., Αλεξίου, Ι., Καραμαλιγκας Χ. και Βύρλας, Π., 2000, Σχέσεις νερού και παραγωγής καλαμποκιού σε περιοχές της Θεσσαλίας. *Πρακτικά 8<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ*, Αθήνα, 485-492.
7. Κωτσόπουλος, Σ. Ι., 1995, Βελτιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής σε σχέση με την κατανομή του νερού κατά την αρδευτική περίοδο. *Υδροτεχνικά*, 5, 3-16.
8. Kotsopoulos, S. and Babajimopoulos C., (1997). Analytical estimation of modified Penman equation parameters. *J. Irrig. and Drain. Engng.*, ASCE 123 (4), 253 - 256.
9. Κωτσόπουλος, Σ. Ι., Αλεξίου, Ι., Καρφούντζος, Δ. και Βύρλας, Π., 1999, Σχέσεις νερού και παραγωγής βαμβακιού σε περιοχές της Θεσσαλίας. *Πρακτικά 4<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ : 'Διαχείριση Υδατικών Πόρων στις Ευαίσθητες Περιοχές του Ελλαδικού Χώρου'*, Βόλος, 177-182.

10. Πανώρας Α. και Μαυρουδής Ι., 1995, Μέσες ανάγκες σε νερό των εαρινών καλλιεργειών της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουδία. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*. Τόμος 6 (1) : 53-61.
11. Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ., 1984. Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
12. Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ., 1991, Φυτικοί συντελεστές καλλιεργειών (προσαρμοσμένοι στις Ελληνικές συνθήκες) από το Ερευνητικό Πρόγραμμα : Πειραματική εφαρμογή νεωτέρων μεθόδων άρδευσης, Υπουργείο Γεωργίας.
13. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 1996, Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου, *Υδροτεχνικά*, 6, 62-77.
14. Tsakiris G., 1988, Daily potential evapotranspiration modelling, *Agric. Water Manage.* 13 : 393-402.

# **ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΑΛΑΚΤΗ ΚΑΙ ΣΤΑΛΑΚΤΗΦΟΡΟΥ ΣΩΛΗΝΑ**

**Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος, Δ. Λόης**

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας  
Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών  
Δημοκρατίας 61, 135 61 Άγ. Ανάργυροι Αττικής

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα εργασία ανασκοπούνται συνοπτικά οι διεθνείς προδιαγραφές και εργαστηριακές πρακτικές ποιοτικού ελέγχου σταλακτηφόρων σωλήνων και σταλακτών. Παρουσιάζονται επίσης λεπτομερώς ο σχεδιασμός και οι δυνατότητες του συστήματος με το οποίο διενεργούνται στο Ι.Γ.Ε.Μ.Κ. οι εργαστηριακοί έλεγχοι για την απόδειξη της συμμόρφωσης με το διεθνώς αποδεκτό ελάχιστο επίπεδο ποιότητας, και την κατάταξη των προϊόντων σε κατηγορίες υποδηλούσες συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και συμπεριφορές. Τέλος διατυπώνονται προτάσεις για τη συμπλήρωση του ποιοτικού ελέγχου με πρόσθετες δοκιμές .

## **DEVELOPMENT OF A MEASURING SYSTEM FOR TESTING OF EMITTERS AND EMITTING PIPES**

**A. Papayiannopoulou, G. Parissopoulos, D. Lois**

National Agricultural Research Foundation  
Institute of Agricultural Machinery and Constructions  
61 Democratias str., 135 61 Aghii Anargiri Attikis, Greece

## **SUMMARY**

In the present study the international standards and the laboratories' practices for the quality control of emitters and emitting pipes are briefly reviewed. The development of a fully automatic measuring system for testing of emitters and emitting pipes designed by I.A.M.C. is also provided. Finally suggestions are made towards a more complete set of quality control tests concerning the above mentioned irrigation equipment.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επέκταση της στάγδην άρδευσης (αποτέλεσμα της αναγκαιότητας εξοικονόμησης ενέργειας και υδατικών πόρων) και οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για τον καθορισμό του αποδεκτού επιπέδου ποιότητας οδήγησαν τη τελευταία δεκαετία στην εκπόνηση διεθνών προδιαγραφών για την ποιοτική κατάταξη των σταλακτών και των σταλακτηφόρων σωλήνων. Οι προδιαγραφές αυτές δεν έτυχαν πλήρους και γενικής αποδοχής και για το λόγο αυτό συμπληρώθηκαν από τα σημαντικά κέντρα δοκιμών και έρευνας με “καλές εργαστηριακές πρακτικές” που βρίσκονται σε αρχικό στάδιο τυποποίησης.

Σήμερα η ποιοτική κατάταξη των σταλακτών και σταλακτηφόρων σωλήνων γίνεται σε ευρωπαϊκό επίπεδο βάσει των πρότυπων ISO 9260/91 [1], ISO 9261/91 [2], ISO 8779/92 [3] και των ειδικών οδηγιών υλοποίησης εργαστηριακών δοκιμών που αφορούν:

“Καθορισμό του μέγιστου επιτρεπτού μήκους γραμμής σταλακτηφόρου σωλήνα σε έδαφος επίπεδο, ανωφερές και κατωφερές” [4] [5],

“Φυσική έμφραξη των σταλακτών από μικροαντικείμενα συγκεκριμένων διαστάσεων ορυκτής προέλευσης” [5].

Οι οδηγίες αυτές που εφαρμόζονται σήμερα και από το Ι.Γ.Ε.Μ.Κ. εκπονήθηκαν μετά από επισταμένη έρευνα από το Εθνικό Κέντρο Γεωργικής Μηχανικής, Εγγείων Βελτιώσεων, Υδάτων και Δασών CEMAGREF (Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts), της Γαλλίας [5].

## 2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Για την τήρηση των απαιτούμενων από τα πρότυπα και τις οδηγίες ακριβειών κατά τις δοκιμές και τη διενέργεια αυτών σε εύλογο χρόνο κατέστη επιτακτική ανάγκη η ανάπτυξη συστήματος δυναμένου να επιτρέπει και να ελέγχει αυτόματα όλες τις παραμέτρους που δύνανται να τις επηρεάσουν. Το σύστημα που αναπτύχθηκε χρησιμοποιείται για όλες τις δοκιμές που προβλέπονται και αποτελείται βασικά από τα δύο παρακάτω μέρη:

### 2.1 Ειδική διάταξη δοκιμής

Αποτελείται από:

α) Θερμοδοχείο δυνάμενο να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας με ακρίβεια 0,3 °C,

β) Αντλία φυγόκεντρο με αντίστοιχο ηλεκτροκινητήρα και αναρρόφηση από εύκαμπτο πλαστικό σωλήνα που καταλήγει στο θερμοδοχείο. Η κατάθλιψη της αντλίας είναι μεταλλική με παράκαμψη και ρυθμιστή πίεσης και συνδέεται με φίλτρο με ορειχάλκινη κεφαλή και ανοξειδωτο κάδο με πλέγματα (σίτες) 80 μm, 100 μm, 120 μm και 150 μm. Μετά την έξοδο από το φίλτρο η κατάθλιψη φέρει λήψη και Ταυ επί του οποίου είναι τοποθετημένος ένας αισθητήρας θερμοκρασίας με έξοδο 4-20 mA, ακρίβειας 0,2% της πλήρους κλίμακας (F.S.). Ο τυφλός κλάδος του Ταυ αποτελεί την πηγή τροφοδοσίας στην περίπτωση της δοκιμής καθορισμού του μήκους γραμμής. Η κατάθλιψη καταλήγει σε συλλέκτη από τον οποίο ξεκινούν 5 γραμμές από σιδηροσωλήνα γαλβανιζέ,

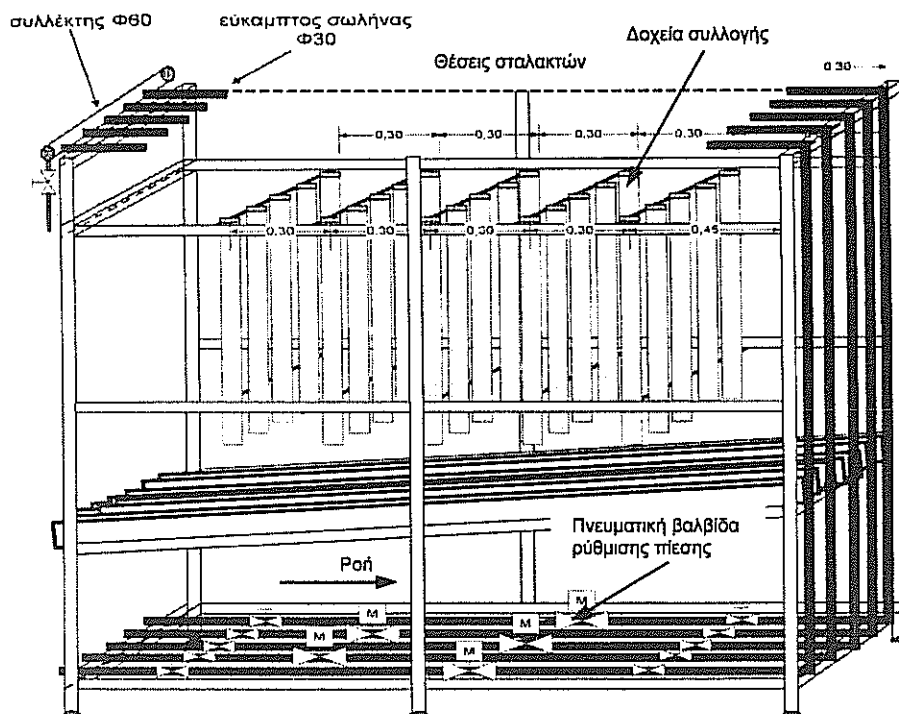
γ) Μεταλλικό πλαίσιο από κοιλοδοκούς αποτελούμενο από τέσσερα πατάρια.

Στο κάτω πατάρι σε ύψος 10 cm περίπου από το έδαφος, οδεύουν οι 5 γραμμές σε αποστάσεις 33 cm αξονικά μεταξύ τους. Εκάστη γραμμή φέρει πνευματική βαλβίδα ρύθμισης πίεσης με διακόπτη απομόνωσης πριν και μετά και παράκαμψη.

Στη συνέχεια οι γραμμές ανεβαίνουν κατά τη διάσταση του ύψους στο τέταρτο πατάρι της κατασκευής απέχουσες αξονικά απόσταση 33 cm. Στην αρχή εκάστης γραμμής στο πάνω πατάρι είναι τοποθετημένος αισθητήρας πίεσης 0 – 6 bar, 4-20 mA, ακριβείας 0,25% F.S. ο οποίος είναι συνδεδεμένος με Η/Υ και με τη μονάδα ελέγχου (controller) της αντίστοιχης πνευματικής βαλβίδας. Σε απόσταση 15 cm από τον αισθητήρα και 25 cm από το πέρας είναι τοποθετημένοι ταχυσύνδεσμοι μεταξύ των οποίων προσαρμόζονται οι σταλάκτες. Οι γραμμές καταλήγουν σε συλλέκτη και οδηγούνται μέσω σωλήνα με βάνα πίσω στο θερμοδοχείο. Υπάρχει επίσης δυνατότητα απομόνωσης των γραμμών οπότε περατώνονται με φραγή του τελευταίου σταλάκτη.

Στο τρίτο πατάρι είναι αναρτημένοι επί πέντε σειρών αξονικά αντιστοιχών προς τις 5 γραμμές προσαγωγής του νερού σωλήνες από ανοξείδωτο χάλυβα εσωτερικής διαμέτρου 76 mm και ύψους 80 cm (ολική χωρητικότητα 3,6 lit) για τη συλλογή του νερού. Στον πυθμένα εκάστου εκ των σωλήνων αυτών, υπάρχει αισθητήρας πίεσης 0-100 mbar, 4-20 mA, ακριβείας 0,25% F.S. η έξοδος του οποίου οδηγείται στον Η/Υ και διακόπτης εκκένωσης ηλεκτρομαγνητικός ο χειρισμός του οποίου γίνεται ταυτόχρονα αυτόματα ή χειροκίνητα μέσω του Η/Υ.

Στο δεύτερο πατάρι οδεύουν πέντε τραπεζοειδούς διατομής ελάσματα τα οποία είναι στερεωμένα στο πλαίσιο υπό κλίση και χρησιμοποιούνται για την επιστροφή του νερού δια της βαρύτητας σε δοχείο συλλογής και μέσω αντλίας στο θερμοδοχείο. Όλοι οι σωλήνες μεταφοράς νερού είναι εξωτερικά μονωμένοι. Σχηματική παράσταση της ως άνω περιγραφείσης διάταξης φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Αξονομετρική παράσταση ειδικής διάταξης πλαισίου συστήματος



## 2.2 Σύστημα συλλογής, καταγραφής και επεξεργασίας μετρήσεων

Περιλαμβάνει τους παρακάτω αισθητήρες :

- 1) Δύο αναλογικούς αισθητήρες θερμοκρασίας 0 – 100 °C, με έξοδο 4-20 mA, ακριβείας 0,2% F.S. για τη μέτρηση της θερμοκρασίας νερού (ένας εφεδρικός) [6],
- 2) Είκοσι έξι αναλογικούς αισθητήρες πίεσης 0 – 100 mbar, με έξοδο 4-20 mA, ακριβείας 0,25% F.S. για τη μέτρηση του ύψους στήλης νερού (ένας εφεδρικός) [6],
- 3) Επτά αναλογικούς αισθητήρες πίεσης 0 – 6 bar, με έξοδο 4-20 mA, ακριβείας 0,25% F.S. για τη μέτρηση της πίεσης εκάστης γραμμής (δύο εφεδρικοί) [6].

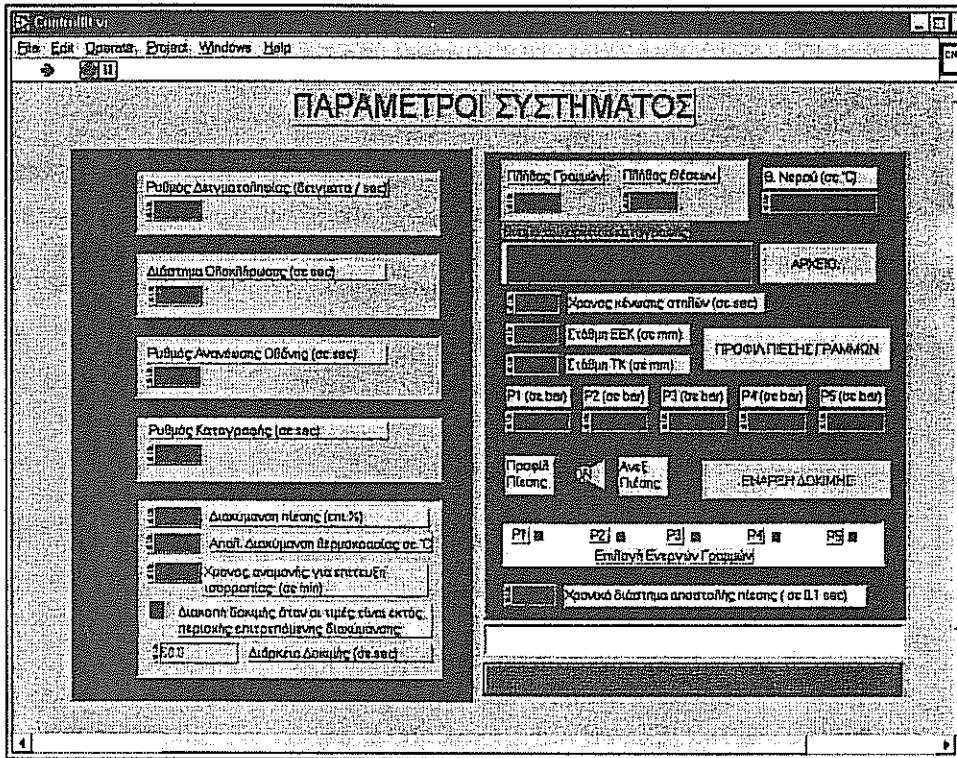
Το σύστημα συλλογής και επεξεργασίας μετρήσεων έχει τη δυνατότητα ελέγχου και συλλογής δεδομένων από 32 αναλογικές εισόδους για σήμα 4-20 mA [6]. Κάθε είσοδος δεν προορίζεται για συγκεκριμένο αισθητήρα ή όργανο αλλά για συγκεκριμένη έξοδο αναλογικού σήματος και μπορεί να προγραμματίζεται είτε απ' ευθείας είτε με επιλογή προϋπάρχοντος αρχείου για τη χρήση συγκεκριμένου οργάνου ή αισθητήρα.

Η συλλογή γίνεται μέσω ειδικής εξωτερικής διάταξης με στεγανές συνδέσεις και καλώδια που επιτρέπει εύκολη και ασφαλή σύνδεση των οργάνων και αισθητήρων. Οι μετρήσεις καταγράφονται και υφίστανται μερική επεξεργασία από H/Y PC PENTIUM II 300 MHz με λογισμικό Lab View και στη συνέχεια οδηγούνται για τελική επεξεργασία στο EXCEL.

Το λογισμικό σύστημα έχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- α) Επιλογής ρυθμού δειγματοληψίας (0-200 μετρήσεις/s), ρυθμού καταγραφής (0-10 s), χρόνου ολοκλήρωσης (0-5 s σε βήματα 0.1 s), χρόνου ανανέωσης οθόνης (0-5 s σε βήματα 0.1 s)
- β) Επιλογής λειτουργίας αριθμού γραμμής (1-5)
- γ) Λειτουργίας άνευ καταγραφής και παρακολούθησης ύψους στήλης σωλήνων νερού
- δ) Καταχώρησης ορίων θερμοκρασίας
- ε) Επιλογής χρόνου / σειράς χρόνων δοκιμής από 0-4000 sec σε βήματα 1 s
- ς) Επιλογής και ρύθμισης διαφορετικής πίεσης/σειράς πιέσεων λειτουργίας για εκάστη εκ των 5 γραμμών. Η σειρά των χρόνων δοκιμής αντιστοιχεί στη σειρά των πιέσεων δοκιμής
- η) Επιλογής διακύμανσης της πίεσης %
- θ) Επιλογής χρόνου αναμονής για επίτευξη ισορροπίας
- ι) Επιλογής κατώτερης στάθμης σωλήνα ως αναφορά για έναρξη καταγραφής
- κ) Επιλογής μέγιστης στάθμης σωλήνα. Όταν η στάθμη αυτή επιτευχθεί σε οποιοδήποτε σωλήνα το λογισμικό διακόπτει τη δοκιμή καταγράφοντας τις τιμές
- λ) Παρακολούθησης πιέσεων γραμμής (5 έξοδοι)
- μ) Διακοπής της δοκιμής αν κατά τη διάρκεια αυτής η πίεση υπερβεί τα προκαθορισμένα όρια με ταυτόχρονη καταγραφή των παραμέτρων
- ν) Καταγραφής ύψους στήλης και λοιπών παραμέτρων μετά το πέρας του προκαθορισμένου χρόνου δοκιμής
- ξ) Επιλογής χρόνου εκκένωσης των σωλήνων. Αν έχουν επιλεγεί σειρά χρόνων /σειρά πιέσεων δοκιμής το σύστημα μετά το πέρας κάθε χρόνου ή μετά το πέρας της περίπτωσης μ ή κ εκκενώνει τους σωλήνες συλλογής νερού και να επαναλαμβάνει τον κύκλο.

Οθόνη με ενδεικτικές δυνατότητες του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Ενδεικτική οθόνη συστήματος

Το σύστημα επεξεργασίας μετρήσεων έχει τις παρακάτω επιλογές:  
 α) Ανεξάρτητες πιέσεις. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα μετρήσεων δίνει ως έξοδο τις εξής παραμέτρους :

- Πίεση δοκιμής
- Ονομαστική παροχή σταλάκτη  $q_n$  (εισάγεται με πληκτρολόγηση)
- Χρόνο δοκιμής
- Αριθμό σταλάκτη (αριθμός σωλήνα) από 1 ως 25
- Ύψος στήλης σε mmΣΥ με αφετηρία το μηδέν του χρόνου
- Παροχή σταλάκτη σε lit/h
- Διάταξη των σταλακτών κατά αύξουσα τάξη της παροχής
- Ελάχιστη παροχή δείγματος
- Μέγιστη παροχή δείγματος
- Μέση παροχή δείγματος  $q_m$
- Correlation coefficient
- Απόκλιση μέσης από την ονομαστική παροχή %
- Τυπική απόκλιση των παροχών του δείγματος
- Συντελεστή παραλλακτικότητας της παροχής του δείγματος %
- Κατάταξη του σταλάκτη σε κατηγορία Α ή Β

β) Σειρά πιέσεων. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα μετρήσεων δίνει ως έξοδο τις εξής παραμέτρους :

- Χρόνο δοκιμής σε κάθε πίεση
- Αριθμό σταλάκτη (εισάγεται με πληκτρολόγηση)
- Στήλη με τις πιέσεις δοκιμής
- Στήλη με τις αντίστοιχες σε κάθε πίεση μέσες παροχές σε lit/h
- Στήλες με την αντίστοιχη σε κάθε πίεση παροχή σταλάκτη σε lit/h
- Προσδιορισμό της εκθετικής συνάρτησης του σταλάκτη  $Q=kH^x$  [1] [2] από τα ζεύγη των τιμών παροχής-πίεσης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων [6], με ταυτόχρονο υπολογισμό διαφόρων στατιστικών παραμέτρων.
- Σχεδιασμό της καμπύλης Παροχής-Πίεσης σε δεκαδική και λογαριθμική κλίμακα

γ) Καθορισμός μέγιστου επιτρεπόμενου μήκους γραμμής. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα μετρήσεων καταγράφει τιμές παροχής - διαφοράς πίεσης για συγκεκριμένο μήκος γραμμής L (εισάγεται από το πληκτρολόγιο) τοποθετημένης άνευ κλίσεως που φέρει σταλάκτες αλλά δεν παροχετεύει καθ' οδόν και έχει εκροή στο άκρο της από αναλογικές εξόδους υδρομετρητή και διαφορικού μανομέτρου. Καταγράφονται επίσης τιμές θερμοκρασίας και πίεσης εισόδου από αναλογική έξοδο αισθητήρων θερμοκρασίας και πίεσης. Αν κατά τη διάρκεια της δοκιμής η θερμοκρασία και η πίεση υπερβούν τα προκαθορισμένα όρια γίνεται άμεση επισήμανση.

Από τα ζεύγη τιμών παροχής-διαφοράς πίεσης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προσδιορίζεται η σχέση :

$$\Delta H_r = \alpha L Q^\beta \quad [5]$$

με ταυτόχρονο υπολογισμό των ίδιων στατιστικών παραμέτρων της επιλογής (β).

Στη συνέχεια η παραπάνω γραμμή προσομοιάζεται με γραμμή που παροχετεύει καθ' οδόν και δεν έχει εκροή στο άκρο της με τη σχέση :

$$\Delta H_r = \alpha F L Q^\beta \quad [5]$$

και υπολογίζεται ο συντελεστής

$$F = \frac{1}{n^{1+\beta}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} i^\beta$$

όπου n είναι ο αριθμός των σταλακτών για  $n = 20 \dots 400$ . Από κάποιο αριθμό n και πάνω ο συντελεστής F παραμένει περίπου σταθερός.

Από τη σχέση  $\Delta H = \alpha Q^\beta L F$  με αντικατάσταση των τιμών  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $F$ ,  $Q=q_n \cdot n$  και για συγκεκριμένο  $\Delta H$  (μέγιστο  $6m$  Σ.Υ. [5]) βρίσκεται η μέγιστη τιμή του L. Για διάφορες τιμές του μήκους  $L < L_{max}$  χαράσσεται η καμπύλη πτώσης πίεσης - μήκους γραμμής σε δεκαδικούς άξονες.

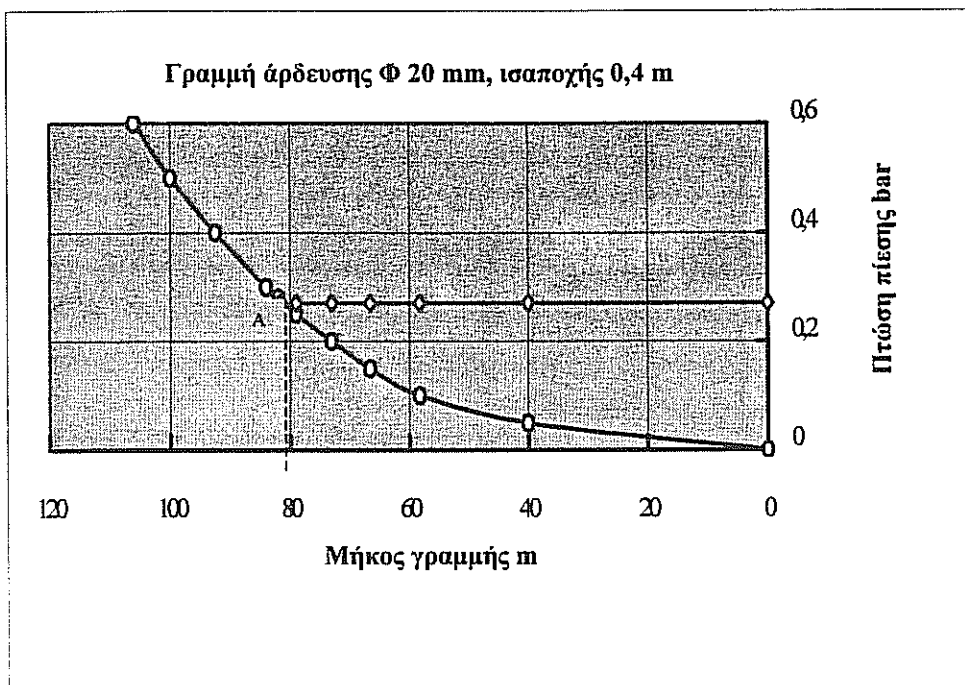
Με παραγωγή της σχέσης  $Q=kH^x$  λαμβάνεται η:

$$\frac{\Delta q}{q} = x \cdot \frac{\Delta H}{H}$$

Για τιμές μεταβολής της παροχής επιλεγόμενες από το χρήστη και τιμές των H και x που προσδιορίστηκαν στην επιλογή (β) υπολογίζεται το επιτρεπτό  $\Delta H_{max}$  του σταλάκτη. Ως παραδεκτή μεταβολή της παροχής του σταλάκτη λαμβάνεται συνήθως η  $\Delta q = 0,1q_n$ , όπου  $q_n$  είναι η ονομαστική του παροχή [7].

Στην καμπύλη πτώσης πίεσης - μήκους γραμμής και παράλληλα προς τον άξονα των μηκών x χαράσσεται ευθεία σε ύψος  $\Delta H_{max}$  που τέμνει την καμπύλη σε ένα σημείο A.

Η προβολή του σημείου Α στον άξονα των μηκών ορίζει το μήκος της γραμμής και με επιλογή και της ισαποχής τον αριθμό των σταλακτών (σχήμα 3).



Σχήμα 3. Καθορισμός μέγιστου μήκους γραμμής σταλακτηφόρου σωλήνα

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο καθορισμός του αποδεκτού επιπέδου ποιότητας στους σταλάκτες και σταλακτηφόρους σωλήνες καθιέρωσε τη διενέργεια ελέγχων και δοκιμών για την απόδειξη της συμμόρφωσής τους με προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στους τομείς των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και της πληροφορικής σε συνδυασμό με το μέγεθος και τις ανάγκες των ελληνικών εταιρειών που παράγουν υλικά για στάγδην άρδευση και αναπτύσσουν σχετική τεχνολογία κατέστησαν αναγκαίο το σχεδιασμό ενός πλήρως αυτοματοποιημένου μετρητικού συστήματος δυναμένου να επιτρέπει και να ελέγχει όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις δοκιμές με την απαιτούμενη από τις προδιαγραφές ακρίβεια.

Το σύστημα ικανοποιεί τις διεθνείς απαιτήσεις για τη διασφάλιση της ορθής μέτρησης των φυσικών μεγεθών θερμοκρασίας, πίεσης και χρόνου και αξιοποιεί πλήρως τις δυνατότητες ελέγχου πίεσης γραμμής μέσω ηλεκτροπνευματικών μετατροπέων. Το λογισμικό του συστήματος χρησιμοποιεί προγράμματα του εμπορίου που επιτρέπουν την άμεση και πλήρη επεξεργασία των μετρήσεων.

Η διάταξη επιτρέπει την ανάλυση της ευαισθησίας των σταλακτών στις μεταβολές της θερμοκρασίας, πίεσης καθώς και των χαρακτηριστικών του χρησιμοποιούμενου νερού (έμφραξη λόγω αιωρούμενων φερτών υλικών).

Η επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του σταλάκτη θα αποτελέσει αντικείμενο αναλυτικής διερεύνησης από πλευράς του Ι.Γ.Ε.Μ.Κ. με τη χρήση του συστήματος που υλοποιήθηκε για τη συμπλήρωση των απαιτήσεων του ποιοτικού ελέγχου.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. ISO. 1991. ISO 9260 "Agricultural irrigation equipment – Emitters – Specification and tests methods". ISO editions. Switzerland.
2. ISO. 1991. ISO 9261 "Agricultural irrigation equipment – Emitting-pipe systems – Specification and tests methods". ISO editions. Switzerland.
3. ISO. 1992. ISO 8779 "Polyethylene (PE) pipes for irrigation laterals – Specification". ISO editions. Switzerland.
4. Παπαγιαννοπούλου, Α., Παρισόπουλος, Γ., Σουβατζής, Γ., 1995. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και έλεγχοι σταλακτηφόρων σωλήνων. Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης. Θεσσαλονίκη. 517-524.
5. CEMAGREF. 1987. Bulletin d'essais N° 63 – Compte rendu d'essais et étude de dimensionnement de la rampe Eurodrip de 20 mm. CEMAGREF éditions. Aix-en-Provence.
6. Figliola. R., Beasley. D., 1995. Theory and design for mechanical measurements. John Wiley & Sons, Inc., USA.
7. Παπαζαφειρίου, Ζ., 1977. Σχεδίαση και υπολογισμός αρδευτικών συστημάτων με σταλακτήρες. Υπουργείο Γεωργίας, Υπηρεσία Γεωργικών Ερευνών, Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων. Αθήνα.

## ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

**Π. Ντιούδης\***, **Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη\***, **Ν. Μασλάρης\*\*** ,  
**Γ. Νούσιος\*\***.

\* Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Πεδίον Άρεως (38334), Βόλος.

\*\* Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης, Σίνδος (57400), Θεσσαλονίκη.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης διαφορετικών διατάξεων σταλακτηφόρων σωλήνων και σταλακτιών τόσο στην κατανομή της εδαφικής υγρασίας όσο και στην παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαρότευτλων. Η τοποθέτηση των σταλακτηφόρων έγινε ανά 1 και 1.5m, των δε σταλακτιών ανά 0.5 και 0.75m μεταξύ τους. Εγιναν τέσσερις επεμβάσεις και έξι επαναλήψεις. Από τα πειράματα φάνηκε ότι στις μεταχειρίσεις στις οποίες οι σειρές των ζαχαρότευτλων δεν εφάπτονται με σταλακτηφόρους, η παραγωγή ήταν αυξημένη. Ωστόσο από την στατιστική ανάλυση φάνηκε ότι μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων, δεν προέκυψαν στις αποδόσεις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

## LATTERAL ARRANGEMENTS IN SUGAR BEET DRIP IRRIGATION

**P. Ntioudis\***, **M. Sakellariou-Makrantonaki\***, **N. Maslaris\*\*** ,  
**G. Nousios\*\***.

\* University of Thessaly, Agriculture Dep., Pedion Areos (38334), Volos.

\*\* Hellenic Sugar Industry, Sindos, (57400), Thessaloniki.

### ABSTRACT

Drip irrigation effect on sugar beet yield components and soil moisture distribution was the aim of this study. Laterals were set at distances of 1 and 1.5m, whereas drippers were set 0.5 and 0.75m apart within laterals. There were four treatments and six replications. Data concerning sugar beet yield indicated that it was higher in the treatments where the plant rows were not in contact with the laterals. Considering all the treatments, it was noted that sugar beet yield was not affected by the irrigation arrangements.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άρδευση των ζαχαρότευτλων έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών δεδομένου ότι εκτός άλλων, επηρεάζει κρίσιμα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Μολονότι τα ζαχαρότευτλα θεωρούνται από τα πιο ανθεκτικά φυτά στην ξηρασία [3], εν τούτοις σε επίπεδα ανταγωνιστικών αποδόσεων, η έλλειψη εδαφικής υγρασίας μειώνει σημαντικά την παραγωγική ικανότητα και την οικονομική απόδοση της καλλιέργειας. Έτσι κατά κανόνα συνιστάται άρδευση. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές εργασίες οι οποίες αναφέρονται στην επίδραση της άρδευσης στα ζαχαρότευτλα, κυρίως όμως αφορούν άρδευση με καταιονισμό ή άλλα συστήματα. Η άρδευση των ζαχαρότευτλων με σταγόνες βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο, χωρίς να έχουν ακόμη αναφερθεί επίσημα δεδομένα. Οι Hang and Miller [4], προσδιόρισαν την επίδραση της έλλειψης νερού στο ζαχαρικό τίτλο, στο βάρος ριζών και στην απόδοση ξηρής ουσίας σε ένα πηλοαμμώδες και ένα αμμώδες έδαφος και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπό καθεστώς περιορισμένης άρδευσης παρατηρείται αύξηση του ζαχαρικού τίτλου και ελάττωση της ξηράς ουσίας. Οι Amaducci et al. [1], μελέτησαν την επίδραση της άρδευσης με καταιονισμό στα ζαχαρότευτλα στη νότια και βόρεια Ιταλία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, η άρδευση μείωσε τον ζαχαρικό τίτλο και αύξησε την παραγωγή ριζών με αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής παραγωγής ζάχαρης. Σχετικά με την κατανομή της υγρασίας στο έδαφος κατά την άρδευση με σταγόνες, έχει παρατηρηθεί ότι η μεγαλύτερη επιφάνεια υγράνσεως εμφανίζεται σε οριζόντια τομή σε βάθος 30 cm περίπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους [6]. Σε κατακόρυφη τομή έχει διαπιστωθεί ότι σε καλά προετοιμασμένο λεπτό έδαφος επικρατούν περισσότερο οι τριχοειδείς δυνάμεις και το μέτωπο της υγρής ζώνης ακριβώς κάτω από το σταλακτήρα πλησιάζει το σχήμα ημισφαιρίου. Εάν το έδαφος δεν είναι καλά προετοιμασμένο και περιέχει μεγάλα συσσωματώματα, υπερισχύει μάλλον η δύναμη της βαρύτητας και το σχήμα του υγρού μετώπου γίνεται απιοειδές. Σε χονδρόκοκκα εδάφη είναι έντονη η επίδραση της βαρύτητας και υπερισχύει η κατακόρυφη κίνηση της υγρασίας, ενώ η ύπαρξη αδιαπέρατης στρώσης ενισχύει την πλευρική κίνηση. Η κατανομή της υγρασίας μέσα στο έδαφος κάτω από μία πηγή στάγδην άρδευσης έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας τόσο πειραματικής στο εργαστήριο, όσο και θεωρητικής [2], [9]. Οι Hills et al [5], κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι άρδευση πρέπει να γίνεται όταν η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους εξαντληθεί σε ποσοστό 60% μέχρι βάθος 90 cm.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης διαφορετικών διατάξεων σταλακτηφόρων σωλήνων και σταλακτιών νερού στην κατανομή της εδαφικής υγρασίας και στην παραγωγική συμπεριφορά ζαχαρότευτλων (βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη και κρυσταλική ζάχαρη), σε αντιπροσωπευτικό αγρό της περιοχής Ματαράγκας Καρδίτσας. Η μελέτη αυτή έγινε σε συνεργασία με την Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης κατά την αρδευτική περίοδο 1999 και αποτελεί συνέχεια παρόμοιας έρευνας η οποία είχε γίνει σε πειραματικό αγρό της περιοχής Λάρισας κατά την αρδευτική περίοδο 1997 [7], και σε πειραματικό αγρό της περιοχής Λεύκης Καρδίτσας κατά την αρδευτική περίοδο 1998 [8].

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το αρδευτικό δίκτυο αποτελείτο από τον κύριο αγωγό μεταφοράς με φορητούς χαλυβδοσωλήνες Φ108, τους δευτερεύοντες αγωγούς από PE Φ40 στις 6 atm και τους σταλακτηφόρους σωλήνες από PE Φ20 με ενσωματωμένους απλούς σταλακτήρες

Eurodrip GR. Οι σταλακτήρες αυτοί διαθέτουν βαθύ λαβύρινθο μαιανδρικής διαδρομής, ώστε να εξασφαλίζουν την τυρβώδη ροή του νερού και την ελάχιστη ευαισθησία στις εμφράξεις. Η παροχή εκάστου ήταν 4.7 l/h σε πίεση λειτουργίας 1.6 atm. Από μετρήσεις της παροχής των σταλακτιών διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις της ήταν μέσα στα επιτρεπτά από τον κατασκευαστή όρια [7]. Η άντληση του νερού (50 m<sup>3</sup>/h) γινόταν με αντλητικό συγκρότημα 50 HP από βάθος 50 m. Στην κεφαλή του πειραματικού αγρού υπήρχε υδροκυκλωνικό φίλτρο σίτας 120 mesh με τα ανάλογα εξαρτήματα. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο υπήρχαν ρυθμιστές πίεσης 1.6 atm. Οι μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας έγιναν με τη μέθοδο TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία είναι μία μη ραδιενεργός μέθοδος, γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους. Η συσκευή TDR του οίκου ESI που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, έχει τη δυνατότητα να δίδει το προφίλ της εδαφικής υγρασίας σε βάθη από 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm, εξασφαλίζοντας καλή ακρίβεια μετρήσεων, αφού ο αισθητήρας βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το έδαφος. Συγκεκριμένα ένα σύστημα TDR μετρά τον χρόνο που απαιτείται για να διατρέξει και να επιστρέψει στο σημείο εκπομπής του ένας υψηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικός παλμός, ο οποίος διαβιβάζεται σε μεταλλικούς αγωγούς που είναι βυθισμένοι και σε επαφή με το υπό μέτρηση έδαφος. Ο χρόνος αυτός (της τάξεως των ns) εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά του δείγματος, δηλαδή του εδάφους. Έτσι το σύστημα υπολογίζει άμεσα την διηλεκτρική σταθερά και μέσω αυτής την ογκομετρική περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό.

### 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε αντιπροσωπευτικό αγρό της περιοχής Μатарάγκας Καρδίτσας. Μελετήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί διατάξεων συστήματος άρδευσης με σταγόνες, παρακολούθηθηκε ο όγκος διαβροχής του εδάφους και αξιολογήθηκαν οι συνέπειες στη παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαρότευτλων (βάρος ριζών, ζαχαρικός τίτλος, ακατέργαστη και κρυσταλλική ζάχαρη). Σε κάθε συνδυασμό διατάξεων σταλακτηφόρων σωλήνων και σταλακτιών (επέμβαση) εφαρμόστηκε ίση ποσότητα νερού, σε διαφορετικούς χρόνους λειτουργίας του συστήματος. Η διάταξη των επεμβάσεων δίδεται στον Πίνακα 1. Το πειραματικό σχέδιο ήταν παραγοντικό 2X2 με 6 επαναλήψεις. Τα επίπεδα του πρώτου παράγοντα ήταν η ισοποχή μεταξύ των σταλακτηφόρων σωλήνων και τα επίπεδα του δεύτερου παράγοντα ήταν η επί του σταλακτηφόρου σωλήνα αποστάσεις των σταλακτιών (Σχήμα 1, Πίνακας 1). Κάθε πειραματικό τεμάχιο ( π.τ. ) είχε πλάτος 8 m (κάθετα στις γραμμές σποράς,) και μήκος 10 m (παράλληλα στις γραμμές σποράς). Η απόσταση μεταξύ των γραμμών των ζαχαρότευτλων ήταν 0.50m. Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισοδιαπνοή τύπου A (Evaporation pan type A), με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση. Οι αρδεύσεις επαναλαμβάνονταν κάθε 3-4 ημέρες, για να διατηρείται συνεχώς η υγρασία του εδάφους κοντά στην τιμή της υδατοϊκανότητάς του. Έγιναν μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους στις 23/7/99 μια ημέρα μετά την άρδευση. Το βάθος των μετρήσεων ήταν 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm. Οι μετρήσεις έγιναν σε σημεία επί των σταλακτηφόρων σωλήνων, επί των γραμμών των ζαχαρότευτλων και ανάμεσα από αυτές όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

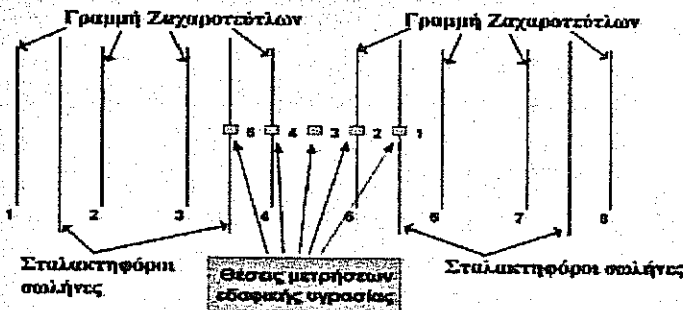


**ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Διάταξη επεμβάσεων**

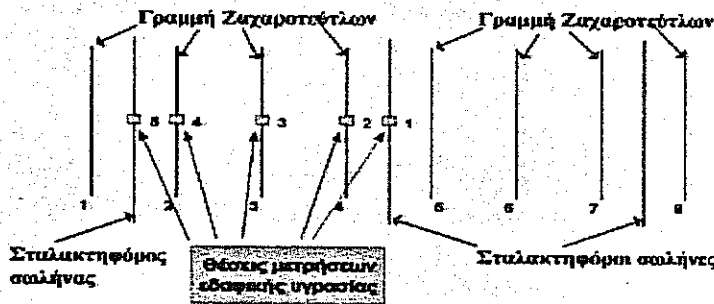
Διάταξη άρδευσης	Απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων St (m)	Απόσταση μεταξύ σταλακτιών Sr (m)	Σταλακτιές ανά στρέμμα	Ωριαίο ύψος νερού Idh * mm/ώρα
A	1	0.50	2000	7.6
B	1	0.75	1333	5.07
Γ	1.5	0.50	1333	5.07
Δ	1.5	0.75	889	3.38

\*  $Idh = \frac{q}{St \times Sr}$     q=παροχή σταλακτιών lit/ώρα, St x Sr = διάταξη σταλακτιών

**ΕΠΕΜΒΑΣΗ: Σταλακτηφόροι ανά 1 m. Πειραματικά τεμάχια των Α και Β επεμβάσεων.**



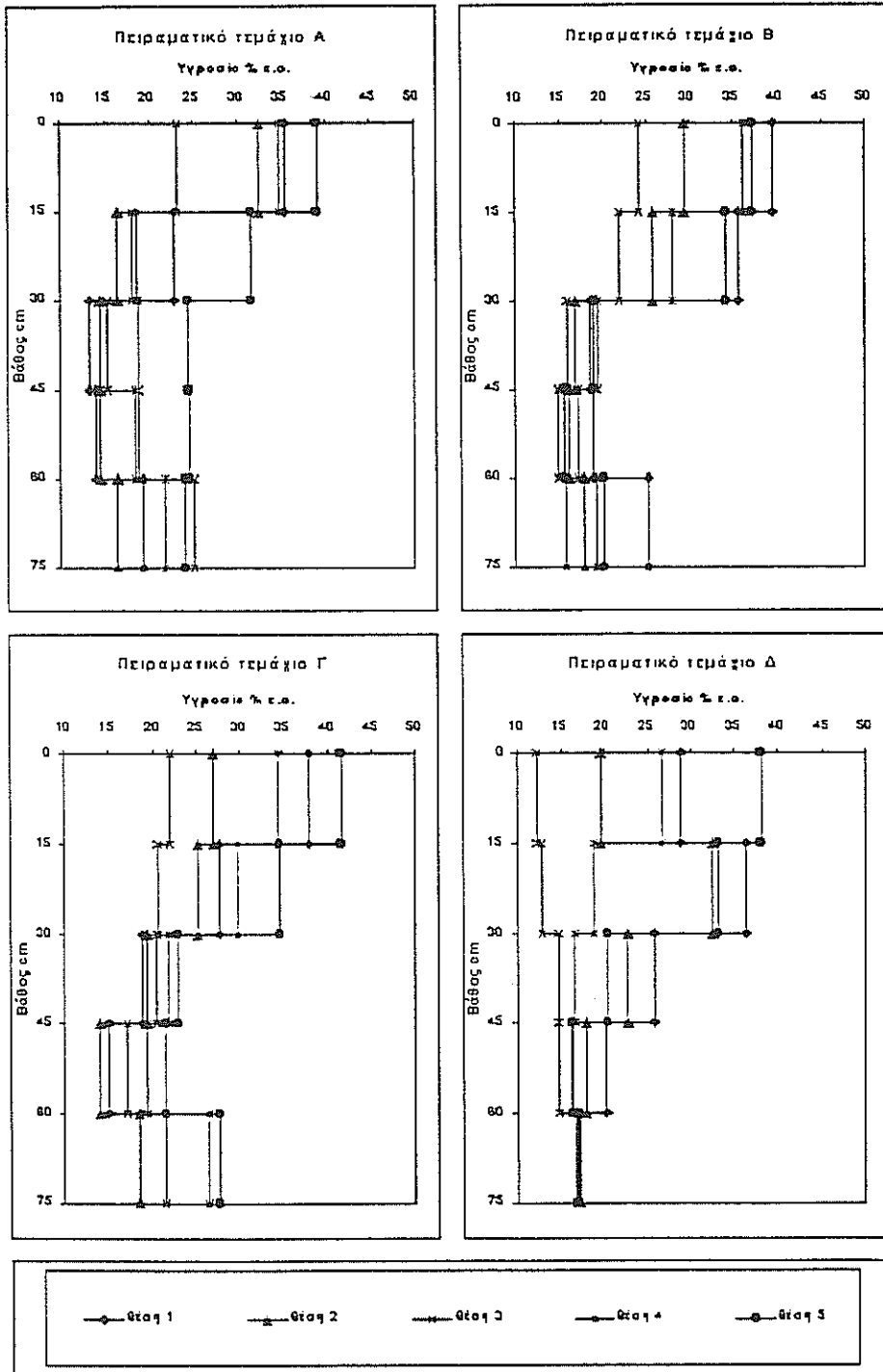
**ΕΠΕΜΒΑΣΗ: Σταλακτηφόροι ανά 1.5 m. Πειραματικά τεμάχια των Γ και Δ επεμβάσεων.**



Σχήμα 1. Διάταξη σταλακτηφόρων σωλήνων ανά πειραματική επέμβαση και θέσεις μέτρησης

**4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Από τη μηχανική ανάλυση του εδάφους προέκυψε ότι το έδαφος ήταν μέσο προς ελαφρό με περιεκτικότητα σε άμμο 42%, ιλύ 35% και άργιλο 23%. Η υδατοϊκανότητά του βρέθηκε ίση με 18.34 % ξερού βάρους εδάφους το σημείο μόνιμης μάρανσης 10.06% ξερού βάρους εδάφους και το ΦΕΒ 1.45 g/cm<sup>3</sup>. Η δόση άρδευσης υπολογίστηκε ίση με 33mm. Η υδραυλική αγωγιμότητα του χωραφιού μετρήθηκε με Guelph Permeameter και βρέθηκε ίση με 3.63\*10<sup>-1</sup> cm/s στα βάθη 15cm και 45cm. Στην ισοαποχή των σταλακτηφόρων ανά 1m παρατηρήθηκαν μειωμένες τιμές υγρασίας



Σχήμα 2. Προφίλ. εδαφικής υγρασίας για κάθε πειραματικό τεμάχιο

στις θέσεις μεταξύ των γραμμών των ζαχαρότευτλων (σημεία 3) (Σχήμα 1), μάλιστα στη διάταξη 1m x 0.75m οι μειωμένες τιμές παρατηρήθηκαν σε όλο το μετρηθέν εδαφικό προφίλ (0-75cm). Στην ισοποχή του 1.5m παρατηρήθηκαν μειωμένες τιμές υγρασίας στις μεσαίες γραμμές των ζαχαρότευτλων οι οποίες δεν είχαν επαφή εκατέρωθεν με σταλακτηφόρο σωλήνα (σημεία 3) (Σχήμα 1), η μείωση δε αυτή των τιμών ήταν μεγαλύτερη στη διάταξη 1.5mX0.75m. Η υγρασία ήταν σε υψηλότερα επίπεδα κοντά στους σταλακτήρες (σημεία 2, 4) και σε βάθος 0-30cm και είχε τις μεγαλύτερες τιμές επί των σταλακτιήρων (σημεία 1, 5) και πάλι σε βάθος 0-30 cm (Σχήμα 2). Στη τελευταία περίπτωση οι τιμές συνήθως κυμαίνονταν μεταξύ υδατοϊκανότητας και κορεσμού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Πίνακες 2, 3) οι διαφορετικές διατάξεις των σταλακτηφόρων σωλήνων και των σταλακτιήρων στον ίδιο

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Παραγωγική συμπεριφορά ζαχαρότευτλων σε επεμβάσεις με στάγιδη άρδευση

### Παραγωγικά αποτελέσματα επεμβάσεων

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	Αριθμός ριζών/στρ	Βάρος ριζών χλγ./στρ.	Ζαχαρικός τίτλος οS	Ζάχαρη, χλγ./στρ.	
				Ακατέργαστη	Κρυσταλλική

#### I. Παραγοντική επίδραση

##### (1) Απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων

1.0 m	11291	11146	12.34	1376	1099
1.5 m	11508	11358	12.66	1438	1167
Σημαντικό-τητα F-test	0.592	0.457	0.048	0.174	0.115
A=0.05	ΜΣ	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ
ΕΣΔ (0.05)	-	-	0.32	-	-

##### (2) Απόσταση μεταξύ σταλακτιήρων στον ίδιο σωλήνα

50 cm	11241	11250	12.52	1410	1138
75 cm	11558	11254	12.48	1404	1129
Σημαντικό-τητα F-test	0.437	1	0.805	0.893	0.833
A=0.05	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
ΕΣΔ (0.05)	-	-	-	-	-

#### II. Αλληλεπίδραση παραγόντων

##### Αποστάσεις μεταξύ

##### (1) x (2)

1.0m x 50 cm	11241	11150	12.38	1383	1106
1.0m x 75 cm	11341	11141	12.3	1369	1092
1.5m x 50 cm	11241	11350	12.66	1437	1169
1.5m x 75 cm	11775	11366	12.66	1439	1166
Γ.Μ.Ο. πειράματος	11400	11252	12.5	1407	1133
Σημαντικό-τητα F-test	0.592	0.956	0.798	0.859	0.885
A=0.05	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
ΕΣΔ (0.05)	-	-	-	-	-
CV (%)	8.5	6.1	2.9	7.6	8.8

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας πειραματικών επεμβάσεων**

Παραγωγικά αποτελέσματα επεμβάσεων

ΕΠΕΜΒΑΣΗ (ΔιάταξηxΓραμμή Σποράς)	Αριθμός ριζών/στρ	Βάρος ριζών χλγ./στρ.	Ζαχαρικός τίτλος οS	Ζάχαρη, χλγ./στρ.	
				Ακατέργαστη	Κρυσταλλική

I. Παραγοντική επίδραση

Διάταξη αρδευτικού δικτύου

1.5m x50 cm	11242	11350	12.65	1438	1169
1.5mx 75 cm	11775	11367	12.65	1439	1166
Σημαντικότητα F-test	0.484	0.961	0.965	0.981	0.959
$\alpha=0.05$	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
ΕΣΔ (0.05)	-	-	-	-	-

Γραμμές Σποράς Ζαχαρότευτλων στην απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων = (1.5 m)

3η + 6η γραμμές	11842	11708	12.65	1483	1206
4η + 5η γραμμές	11175	11008	12.64	1394	1129
Σημαντικότητα F-test	0.162	0.06	0.969	0.182	0.206
$\alpha=0.05$	ΜΣ	(+)	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
ΕΣΔ (0.05)	-	-	-	-	-

II. Αλληλεπίδραση παραγόντων

1.5x50, 3η+6η γραμ.	11700	11800	12.67	1500	1219
x50, 4η+5η γραμ.	10783	10900	12.62	1376	1119
x75, 3η+6η γραμ.	11983	11617	12.63	1466	1193
x75, 4η+5η γραμ.	11567	11117	12.67	1413	1140
Γ.Μ.Ο. πειράματος	11508	11358	12.65	1439	1168
Σημαντικότητα F-test	0.584	0.559	0.859	0.579	0.69
$\alpha=0.05$	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
ΕΣΔ (0.05)	-	-	-	-	-
CV (%)	9.4	7.1	4.8	10.5	11.9

\*3η + 6η γραμμές : είναι γραμμές ζαχαρότευτλων που δεν εφάπτονται με σταλακτηφόρο σωλήνα άρδευσης όταν η απόσταση μεταξύ των σωλήνων είναι 1.5 m.

\*4η + 5η γραμμές : είναι οι γραμμές ζαχαρότευτλων που εφάπτονται με σταλακτηφόρο σωλήνα άρδευσης και στις δύο διατάξεις σωλήνων (απόσταση μεταξύ των 1.0 ή 1.5 m).

σωλήνα δεν επέδρασαν στατιστικώς σημαντικά σε διαφοροποίηση της παραγωγικής συμπεριφοράς των ζαχαρότευτλων. Στατιστική ανάλυση των δεδομένων (Πίνακες 2, 3) έδειξε μη σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των αποστάσεων των σταλακτηφόρων σωλήνων επί των σταλακτιήρων. Ωστόσο επί μέρους ανάλυση της αλληλεπίδρασης έδειξε ότι η απόδοση των φυτών ήταν στατιστικώς σημαντικά αυξημένη στις γραμμές ζαχαρότευτλων που δεν εφάπτονταν με σταλακτηφόρο στη διάταξη του 1.5m στοιχείο που χρειάζεται περισσότερο προβληματισμό και έρευνα όσο αφορά τις ποσότητες νερού που θα πρέπει να χορηγούμε στη καλλιέργεια ζαχαρότευτλων.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έγιναν πειράματα σε πειραματικό αγρό ζαχαρότευτλων στην περιοχή Καρδίτσας για να μελετηθεί η επίδραση διαφορετικών διατάξεων σταλακτηφόρων σωλήνων (αποστάσεις 1m και 1.5m μεταξύ τους) και σταλακτιήρων (αποστάσεις 0.5m και 0.75m ισοποχή επί του σταλακτηφόρου σωλήνα) με σκοπό να διερευνηθεί η κατανομή της υγρασίας και η επίδρασή της στα παραγωγικά χαρακτηριστικά των ζαχαρότευτλων. Από τα πειράματα φάνηκε ότι στις μεταχειρίσεις 1.5m x 0.5m και 1.5m x 0.75m στις σειρές των ζαχαρότευτλων που δεν εφάπτονται με σταλακτηφόρο σωλήνα, μολονότι οι τιμές της υγρασίας ήταν μειωμένες, η παραγωγή ήταν αυξημένη σε σχέση με τις σειρές των φυτών που εφάπτονται με σταλακτηφόρο σωλήνα. Ωστόσο από την στατιστική ανάλυση φάνηκε ότι μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων, δεν προέκυψαν στις αποδόσεις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amaducci, Bresler, E. and Goldberg, G., 1971, Infiltration from trickle source : II Experimental data and theoretical prediction, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* Vol 35: 675-682.
2. 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.
3. Dunham, R. M., 1993. The sugar beet crop: Science into practice. Edited by D. A., Cooke and R K Scott. Chapman & Hall, pp 675.
4. Hang, N. Miller, D. E. , 1986, Response of sugarbeet to deficit, high-frequency sprinkler irrigation. I. Sucrose accumulation and top and root dry matter production. *Agronomy J.*, Vol 78, pp 10-14.
5. Hills, F. J., Winter. S. R., Henderson. D. W., 1990, Irrigation of agricultural crops. *Agronomy monograph*, No 30, pp 795-810.
6. Παπαζαφειρίου, Ζ., 1977, Σχεδίαση και υπολογισμός αρδευτικών συστημάτων με σταλακτιήρες. Υπουργείο Γεωργίας, Υπηρεσία Γεωργικών Ερευνών, Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων, Θεσσαλονίκη, σελ. 58.
7. Σακελλαρίου, Μ., Μασλάρης, Ν., Καλφούντζος, Δ. και Γούλας, Χ., 1998, Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων. *Πρακτικά*, 1<sup>ο</sup> Εθνικό συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα, 271-280.
8. Σακελλαρίου, Μ., Μασλάρης, Ν., Νούσιος, Γ., Ντιούδης, Π. και Καλφούντζος, Δ., 1999, Σχεδιασμός Διατάξεων Άρδευσης με Σταγόνες σε Καλλιέργεια Ζαχαρότευτλων. *Πρακτικά 4ο Εθνικό Συνέδριο ΕΕΔΥΠ*, Βόλος, 162-169.
9. Wooding, R. A., 1968, Steady infiltration from a circular pond. *Water Resour. Res.* Vol. 4, pp 1259-1273.

## **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ**

**Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Δ. Καλφούντζος, Ν. Παπανίκος**

Τμήμα Γεωπονίας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Πεδίον Αρεως, Βόλος 38334

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα εργασία έγινε αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων, με εφαρμογή του 100% και 80% της δόσης άρδευσης. Το πειραματικό σχέδιο ήταν τροποποιημένο παραγοντικό 2Χ2 με 4 επαναλήψεις. Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α. Η τοποθέτηση των υπόγειων σωλήνων έγινε σε βάθος 45 cm και σε απόσταση 1 m μεταξύ τους, με ισαποχή σταλακτήρων 1 m. Έγιναν μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR μέχρι βάθους 75 cm και προσδιορίστηκαν τα μέτωπα υγρασίας, με σκοπό να μελετηθεί η κατανομή της κατά την υπόγεια και επίγεια στάγδην άρδευση. Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε αύξηση του βάρους των ριζών και του ζαχαρικού τίτλου καθώς και υψηλότερες τιμές υγρασίας σε μεγαλύτερα βάθη του εδάφους στα πειραματικά τεμάχια όπου εφαρμόστηκε η υπόγεια άρδευση.

### **EVALUATION OF SURFACE AND SUBSURFACE DRIP IRRIGATION EFFECT ON SUGAR-BEET YIELD**

**M. Sakellariou-Makrantonaki, D. Kalfountzos, N. Papanikos**

University of Thessaly, Pedion Areos Bolos 38334

### **ABSTRACT**

The effects of surface and subsurface drip irrigation on sugar beet yield and sugar content was studied, under two levels (100% and 80%) of water application depth. The experimental design was 2X2 factorial with four replications. Water application depth was estimated with the aid of an evaporation pan of type A. Laterals were set at 45 cm under the soil surface. In order to study the soil moisture development during surface and subsurface irrigation, measurements were taken up to 75 cm depth, using the TDR method. Data concerning sugar beet yield, sugar content and soil moisture values, showed that they were higher at experimental fields with subsurface irrigation.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ζαχαρότευτλα είναι μία από τις ανθεκτικότερες καλλιέργειες τόσο στην ξηρασία, όσο και στην αλατότητα του εδάφους. Η ανθεκτικότητα αυτή οφείλεται αφ' ενός στη μακρά βλαστική περίοδο της καλλιέργειας, η οποία δεν παρουσιάζει ευαισθησία κατά το στάδιο άνθησης και αφ' ετέρου στο βαθύ ριζικό της σύστημα και στην ικανότητα προσαρμογής της στις μεταβολές της οσμωτικής πίεσης [2].

Γενικά η αύξηση ζαχάρου συντελείται σε συνθήκες περιορισμένης ύπαρξης νερού. Το αντίθετο συμβαίνει με την αύξηση ξηράς ουσίας. Οι Amaducci et al. [1], μελέτησαν την επίδραση της άρδευσης στα ζαχαρότευτλα στην νότια και βόρεια Ιταλία. Σύμφωνα με τα δεδομένα τους, η άρδευση μείωσε την περιεκτικότητα ζαχάρου και αύξησε την παραγωγή ριζών με αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής παραγωγής ζάχαρης.

Η άρδευση με σταγόνα των ζαχαροτεύτων στην Ελλάδα έχει επεκταθεί αρκετά, αλλά εξακολουθεί να αποτελεί πεδίο μελέτης από αρκετούς ερευνητές [7,8]. Η υπόγεια στάγδην άρδευση (ΥΣΑ) δεν έχει ακόμη εφαρμοσθεί στην χώρα μας, μολονότι σ' αρκετές χώρες, ιδίως όπου υπάρχει έλλειψη νερού, έχει επεκταθεί σε μεγάλο βαθμό σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας, δένδρα, κήπους και πάρκα. Σήμερα που η έλλειψη νερού γίνεται ολοένα και περισσότερο αισθητή στη χώρα μας, η εφαρμογή της αποτελεί πρόκληση.

Η υπόγεια άρδευση είναι μια παραλλαγή της παραδοσιακής άρδευσης με σταγόνα, όπου οι σταλακτηφόροι αγωγοί θάβονται σε κάποιο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανάλογα με την καλλιέργεια. Η υπόγεια άρδευση είναι πιθανόν η παλαιότερη μοντέρνα μέθοδος άρδευσης. Σε έκθεση του IEB [3], αναφέρεται ότι η πρώτη παρατήρηση των πλεονεκτημάτων της έγινε το 1980 στη Γερμανία, όταν οι γεωργοί χρησιμοποίησαν ένα στραγγιστικό σύστημα από πηλοσωλήνες με ανοικτούς αρμούς για άρδευση και στράγγιση ταυτόχρονα. Η απόδοση των καλλιεργειών στην περιοχή αυξήθηκε σημαντικά. Ο Rhene [4,5] αναφέρει ότι το 1913 ο House στις ΗΠΑ πότισε μηλιές, μηδική και δημητριακά με υπόγειους πορώδεις σωλήνες και διαπίστωσε ότι η μέθοδος ήταν δαπανηρή για συνήθεις καλλιέργειες, γι' αυτό και συνιστάται μόνο για εντατικές καλλιέργειες. Σύμφωνα με τον Rhene, ο Koneff το 1926 πρότεινε, πάντα την εφαρμογή ενός κλειστού αυτόματου υπόγειου συστήματος άρδευσης από πορώδεις σωλήνες συνδεδεμένους δια μέσου ενός πολλαπλού διανομέα με δεξαμενή νερού υπό καθεστώς χαμηλού κενού. Η κίνηση του νερού προς το έδαφος γινόταν λόγω διαφοράς δυναμικού. Οι Bordas και Mathien το 1930-31 εφάρμοσαν την μέθοδο Koneff και διαπίστωσαν αύξηση της παραγωγής και σημαντική εξοικονόμηση νερού και λιπάσματος [4,5]. Παρ' όλα αυτά μερικά προβλήματα περιορίσαν την διάδοση της Υ.Σ.Α. Οι Goldberg et al., σύμφωνα με το Rhene εξέθεσαν τα εξής προβλήματα.

- ♦ Ο έλεγχος του υπόγειου συστήματος είναι δύσκολος.
- ♦ Η απόφραξη των σταλακτιών από τις ρίζες και άλλα φερτά υλικά οδηγεί στην κακή λειτουργία του συστήματος
- ♦ Το υπόγειο σύστημα είναι δύσκολο να συντηρηθεί και να επιδιορθωθεί.

Οι Rhene et al. [4] πρότειναν τεχνικές διαχείρισης οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για την αποφυγή των αποφράξεων και οι οποίες καθιστούν την ΥΣΑ περισσότερο εφαρμόσιμη. Η εμφάνιση των βελτιωμένων πλαστικών υλικών κατέστησε την ΥΣΑ πιο οικονομική και εφαρμόσιμη σε πολλές καλλιέργειες μεταξύ των οποίων και αυτή του βαμβακιού [10].

Ο Solomon [11] αναφέρει ότι με την ΥΣΑ το νερό άρδευσης και τα εκχυόμενα χημικά, όπως τα λιπάσματα, παροχετεύονται κατευθείαν στο ριζόστρωμα των φυτών. Αυτό

αποτελεί ιδιαίτερο πλεονέκτημα για θρεπτικά στοιχεία με χαμηλή κινητικότητα στο έδαφος. Στην ΥΣΑ τα επιφανειακά 15-20 cm του εδάφους έχουν χαμηλότερη υγρασία όταν οι σταλακτηφόροι σωλήνες βρίσκονται σε βάθος 45 cm, με συνέπεια: η εξάτμιση του νερού από το έδαφος να περιορίζεται. Σε ένα σχετικά ξηρό επιφανειακά χωράφι επιτρέπεται η διέλευση των μηχανημάτων καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο και αποτρέπεται η ανάπτυξη των ζιζανίων. Επιπλέον περιορίζονται οι σηψιριζίες και άλλες ασθένειες του εδάφους που προσβάλλουν τα φυτά και αποφεύγεται η δημιουργία κρούστας στο έδαφος, η οποία εμποδίζει τον αερισμό του εδάφους και την διείσδυση του νερού της βροχής, προκαλώντας επιφανειακή απορροή. Εκτός αυτών, το υπόγειο αρδευτικό σύστημα δεν είναι εκτεθειμένο στον ήλιο και τις ακραίες καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Το βασικότερο όμως, από όλα τα πλεονεκτήματα είναι η μείωση των εργατικών χεριών, το κόστος των οποίων είναι αρκετά μεγάλο στις ανεπτυγμένες χώρες.

Ο Shani et al. [12] σε πειράματα που έκανε στο Ισραήλ απέδειξε ότι η παροχή του σταλάκτη στην υπόγεια άρδευση εξαρτάται από την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους.

Ο Ruskín [9] αναφέρει ότι οι δυνάμεις που ελέγχουν την κίνηση του νερού στο έδαφος είναι κυρίως οι τριχοειδείς και η βαρύτητα. Οι τριχοειδείς δυνάμεις μειώνονται όσο πιο υγρό είναι το έδαφος, ενώ σε ξηρό έδαφος είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές της βαρύτητας. Η απλή και βασική αυτή έννοια οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ΥΣΑ πρέπει να εφαρμόζεται με μικρές διακοπόμενες δόσεις, οπότε η κίνηση του νερού στο έδαφος γίνεται κυρίως από τις τριχοειδείς δυνάμεις. Με αυτό τον τρόπο, σε εφαρμογή ίσης ποσότητας νερού έχουμε διαβροχή εδάφους με ΥΣΑ 46% μεγαλύτερη από αυτή της επιφανειακής.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων, με εφαρμογή και στις δύο περιπτώσεις του 100% και 80% της δόσης άρδευσης. Αξιολογήθηκε το βάρος των ριζών, ο ζαχαρικός τίτλος και η κατανομή της υγρασίας στο έδαφος.

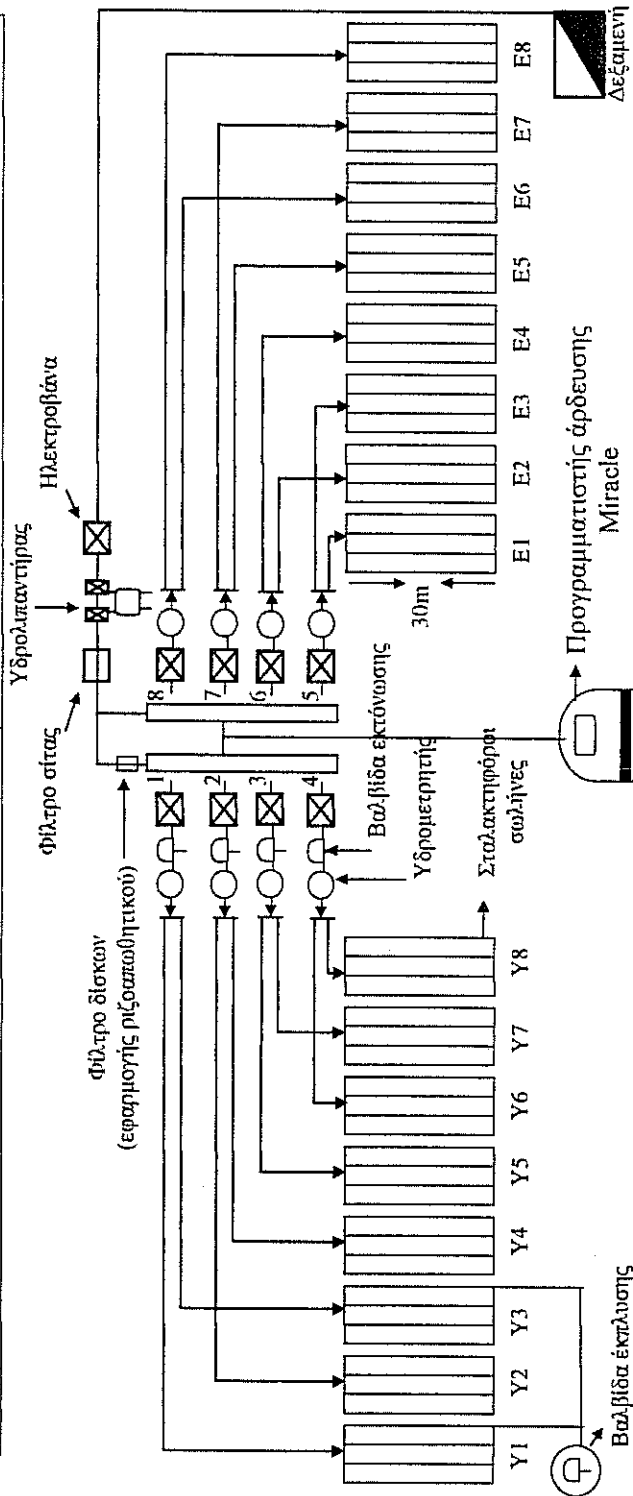
## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε πειραματικό αγρό του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Η σπορά έγινε στις 7 Απριλίου 1999 και χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία ζαχαροτεύτλων Rizor. Το αρδευτικό δίκτυο αποτελούσαν ο κύριος αγωγός μεταφοράς, PE Φ32/6 Atm και οι δευτερεύοντες αγωγοί PE Φ25/6 Atm. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες της υπόγειας και επίγειας άρδευσης είχαν ισαποχή 1m, μήκος 30 m και ήταν τύπου Ram Φ17 της εταιρείας Netafim με ενσωματωμένους σταλακτήρες. Οι σταλακτήρες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, ισαποχής 1 m, παροχής 3.5 l/h σε πίεση λειτουργίας από 0.5 έως 4 Atm, με πλατειές διόδους νερού και με ένα ελεύθερα κυμαινόμενο διάφραγμα σχεδιασμένο ειδικά, ώστε να διατηρεί σταθερή τη ροή του σταλακτήρα σε ευρεία κλίμακα πιέσεων. Στη κεφαλή του δικτύου (Σχ. 1.) υπήρχε υδρολιπαντήρας χωρητικότητας 60 λίτ και φίλτρο σίτας 1 ίντσας.

Μεταξύ της κύριας γραμμής και των γραμμών άρδευσης μετά το φίλτρο σίτας παρεμβάλλονταν δύο κολεκτέρ, ένα για το υπόγειο σύστημα άρδευσης και ένα για το επιφανειακό. Το κολεκτέρ της επιφανειακής άρδευσης περιλαμβάνει 4 ηλεκτροβάνες και 4 υδρομετρητές. Κάθε ηλεκτροβάνη με τον υδρομετρητή της συνδέεται με δύο γραμμές άρδευσης που τροφοδοτούν δύο πειραματικά τεμάχια. Κάθε πειραματικό τεμάχιο έχει 4 σταλακτηφόρους σωλήνες. Το κολεκτέρ της υπόγειας άρδευσης



ΥΠΟΓΕΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	
ΗΛΕΚΤΡΩΒΑΝΑ	1----- Y1, Y3 100%	ΗΛΕΚΤΡΩΒΑΝΑ	5----- E1, E3 100%
	2----- Y2, Y4 80%		6----- E2, E4 80%
	3----- Y5, Y7 100%		7----- E5, E7 100%
	4----- Y6, Y8 80%		8----- E6, E8 80%



Σχήμα 1. Πειραματικός αγρός επιφανειακής – υπόγειας στάθμης άρδευσης καλλιέργειας ζαχαροτεύτλων

περιέχει επιπλέον 4 βαλβίδες εκτόνωσης, για να αποφεύγεται η αναρρόφηση του νερού και επομένως το φράξιμο των σταλακτιήρων κατά την διακοπή της άρδευσης, καθώς επίσης και φίλτρο δίσκων (Teck filter) εμποτισμένο με τριφλουραλίνη, ως ριζοαπωθητικού. Τα τέρματα των σταλακτηφόρων σωλήνων συνδέονται ανα δύο πειραματικά τεμάχια με σωλήνα Φ25, που καταλήγει σε βαλβίδα έκπλυσης. Όλες οι ηλεκτροβάνες των κολεκτέρ είναι συνδεδεμένες με προγραμματιστή άρδευσης (miracle) της Netafim, για την αυτοματοποίηση της άρδευσης. Το σύστημα έπαιρνε νερό από δεξαμενή με τη βοήθεια φυγόκεντρης αντλίας με ηλεκτροκινητήρα ισχύος 3 HP συνδεδεμένης με πιστικό 1 HP.

Οι μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας έγιναν με τη μέθοδο TDR [7] (Time Domain Reflectometry), η οποία είναι μία μη ραδιενεργός μέθοδος, γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους, (εκτός ακραίων περιπτώσεων), η αρχή λειτουργίας της οποίας βασίζεται στην απευθείας μέτρηση της φαινομένης διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους και την αναγωγή της σε κατ' όγκο περιεκτικότητα νερού.

### 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ο πειραματικός αγρός διαστάσεων 66X30m=1980 m<sup>2</sup>, χωρίστηκε σε δύο μέρη: Στον μισό αγρό (Σχ. 1) εγκαταστάθηκε η επιφανειακή άρδευση και στον άλλο μισό η υπόγεια. Και στις δύο περιπτώσεις εφαρμόστηκαν δύο επίπεδα άρδευσης, ήτοι το 100% και το 80% της δόσης άρδευσης, σε τέσσερις επαναλήψεις. Το πειραματικό σχέδιο ήταν τροποποιημένο παραγοντικό 2X2 (Πίν.1) Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε πλάτος 4 m (κάθετο στις γραμμές σποράς) και μήκος 30 m περίπου (παράλληλα στις γραμμές σποράς). Οι υπόγειοι σταλακτηφόροι σωλήνες εγκαταστάθηκαν με τη βοήθεια ειδικής κατασκευής (υπεδαφοθέτη) σε βάθος 45 cm.

Πίνακας 1. Διάταξη επεμβάσεων

Διάταξη άρδευσης	Απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων St (m)	Απόσταση μεταξύ σταλακτιήρων Sr (m)	Σταλακτιήρες ανά στρ.	Ωριαίο ύψος νερού Idh* mm/ώρα
Υπ. 100%	1	1	1000	3.5
Υπ. 80%	1	1	1000	3.5
Επ. 100%	1	1	1000	3.5
Επ. 80%	1	1	1000	3.5

$$* Idh = \frac{q}{St \times Sr} \quad q = \text{παροχή σταλακτιήρων lit/ώρα, } St \times Sr = \text{διάταξη σταλακτιήρων}$$

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισομέτρου τύπου A (Evaporation pan type A), με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση.

Κατά την διάρκεια της αρδευτικής περιόδου έγιναν 13 αρδεύσεις. Η μεταχείριση στην οποία εφαρμόστηκε το 100% της αρδευτικής δόσης πήρε συνολικά 446 mm νερό, ενώ η μεταχείριση του 80% της αρδευτικής δόσης πήρε συνολικά 370 mm μαζί με τη βροχή, χωρίς να συμπεριληφθεί το νερό φυτρώματος.

Οι μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους έγιναν την πρώτη ημέρα μετά από κάθε άρδευση, στο μέσο των σταλακτηφόρων σωλήνων και στο μέσο των γραμμών των ζαχαροτεύλων στις δύο μεταχειρίσεις.

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο σκοπός του πειράματος ήταν να μελετηθεί τόσο η παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων, δηλαδή το βάρος των ριζών και ο ζαχαρικός τίτλος όσο και η κατανομή της υγρασίας κάτω από διαφορετικές δόσεις νερού και συνθηκών άρδευσης. Σύμφωνα με τις αναλύσεις του εδάφους και την ταξινόμησή του που έγιναν από το Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας, το έδαφος είναι πηλώδες και ανήκει στην υποομάδα των Typic Xerofluvent των Entisols. Η υδραυλική αγωγιμότητα του αγρού, όπως μετρήθηκε με τη συσκευή Quelp permeameter σε βάθος 20 και 45 cm ως και οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους δίδονται στον πίνακα 2.

**Πίνακας 2. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους**

Βάθος (cm)	Μηχ. Ανάλ.	CaCO <sub>3</sub> %	PH 1:1 H <sub>2</sub> O	P ppm	K meq/ 100gr εδ.	ΦΕΒ gr/cm <sup>3</sup>	ΥΙ % κ.β	ΣΜ % κ.β	Ks Cm/h
0-20	L	5.5	7.6	22	1.40	1.25	20.9	11.48	4.86
20-40	CL	6.38	7.9	18	0.91	1.23	21.2	11.64	0.49
40-60	CL	5.72	7.9	23	0.76	1.21	21.5	11.81	4.89

Η μικρή υδραυλική αγωγιμότητα σε βάθος 20-40 cm δηλώνει ότι υπάρχει συμπιεσμένος οριζόντιος λόγω καλλιεργητικών φροντίδων. Αυτό φαίνεται και στο σχήμα 2 στα τεμάχια Ε5, Ε2 όπου η τιμή της υγρασίας ελαττώνεται στο βάθος των 45 cm. Κατά την υπόγεια άρδευση (Σχ. 2, τεμάχια Υ4, Υ3, Υ6, Υ5) όπου η πηγή νερού είναι στα 45 cm, παρατηρούμε αύξηση των τιμών της υγρασίας όσο αυξάνει το βάθος του εδάφους, γεγονός που ωφελεί ιδιαίτερα το φυτό το οποίο αναπτύσσει τα 2/3 του ριζοστρώματος του πέραν του βάθους των 30 cm. Στα πειραματικά τεμάχια Υ4 και Υ3 του Σχήματος 2, παρατηρείται ότι, οι τιμές της υγρασίας πριν από την άρδευση ήταν αρκετά υψηλές στο επιφανειακό στρώμα εδάφους διότι στις 19/6/1999 έπεσε βροχή ύψους 10 mm. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στους πίνακες 3 και 4.

**Πίνακας 3. Στατιστική ανάλυση (Duncan test) του βάρους ριζών των ζαχαροτεύτλων στον πειραματικό αγρό**

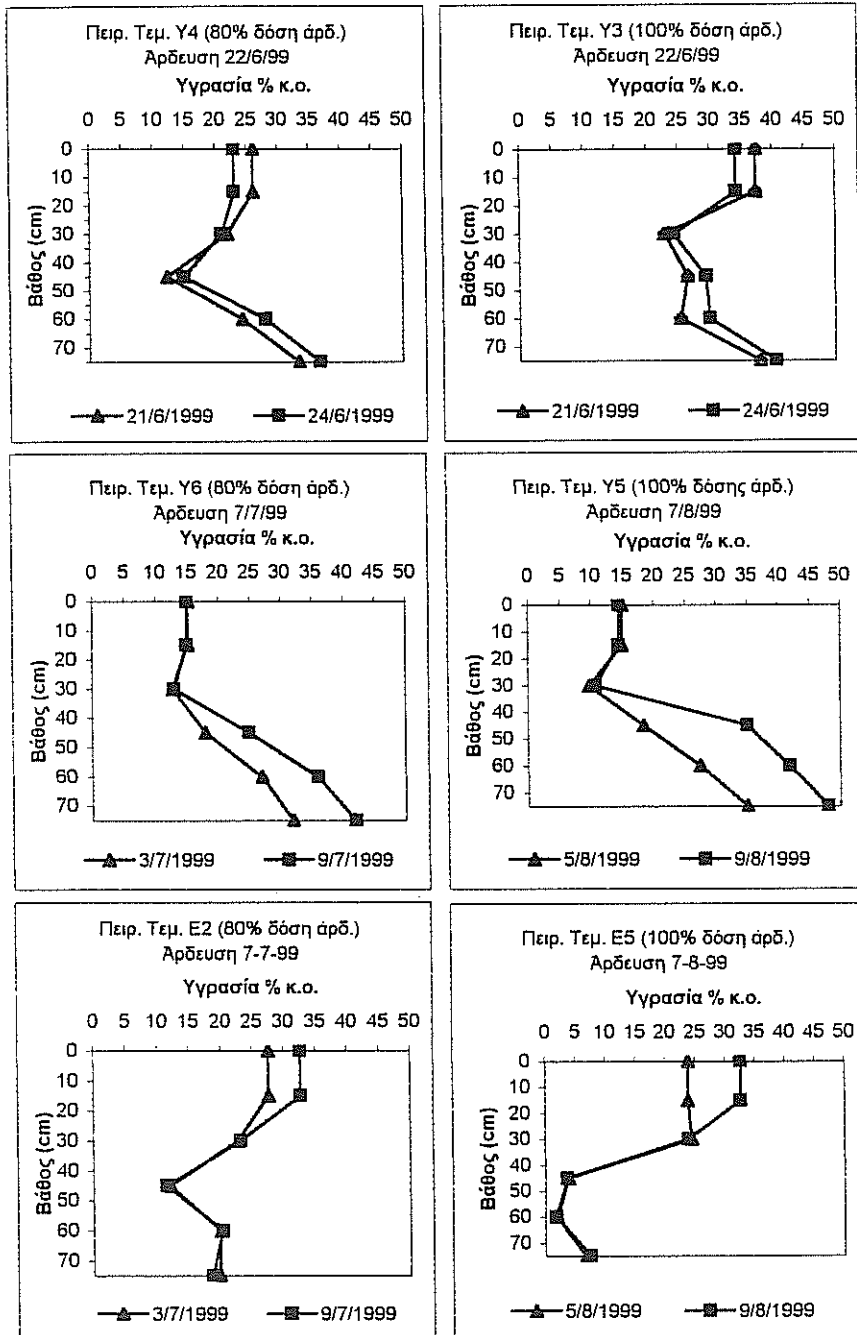
Επεμβάσεις	{1}	{2}	{3}	{4}
	M=6669.3	M=6887.5	M=5458.8	M=6031.3
Υπόγεια άρδ. 100% {1}		.540903	.058809 *	.090677
Υπόγεια άρδ. 80% {2}	.54093		.002278 *	.035991 *
Επιφαν. άρδ. 100% {3}	.005809 *	.002278 *		.124664
Επιφαν. άρδ. 80% {4}	.090677	.035991 *	.124664	

**Πίνακας 4. Στατιστική ανάλυση (Duncan test) του ζαχαρικού τίτλου (Pol) των ζαχαροτεύτλων στον πειραματικό αγρό**

Επεμβάσεις	{1}	{2}	{3}	{4}
	M=13.137	M=14.025	M=12.900	M=12.875
Υπόγεια άρδ. 100% {1}		.019258 *	.483057	.461453
Υπόγεια άρδ. 80% {2}	.019258 *		.006488 *	.006605 *
Επιφαν. Άρδ. 100% {3}	.483057	.006488 *		.940603
Επιφαν. Άρδ. 80% {4}	.461453	.006605 *	.940603	

(\*) P<0.05%

Στην υπόγεια άρδευση η διαφορά σε βάρος ριζών είναι πολύ μικρή μεταξύ των επιπέδων νερού, είναι όμως σημαντική σε ζαχαρικό τίτλο. Ενώ στην επιφανειακή άρδευση η διαφορά είναι μεγαλύτερη σε βάρος ριζών και ο ζαχαρικός τίτλος είναι ο



Σχήμα 2. Προφίλ εδαφικής υγρασίας

ίδιος. Η υπόγεια άρδευση δείχνει να υπερτερεί της επιφανειακής κατά 856 Kg σε βάρος ριζών για εφαρμογή νερού ίσου με το 100% της δόσης άρδευσης και κατά 1.15 σε ζαχαρικό τίτλο. Στο 80% της δόσης άρδευσης η υπόγεια έδωσε μεγαλύτερη διαφορά σε βάρος ριζών κατά 1211 Kg και ελάχιστη διαφορά κατά 0.24 σε ζαχαρικό τίτλο.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πειράματα που έγιναν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων έδειξαν ότι κατά την υπόγεια άρδευση με σταλακτηφόρους σωλήνες οι τιμές της υγρασίας είναι μεγαλύτερες όσο αυξάνει το βάθος του εδάφους, σε σχέση με τις αντίστοιχες κατά την επιφανειακή στάγδην άρδευση. Αυτό βοηθάει την μεγαλύτερη πρόσληψη νερού από το ριζικό σύστημα του οποίου τα 2/3 αναπτύσσονται κάτω του βάθους των 30 cm. Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι εφαρμόζοντας το 80% της δόσης άρδευσης μπορούμε να έχουμε εξοικονόμηση νερού χωρίς ουσιαστική μείωση της παραγωγής στην υπόγεια άρδευση. Επίσης η υπόγεια άρδευση υπερτερεί της επιφανειακής σε βάρος ριζών και ζαχαρικό τίτλο. Η εφαρμογή της υπόγεια άρδευσης με σταγόνες στην Ελλάδα βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Χρειάζονται ακόμη αρκετές μελέτες και πειράματα στον αγρό για να γενικευτούν τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει έως τώρα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amaducci M. T., Cucci G., Caro De A., Gherbin P., Mambelli S., Venturi G. 1989. Sugar beet yield response to irrigation in different environmental conditions. *Irrigazione E drainaggio* Vol. 36 No 4.
2. Dunham R. M. 1993. The sugar beet crop: Science in to practice. Edited by D. A. Cooke and R. K. Scott Published by Chapman & Hall, pp 675.
3. Έκθεση «Άρδευση με σταγόνες», Ι.Ε.Β. Σίδνος Θεσσαλονίκης, Απρίλιος 1977.
4. Phene C. J., Blume M. F., Hile M. M. S., Meek D. W., and Re J. V., 1983. Management of subsurface trickle irrigation systems. *ASA Paper* No83-2598.
5. Phene C. J., Hutmacher R. B. and Ayars, J. E., 1993. Subsurface drip irrigation: Realizing the full potential. Proc. workshop, Visalia, California.
6. Ruskin R. 2000. Subsurface drip irrigation and yields. *Geoflow, Inc*
7. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μ., Τζιμόπουλος Χ. και Καρφούντζος Δ. 1997. Μετρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. *Πρακτικά 7<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Ε.Υ.Ε. Πάτρα*. Σελ. 184-192.
8. Σακελλαρίου Μ., Μασλάρη Ν., Καρφούντζος Δ., Γούλας Χ. 1998. Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια των ζαχαροτεύτλων. *Πρακτικά 1<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής Αθήνα* σελ. 271-280.
9. Σακελλαρίου Μ., Μασλάρη Ν., Νούσιος Γ., Ντιούδης Π., Καρφούντζος Δ. 1999. Σχεδιασμός διατάξεων άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. *Πρακτικά. 4<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο της Ε.Ε.Δ.Υ.Π. Βόλος*.
10. Smith R. B., Oster J., D. and Phene C. J., 1991. Subsurface drip produced highest net return in westlands area study. *Calif. Agric.* 45(2):8-10
11. Solomon K. 1993. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. . In Subsurface drip irrigation: Theory, practices and application, eds. *Jorgensen, G. S. and K. N. Norum, CATI Publication* No:921001.
12. Shani U., Xue s., Gordin-Katz R. and Warrick A. 1996. Soil-limiting from subsurface emitters. I Pressure measurements. *J. of Irrigation and Drainage*

# *Ενέργεια*



# ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ – ΕΚΡΟΕΣ ΚΥΡΙΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ ΜΑΣ

**Κων/νος Α. Τσατσαρέλης**

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών – Τμήμα Γεωπονίας  
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας  
540 06 Θεσσαλονίκη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Βασικές καλλιέργειες της χώρας μας όπως βαμβάκι, σιτηρά, αραβόσιτος, ζαχαρότευτλα, μηδική, ηλίανθος, καπνός αλλά και λιγότερο σημαντικές όπως μπάμια και βιομηχανική ντομάτα εξετάζονται ως προς τις ενεργειακές εισροές και εκροές τους κάτω από διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας και σε διαφορετικές περιοχές.

Εντοπίζονται τα στάδια και οι συντελεστές της παραγωγικής διαδικασίας όπου παρατηρούνται αυξημένες ενεργειακές εισροές. Δίνονται η παραγωγικότητα, η ένταση και ο βαθμός απόδοσης της ενέργειας έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται σύγκριση τόσο μεταξύ των καλλιεργειών όσο και μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.

## ENERGY INPUTS – OUTPUTS OF MAIN CROPS CULTIVATED IN GREECE

**Constantinos A. Tsatsarelis**

Aristotle University of Thessaloniki  
School of Agriculture  
Dept. of Agricultural engineering  
540 06 Thessaloniki – Greece

## ABSTRACT

Main crops in Greece, such as cotton, wheat, maize, maize for silage, sugar beets, alfalfa, sunflower, tobacco and other less important, as industrial tomatoes and okra were studied for energy inputs and outputs, under different cultivation systems.

Operations where excessive energy inputs can be observed and spotted. Energy productivity, intensity and efficiency are given in order to compare different crops and cultivation systems. Energy outputs for the same crops are also given.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο γεωργός για να επιτύχει το υψηλότερο δυνατό καθαρό γεωργικό εισόδημα θα πρέπει να ελέγχει συνεχώς το κόστος παραγωγής των προϊόντων του. Ο έλεγχος αυτός γίνεται για τον κάθε κλάδο παραγωγής χωριστά αλλά επίσης και για κάθε φάση της παραγωγικής διαδικασίας.

Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελέγχεται το κόστος καλύτερα και να παρεμβάινει στις φάσεις εκείνες, στους συντελεστές παραγωγής ή στις καλλιέργειες εκείνες όπου το κόστος τείνει να γίνει υψηλό με τελικό αποτέλεσμα χαμηλό καθαρό γεωργικό εισόδημα ή ακόμη και ζημία. Με τον συνεχή επίσης έλεγχο μπορεί να εντοπίσει και επιμέρους στοιχεία ή συντελεστές παραγωγής στα οποία μπορεί να γίνει αύξηση που θα οδηγήσει σε υψηλότερη καθαρή πρόσοδο.

Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιούνται οι γνωστές οικονομετρικές μέθοδοι με τις οποίες όλα τα στοιχεία αποτιμώνται σε χρήμα. Άλλη προσέγγιση που έχει προταθεί είναι η αποτίμηση σε ενεργειακές μονάδες (ισοδύναμη ενέργεια καυσίμων υλικών) που στηρίζεται σε μετατροπή όλων των προσφερομένων συντελεστών της παραγωγής καθώς και όλων των αποδιδόμενων προϊόντων της καλλιέργειας σε ενεργειακές μονάδες. Υπολογίζεται δηλαδή η επικουρική ενέργεια που εισρέει με κάθε μορφή στο οικοσύστημα και η ενέργεια που εκρέει με τα προϊόντα.

Το πλεονέκτημα της ενεργειακής αυτής ανάλυσης είναι ότι τα αποτελέσματά της δεν επηρεάζονται από πληθωρισμό ή άλλα αίτια (αλλαγές των τιμών κλπ). Η ενεργειακή ανάλυση είναι τεχνική, θα μπορούσε όμως να καταλήξει και σε οικονομικά αποτελέσματα εφόσον αποτιμηθεί η κάθε μορφή ενέργειας σε χρήμα, με τη βασική παρατήρηση ότι η τιμή μονάδας (δρχ/MJ) κάθε μορφής εισρέουσας ή εκρέουσας ενέργειας (π.χ. ανθρώπινη εργασία, μηχανική ενέργεια, σπόροι, λιπάσματα, φάρμακα κ.ο.κ.) είναι διαφορετική.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο προσδιορισμός των ενεργειακών εισροών βασίζεται στο ημερολόγιο εργασιών του παραγωγού, τη διάρκεια της κάθε εργασίας, τον αριθμό των εργατών, τα μηχανικά μέσα και τα υλικά (σπόροι, λιπάσματα, φάρμακα κ.ά.) που χρησιμοποιούνται για την κάθε εργασία.

Για την κάθε καλλιεργητική εργασία υπολογίζεται η ισοδύναμη ενέργεια καυσίμου που αντιστοιχεί στα υλικά που χρησιμοποιούνται, 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) βρίσκεται η αντιστοιχούσα ενέργεια ανά ώρα λειτουργίας και εξ αυτής η ενέργεια που απαιτήθηκε για τις συγκεκριμένες καλλιεργητικές εργασίες.

Ο υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών της καλλιέργειας στηρίζεται επίσης και σε ενεργειακό ισοδύναμο της ανθρώπινης ωριαίας εργασίας 2,2 MJ. Το ενεργειακό ισοδύναμο της ανθρώπινης εργασίας των 2,2 MJ/h είναι βασισμένο στην ημερήσια καταναλισκόμενη ενέργεια από τον άνθρωπο, με μορφή τροφής για τη συντήρησή του (3.500 kcal την ημέρα = 4 kWh = 14,5 MJ). Οι περισσότεροι ερευνητές για την ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων λαμβάνουν ως βάση την ενέργεια της

αναλίσκόμενης τροφής [1,2]. Υπάρχει πάντως σοβαρή αντίρρηση από άλλους ερευνητές [3] αν η ανθρώπινη εργασία για την ανάλυση, θα πρέπει να υπολογίζεται με τον τρόπο αυτό γιατί διατείνονται ότι για να φθάσει ο άνθρωπος μέχρι την ηλικία που να μπορεί να δουλέψει έχουν επενδυθεί μεγάλα ποσά ενέργειας για την ανάπτυξη και συντήρησή του, ένδυση, στέγαση, μόρφωση, περίθαλψη, διασκέδαση κ.ά. ώστε να μπορεί να παίρνει τις κατάλληλες αποφάσεις και να μπορεί να εκτελεί τις κατάλληλες εργασίες. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να ανεβάζουν το ενεργειακό ισοδύναμο της ανθρώπινης εργασίας από 29 MJ μέχρι και 450 MJ ανά ώρα εργασίας [4, 5]. Άλλοι ερευνητές [6] υπολογίζουν το ενεργειακό ισοδύναμο της εργασίας με βάση τη συνολική ενέργεια για την παραγωγή του εγχώριου προϊόντος. Μ'αυτή τη βάση υπολόγισαν ότι για τις ΗΠΑ το 1974 το ενεργειακό ισοδύναμο της ανθρώπινης εργασίας ήταν 25 MJ/h. Για τη χώρα μας θα μπορούσε να εκτιμηθεί σήμερα ότι προσεγγίζει τις 18 MJ/h.

Σε μια πλήρη ενεργειακή ανάλυση δεν θα πρέπει να παραλείπεται και η ισοδύναμη ηλιακή ενέργεια που ενσωματώνεται είτε στα φυτά με τη φωτοσύνθεση είτε στο έδαφος με τη διαδικασία δημιουργίας του εδάφους ή τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνια κλπ.) και την κατάλληλη θερμοκρασία. Στην περιοχή Θεσσαλονίκης η μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια που φθάνει στο έδαφος μετρήθηκε σε  $5,15 \times 10^3$  MJ/m<sup>2</sup> το έτος [7, 8]. Εάν η ποσότητα αυτή διαιρεθεί με 2.000 όπως υποδεικνύουν οι ερευνητές Odum και Odum [6] για να μετατραπεί σε ισοδύναμη ενέργεια καυσίμων υλικών προκύπτει μια ισοδύναμη ηλιακή ενέργεια περίπου 26000 MJ/ha (2600 MJ/στρέμμα). Παρ'ότι η ενέργεια αυτή παρέχεται δωρεάν δεν θα πρέπει να παραλείπεται.

Αμέσως συνδεόμενες με τις ενεργειακές εισροές είναι και οι πιο κάτω έννοιες:

**Βαθμός απόδοσης της ενέργειας:** Είναι το ηλίκο της εκρέουσας ενέργειας από το οικοσύστημα ως προς την εισρέουσα (αδιάστατο μέγεθος). Δείχνει το βαθμό χρησιμοποίησης της εισρέουσας ενέργειας και είναι, όπως όλοι οι βαθμοί απόδοσης, χρήσιμος δείκτης για συγκρίσεις μεταξύ καλλιεργητικών συστημάτων και φυτών.

**Ένταση της ενέργειας (MJ/kg):** Το ηλίκο της ενέργειας που εισέρρευσε (MJ/ha) ως προς την ποσότητα του προϊόντος που παρήχθη (kg/ha).

**Παραγωγικότητα της ενέργειας (kg/MJ):** Το αντίστροφο της έντασης δηλαδή η ποσότητα του προϊόντος που παρήχθη (kg/ha) ως προς την ενέργεια που δαπανήθηκε.

Και οι δύο πιο πάνω δείκτες είναι χρήσιμοι για συγκρίσεις όπως και ο βαθμός απόδοσης της ενέργειας.

Οι καλλιέργειες που παρουσιάζονται έχουν μελετηθεί με βάση ένα μακροχρόνιο ερευνητικό πρόγραμμα που περιλαμβάνει εκτός των φυτών μεγάλων καλλιεργειών και μόνιμες καλλιέργειες. Τα βασικά στοιχεία των καλλιεργειών έχουν ως ακολούθως:

α) **Βαμβάκι:** Μελετήθηκε καλλιέργεια 17 στρεμμάτων στην περιοχή της Καρδίτσας με άρδευση από βαθιά γεώτρηση (80 m) και χρήση ηλεκτροκινήτρα-αντλίας. Η ποικιλία ήταν η 4S. Η συλλογή έγινε με συλλεκτική δύο σειρών [9,10]. Το σύστημα καλλιέργειας θεωρείται τυπικό της περιοχής.

β) **Ζαχαρότευτλα:** Μελετήθηκε καλλιέργεια 15 στρεμμάτων στην περιοχή Σερρών. Το σύστημα καλλιέργειας είναι αυτό που συνιστά η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης. Χρησιμοποιήθηκε σπόρος μονόσπερμης ποικιλίας και σπαρτική ακριβείας, πνευστού τύπου. Η άρδευση έγινε από βαθιά γεώτρηση και η συλλογή με μονόσειρη μηχανή. Τα ζαχαρότευτλα μεταφέρονταν στο ζαχαρουργείο σε απόσταση 51 km [11].

γ) **Μηδική:** Μελετήθηκε καλλιέργεια στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Το σύστημα καλλιέργειας περιελάμβανε τις εντελώς απαραίτητες καλλιεργητικές εργασίες. Η άρδευση γίνονταν από βαθιές γεωτρήσεις με

ηλεκτροκινητήρες-αντλίες. Χρησιμοποιήθηκε σειρά ελκυστήρων και μηχανημάτων. Το χόρτο θερίζονταν με ταυτόχρονη σύνθλιψη και ακολουθούσε ανάδευση και δεματοποίηση [12].

δ) **Σιτηρά:** Μελετήθηκαν καλλιέργειες στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Τα συστήματα περιελάμβαναν τις εντελώς απαραίτητες ενέργειες και εισροές (λιπάσματα-σπόροι, φάρμακα). Μελετήθηκαν σιτηρά χωρίς δεματοποίηση του χόρτου καθώς και με δεματοποίηση. Μελετήθηκαν διαφορετικά συστήματα λίπανσης. Ελαφρά εαρινή άρδευση ελήφθη υπόψη σε ορισμένες περιπτώσεις [13].

ε) **Καλαμπόκι:** Μελετήθηκε καλλιέργεια καλαμποκιού ποικιλία Agis στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η άρδευση γινόταν από βαθιά γεώτρηση 80 m, με θερμικό εν στάσει κινητήρα. Η συγκομιδή έγινε με τετράσειρη μηχανή και επακολουθούσε ξήρανση.

στ) **Καλαμπόκι για ενσίρωση:** Μελετήθηκε επί σειρά ετών καλλιέργεια επίσπορο καλαμποκιού για ενσίρωση μετά από χειμερινά σιτηρά, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Τα αποτελέσματα αφορούν καλλιέργεια με το σύστημα της κατευθείαν σποράς. Συγκεκριμένα μετά τη συγκομιδή των σιτηρών επακολουθούσε δεματοποίηση του αχύρου και στη συνέχεια κατευθείαν σπορά του καλαμποκιού (ποικιλίας Pioneer), με ειδική μηχανή. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνεται γρήγορη εγκατάσταση της νέας καλλιέργειας, οικονομία καυσίμου και χρόνου και παραγωγή που δεν υπολείπεται τον μάρτυρα (επίσπορο καλαμπόκι με μειωμένη κατεργασία). [14,15].

ζ) **Ηλιάνθος:** Μελετήθηκε καλλιέργεια ηλιάνθου ποικιλίας Viki στην περιοχή Ξάνθης. Η άρδευση γίνονταν με αυλάκια. Για την επιφανειακή άντληση του νερού χρησιμοποιήθηκε ηλεκτροκινητήρας-αντλία. Η συγκομιδή έγινε με θεριζοαλωνιστική μηχανή.

η) **Βιομηχανική τομάτα:** Μελετήθηκε καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας έκτασης 40 στρεμμάτων στην περιοχή Μαγνησίας. Η εγκατάσταση έγινε κατευθείαν στο χωράφι με σπορά σπόρου (χωρίς σπορείο και μεταφύτευση). Η συλλογή έγινε με εργάτες. Για την άρδευση χρησιμοποιήθηκε βαθιά γεώτρηση (70 m) και ηλεκτροκινητήρας-αντλία.

θ) **Μπάμια:** Μελετήθηκε καλλιέργεια 5,5 στρεμμάτων στην περιοχή Κιλκίς. Η άρδευση γίνονταν με ελκυστήρα-αντλία και καταϊωνισμό.

ι) **Καπνός τύπου Βιρτζίνια:** Μελετήθηκε καλλιέργεια στην περιοχή Ροδόπης. Στη μελέτη έχουν ενσωματωθεί τόσο οι εισροές στο σπορείο όσο και στον αγρό. Η καλλιέργεια αρδεύονταν από γεώτρηση 20 m. Στη μελέτη περιλαμβάνεται και η ξήρανση στα ειδικά ξηραντήρια καθώς και η χωρική επεξεργασία (δεματοποίηση). Η συλλογή έγινε με εργάτες.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο πίνακας 1 δείχνει τις ενεργειακές εισροές και την κατανομή τους στις καλλιεργητικές φάσεις καθώς και τις αντίστοιχες εκροές των καλλιεργειών που μελετήθηκαν. Περιλαμβάνει επίσης το βαθμό απόδοσης, την παραγωγικότητα και την ένταση της εισρέουσας ενέργειας. Θα πρέπει να διευκρινισθεί ότι ως εκροές ελήφθησαν μόνο τα κύρια προϊόντα των καλλιεργειών δηλαδή σύσπορο βαμβάκι, ρίζωμα των ζαχαρότευτλων, χόρτο μηδικής, καρπός καλαμποκιού, καρπός σιτηρών και καρπός με το άχυρο στη στήλη σιτηρά (2), φυτική μάζα καλαμποκιού για ενσίρωση, σπόροι του ηλιάνθου, καρποί της βιομηχανικής τομάτας, καρποί της μπάμιας και τα φύλλα του

**Πίνακας 1.** Ενεργειακές εισροές-εκροές βασικών καλλιεργειών της χώρας. Κατανομή στις καλλιεργητικές φάσεις. Βαθμός αρόδουσης, παραγωγικότητα και ένταση της ενέργειας.

Καλλιεργητική φάση	Βαθμικά	Ζαχαρό- τεύχια	Μηδισκή	Στέφρι(1)	Στέφρι(2)	Καλαμπόκι	Καλαμπόκι (ενοψισση)	Ηλιανθος	Βιομηχ. Τομάτα	Μαύρα	Καννός (Βιοτεχνία)
ΕΙΠ/ΟΕΙ (ΜΜ/ha)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
ΕΙΠ/ΟΕΙ (ΜΜ/ha)	82,575	108,425	115,971	16,120 - 26,070	20,540 - 31,940	102,720	87,360	32,230	74,370	70,114	120,125
Απόδοση	48,20	35,80	58,31	49,92 - 51,24	7,06 - 9,08	55,50	54,20	48,20	83,90	42,17	26,65
Αίτηση	21,07	10,58	3,64	4,69 - 5,42	40,20 - 40,70	22,30	23,80	20,12	4,39	21,39	4,74
Συνάγει	8,17	9,65	4,17	4,69 - 5,42	3,83 - 4,26	3,00	16,00	4,71	0,20	1,77	2,16
Μετακίνησης	5,17	3,14		7,55 - 8,13	6,16 - 6,38	2,70			3,78	6,57	
Σηροτό	3,00	0,53		12,62 - 15,60	10,30 - 12,24	3,00	4,10	1,69	0,67	2,15	
Κηρία και θερ. κατεργασία				16,94 - 22,95	13,29 - 18,74						
Δευρ. κατεργασία	2,67	1,72				2,30		6,26	1,39	1,37	2,23
Υλεκρομολ	2,40	6,06							1,63	2,19	2,71
Καταν. Ζιζανίων	2,30	4,60	1,33	1,51 - 2,05	1,23 - 1,61	3,00	1,90	3,42	0,68	1,94	1,19
Σκόδαση	2,21	1,92						0,59	0,45	0,17	0,54
Κηρία κατεργασία	1,61	1,98				3,10		11,50	2,85	3,15	3,43
Αεροθάλαση	0,90										
Κοπή στέλεχων	0,86					0,60					0,63
Μεταφορές	0,82	23,98		0,06 - 0,08		0,40		3,51			15,96
Απώλεια		0,04							0,06	0,11	
Εκκαθάριση			8,72								
Ανάδευση			1,50								
Διαταρολήση			15,17		2,17 - 3,38						0,43
Μεταφορέωση											2,26
Κομποπόδηγμα											1,26
Φύσηση-Περιοστές			7,16		7,12 - 11,08						
Είληση						4,10					51,77
ΕΚ/ΟΕΙ (Κg/ha)	3,200	61,100	45,900	2,500 - 5,000	2,500 - 5,000	10,000	36,680	3,245	55,910	13,230	2,825
ΕΚ/ΟΕΙ (ΜΜ/ha)	55,040	153,972	725,535	37,800 - 75,600	119,090 - 189,000	145,800	474,600	76,257	51,440	22,490	188,430
Βαθμός αρόδουσης	0,66	1,42	6,256	2,35 - 2,90	5,79 - 5,92	1,42	5,43	2,37	0,69	0,32	1,57
Παραγωγικότητα (Κg/ΜΙ)	0,137	0,564	0,396	0,155 - 0,192		0,097	0,42	0,10	0,75	0,19	0,03
Ένταση (ΜΜ/Κg)	7,28	1,775	2,527	5,20 - 6,45		10,3	2,38	9,93	1,33	5,28	42,52

Πίνακας 2. Ενεργειακές εισροές βασικών καλλιεργειών της χώρας: Κατανομή κατά συντελεστής παραγωγής.

Συντελεστής παραγωγής	Βασιλική τσουλά	Μηδική	Σιτάρι (1)	Σιτάρι (2)	Καλαμπόκι	Καλαμπόκι (ενοίκωση)	Ηλιανθος	Βιομηχ. τομάτα	Μπρόντο	Κυριάς (Βιηρένια)
ΕΙΣΡΟΕΣ (ΜJ/ha)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Ανθράκων επεργασία	0,38 (72,37)	0,32 (79,68)	0,32 (78,99)	0,32 (35,93 - 42,39)	0,20 (44,71 - 58,47)	0,30 (75,8)	1,52 (74,93)	0,58 (93,84)	2,32 (72,78)	1,42 (89,43)
Μηχανήματα	21,97	70,92	16,46	31,18 - 36,47	37,61 - 48,5	69,80	15,36	22,94	7,48	65,19
Ηλεκτρ. Ενεργεια	43,95		41,72			46,09	39,57	75,03		18,67
Απόβ. μηχανημάτων	6,45	8,76	20,81	4,75 - 5,92	7,10 - 9,97	4,40	14,35	12,42	11,33	7,59
ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ	(20,18)	(10,29)	(7,29)	(46,63 - 51,40)	(38,07 - 70,35)	(21,2)	(22,3)	(20,12)	(4,18)	(20,89)
Άζωτο	18,86	9,03	2,56	42,69 - 46,03	34,85 - 36,12	20,20	21,10	18,42	3,47	18,94
Φόσφορος	1,32	1,26	4,73	3,94 - 4,25	3,22 - 3,33	1,00	1,20	1,70	0,42	1,95
Κάλι				0 - 1,12	0 - 0,9				0,29	
ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ	(6,09)	(9,67)	(1,14)	(1,17 - 1,37)	(1,26 - 1,80)	(4,1)	(1,25)	(3,07)	(1,34)	(3,15)
Εντομοκτόνα	3,31	3,69				2,10			1,12	1,49
Ζιζανιοκτόνα	2,78	4,34	1,14	0,98 - 1,18	0,3 - 0,8	2,00	1,25	3,07	0,22	1,66
Μικροκτόνα		1,64		0,19	0,96 - 1,0					2,19
Σπόροι	0,98	0,04	0,61	9,86 - 11,26	8,05 - 8,84	0,30	0,35	0,36	0,06	0,86
Σύνολο δειματοληψίας			11,97							

καπνού. Εάν ελαμβάνοντο ως εκροές και τα δευτερεύοντα υλικά (βιομάζα), τότε οι εκροές ως ποσότητα (kg/ha) αλλά και ως εκρέουσα ενέργεια θα ήταν πολύ υψηλότερες με αποτέλεσμα οι δείκτες να ήταν βελτιωμένοι.

Να παρατηρηθεί όμως ότι μέρος αυτής της βιομάζας (του παραπροϊόντος της καλλιέργειας) ή και το σύνολό της επαναχρησιμοποιείται από τις επόμενες καλλιέργειες όταν ενσωματώνεται στο έδαφος. Στις περιπτώσεις αυτές οι εισροές θα πρέπει να περιλαμβάνουν και την ενέργεια της φυτομάζας που ενσωματώνεται πάλι στο έδαφος.

Ο πίνακας 2 δίνει τις εισροές των ίδιων καλλιεργειών με κατανομή τους ανά συντελεστή παραγωγής. Οι ενεργειακές δαπάνες των λιπασμάτων δίνονται συνολικά και αναλυτικά. Το ίδιο και των φυτοφαρμάκων. Οι ενεργειακές δαπάνες των μηχανημάτων δηλαδή καύσιμο diesel, ηλεκτρική ενέργεια και ενεργειακή απόσβεση των μηχανημάτων δίνονται αναλυτικά και αθροιστικά, ώστε να φανεί το μέγεθος της συμβολής των στις συνολικές ενεργειακές δαπάνες.

#### **4. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ**

Από τους πίνακες 1 και 2 προκύπτουν τα ακόλουθα:

##### **4.1. Μηχανήματα**

Από τον πίνακα 2 φαίνεται ότι οι ενεργειακές δαπάνες που οφείλονται στα μηχανήματα (καύσιμο και ενσωματωμένη ενέργεια) καλύπτουν τα υψηλότερα ποσοστά του συνόλου των εισροών. Στις εαρινές καλλιέργειες κυμαίνεται σε ποσοστά 70-90%, ενώ στα χειμερινά σιτηρά 35-60%. Η μέγιστη συμμετοχή των μηχανημάτων στις ενεργειακές δαπάνες είναι προφανής λόγω της πλήρους εκμηχάνισης όλων των παραγωγικών σταδίων των καλλιεργειών. Ειδικότερα οι ενεργειακές εισροές που οφείλονται στα μηχανήματα επηρεάζονται: α) Από την ένταση χρήσης τους (καλλιεργητικά συστήματα, συστήματα κατεργασίας κ.ά.). β) Από την ορθολογική εκλογή ελκυστήρα και παρελκομένων καθώς και των άλλων αυτοκινούμενων μηχανημάτων. γ) Από το βαθμό ορθολογικής χρήσης τους καθώς και τις φροντίδες συντήρησής τους.

##### **4.2. Άρδευση**

Το ενεργειακό κόστος των αρδευόμενων εαρινών καλλιεργειών είναι σαφώς πολλαπλάσιο εκείνων των χειμερινών σιτηρών, γεγονός που οφείλεται τόσο στην εντατικότερη χρήση των μηχανημάτων όσο και κυρίως στις δαπάνες άρδευσης.

Η άρδευση των εαρινών καλλιεργειών, όταν γίνεται με άντληση νερού από βαθιές γεωτρήσεις καλύπτει ποσοστά των ενεργειακών εισροών που κυμαίνονται ανάλογα με την καλλιέργεια, την περιοχή, το βάθος άντλησης, το αρδευτικό συγκρότημα κ.ά. από 35-65% του συνόλου των δαπανών.

Οι υψηλές αυτές δαπάνες οφείλονται: α) Στις συνολικές ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται από τους αγρότες για την άρδευση των καλλιεργειών. β) Στο βάθος άντλησης. γ) Στον ολικό βαθμό απόδοσης των αρδευτικών συγκροτημάτων. δ) Στα συστήματα άρδευσης.

##### **4.3. Λίπανση**

Από τους πίνακες 1 και 2 φαίνεται ότι η λίπανση των καλλιεργειών απαιτεί σημαντικότερα ποσά ενέργειας. Στις χειμερινές καλλιέργειες, λόγω των μειωμένων συνολικών εισροών οι απαιτήσεις κυμαίνονται μεταξύ 40 και 50% των εισροών. Στις αρδευόμενες εαρινές, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων κυρίως άρδευσης αλλά και των

μειωμένων απαιτήσεων ορισμένων καλλιεργειών σε λιπαντικά στοιχεία, οι ενεργειακές εισροές της λίπανσης κυμαίνονται μεταξύ 5 και 20%. Οι μεγάλες ενεργειακές εισροές οφείλονται πρωτίστως στο άζωτο, λόγω και της μεγάλης ενσωματωμένης ενέργειας και των μεγάλων ποσοτήτων που χρησιμοποιούνται. Η συμμετοχή των άλλων στοιχείων (φώσφορος ή και κάλιο) είναι περιορισμένη λόγω της μικρότερης ενσωματωμένης ενέργειας και των μικρών ποσοτήτων. Αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση των ψυχανθών (μηδική) όπου η αζωτούχος λίπανση περιορίζεται δραστηκότατα λόγω της αζωτοδέσμευσης από τα αζωτοβακτήρια.

Η ενεργειακή ανάλυση εμφανίζει πολύ καθαρά το γνωστό ήδη πρόβλημα της μη ορθολογικής χρήσης των λιπασμάτων κυρίως των αζωτούχων. Αποτέλεσμα της οποίας είναι κυρίως η ρύπανση εδαφών και υδάτων αλλά και η αύξηση του κόστους παραγωγής. Μείωση επομένως των ποσοτήτων στις εντελώς απαραίτητες συμβάλλει και στην προστασία του περιβάλλοντος αλλά και στη μείωση του ενεργειακού κόστους. Ορθή πρακτική και πολιτική είναι η χρήση ψυχανθών στο σύστημα αμειψισποράς. Καλό είναι οι παραγωγοί να μην απομακρύνονται παντελώς από τις βασικές αρχές της επιστήμης και της τεχνικής κυρίως της αμειψισποράς, εκτός όλων των άλλων και για την επίλυση των προβλημάτων λίπανσης.

#### 4.4. Φυτοφάρμακα

Από τον πίνακα 2 φαίνεται ότι η χρήση φυτοφαρμάκων συμμετέχει στις ενεργειακές δαπάνες με ποσοστά που κυμαίνονται από 1-10% ανάλογα με την καλλιέργεια. Αν και η ενεργειακή δαπάνη για τα περισσότερα φυτά δεν θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως υψηλή, εντούτοις παρατηρείται μία συνεχής αύξηση της δαπάνης αυτής τα τελευταία χρόνια. Οι ενεργειακές δαπάνες των φυτοφαρμάκων οφείλονται κυρίως στην πολύ υψηλή ενσωματωμένη ενέργειά τους και δευτερευόντως στις ποσότητες που χρησιμοποιούνται. Η ορθολογική χρήση τους (εποχή, ποσότητα, είδος φυτοφαρμάκων, σωστή εφαρμογή κ.ά.) θα περιορίζαν αισθητά τις επεμβάσεις και τις ποσότητες με αποτέλεσμα μείωση των εισροών, κυρίως όμως μείωση του προβλήματος της μόλυνσης των εδαφών και των υδάτων καθώς και των γεωργικών προϊόντων από τα υπολείμματα. Ειδικότερα για τα ζιζανιοκτόνα θα πρέπει να γίνει κατανοητό από τους παραγωγούς ότι για μείωση των ενεργειακών εισροών και για καλύτερη καταπολέμηση αλλά κυρίως για άμβλυνση του προβλήματος της μόλυνσης του εδάφους και των υδάτων θα πρέπει να γίνεται συνδυασμένη χρήση ζιζανιοκτόνων και μηχανικής καταπολέμησης. Εκτός τούτων μείωση του πληθυσμού των ζιζανίων επιτυγχάνεται και με κατάλληλο σύστημα αμειψισποράς.

#### 4.5. Βαθμός απόδοσης της ενέργειας

Ως προς το βαθμό απόδοσης της ενέργειας παρατηρείται ότι μεταξύ των διαφορετικών καλλιεργειών υπάρχουν πολύ μεγάλες διαφορές, από 0,32 και 0,66 στις μπάμιες και το βαμβάκι αντιστοίχως μέχρι 5,43 και 6,25 για το καλαμπόκι για ενσίρωση και τη μηδική. Οι βαθμοί πάντως που εμφανίζονται στον πίνακα 1 δεν αποτελούν ασφαλή δείκτη για την ικανότητα φωτοσύνθεσης των φυτών και τη αποδοτικότερη χρήση της επικουρικής ενέργειας, για το λόγο ότι ως εκροές λαμβάνεται μόνο το “εμπορικό” τμήμα του φυτού (καρποί, φύλλα, φυτική μάζα). Για ασφαλή συμπεράσματα ως προς την αποδοτικότερη χρήση της επικουρικής ενέργειας αλλά και την ικανότητα φωτοσύνθεσης είναι απαραίτητος ο συνυπολογισμός στις εκροές όλων των προϊόντων των φυτών (καρποί, βλαστοί, ρίζες).

Παρά τα ανωτέρω όμως ο βαθμός απόδοσης αποτελεί έναν ασφαλή δείκτη για συγκρίσεις της ίδιας καλλιέργειας κάτω από διαφορετικά συστήματα ή διαφορετικές

εδαφοκλιματικές συνθήκες. Ο βαθμός απόδοσης θα μπορούσε να αυξηθεί είτε με μείωση των εισροών χωρίς όμως να επηρεασθούν οι εκροές (παραγωγή) είτε ακόμη και με ελαφρά αύξηση των εισροών η οποία όμως θα οδηγούσε σε ταχύτερη αύξηση των εκροών.

Μελέτες αύξησης του βαθμού απόδοσης στο βαμβάκι έδειξαν ότι μειώνοντας τις εισροές κατά 15% ,χωρίς να μειωθεί η παραγωγή, επήλθε αύξηση του βαθμού απόδοσης κατά περίπου 15%. Η μείωση των εισροών προήλθε κυρίως από την άρδευση, τη λίπανση και την καταπολέμηση των ζιζανίων.

Ανάλογες μελέτες στα ζαχαρότευτλα έδειξαν επίσης βελτίωση του βαθμού απόδοσης με μείωση της αζωτούχου λίπανσης, του νερού άρδευσης καθώς και των συστημάτων κατεργασίας του εδάφους είτε ανεξαρτήτως είτε και σε συνδυασμό μεταξύ τους.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα συμπεράσματα μπορούν να συνοψισθούν ως ακολούθως:

1. Παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις εισροές και εκροές μεταξύ των διαφορετικών φυτών, λόγω κυρίως των διαφορετικών απαιτήσεων σε καλλιεργητικές φροντίδες, άρδευση και λίπανση. Οι εαρινές αρδευόμενες καλλιέργειες απαιτούν σημαντικώς υψηλότερες εισροές σε σύγκριση με τις φθινοπωρινές

2. Οι ενεργειακές εισροές στις καλλιέργειες που μελετήθηκαν επηρεάζονται κυρίως από την άρδευση και τη λίπανση ιδιαίτερα την αζωτούχο.

3. Το ενεργειακό κόστος των μηχανημάτων είναι πολύ υψηλό λόγω της πλήρους εκμηχάνισης των περισσότερων καλλιεργειών.

4. Τα φυτοφάρμακα συμμετέχουν αρκετά στη διαμόρφωση του ενεργειακού κόστους. Μηχανική και χημική καταπολέμηση των ζιζανίων μπορεί να μειώσει τις εισροές και να προστατεύσει καλλίτερα το περιβάλλον από τη ρύπανση.

5. Ο βαθμός απόδοσης της ενέργειας είναι δυνατό να βελτιωθεί, σε πολλές καλλιέργειες, με ορθολογικότερη χρήση των μηχανημάτων και των λιπασμάτων.

6. Εναλλαγή καλλιεργειών (αμειψισπορά) στην οποία περιλαμβάνονται ψυχανθή συντελεί ώστε να μειώνονται οι ενεργειακές δαπάνες λίπανσης αλλά και οι δαπάνες καταπολέμησης των ζιζανίων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Pimentel, D., C.W. Hall. 1984. Food and energy resources. Academic Press. N.Y.
2. Stanhill, G. 1980. The energy cost of protected cropping: A comparison of six systems of tomato production. J. agric. Engng. Res 25: 145-154.
3. Avlani, R.K., W.J. Chancellor. 1977. Energy requirements for wheat production and use in California. Transactions of the ASAE. 20:429-437.
4. Slessor, M. 1973. Energy subsidy as criterion in food policy. J. Sci. Food Agric. 24 :1193-1209.
5. Fluck, R.C. 1976. To evaluate labor energy in food production. Agric. Engn. 57 (1) :31-32.
6. Fluck, R.C., C.D. Baird. 1982. Agricultural energetics. AVI. Publ. Co, Westport, Connecticut.
7. Flocas, A.A. 1980. Estimation and prediction of global solar radiation over Greece. Solar Energy. 24:63-70.



8. Katsoulis, B.D., C.E. Papachristopoulos. 1978. Analysis of solar radiation measurement at Athens Observatory and estimates of solar radiation in Greece. *Solar Energy*. 21:217-226.
9. Τσατσαρέλης, Κ.Α. 1991. Ενεργειακό ισοζύγιο βαμβάκοκαλλιέργειας στην περιοχή Καρδίτσας. *Επιστημονική Επετηρίδα του τμήματος Γεωπονίας*. Τόμος 28:249-268.
10. Tsatsarelis, C.A. 1991. Energy requirements for cotton production in Central Greece. *J. agric. Engng Res*. 50:239-246.
11. Tsatsarelis, C.A. 1992. Energy flow in sugarbeet production in Greece. *Applied Engineering in Agriculture*. 8(5):585-589.
12. Tsatsarelis, C.A., D.S. Koundouras. 1994. Energetics of baled alfalfa hay production in northern Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 49:123-130.
13. Tsatsarelis, C.A. 1993. Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 43:109-118.
14. Τσατσαρέλης, Κ.Α. 1996. Καλλιέργεια αραβοσίτου για ενσίρωση με σύστημα κατευθείαν σποράς σε ακαλλιέργητο έδαφος. *Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου «Εγγειοβελτιωτικά έργα, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εκμηχάνιση της γεωργίας»*. Λάρισα: 966-976.
15. Λιθουργίδης, Α.Σ., Κ.Α. Τσατσαρέλης. 1998. Καλλιέργεια επίσπορου αραβοσίτου με το σύστημα της κατευθείαν σποράς. *Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής*. Αθήνα :87-88.

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟΥ ΜΗΔΙΚΗΣ ΣΕ ΩΡΟ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

**Κ.Β. Ακριτίδης<sup>1</sup> , Α.Ν. Δημητριάδης<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Καθηγητής, <sup>2</sup> Επιστημονικός Συνεργάτης  
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη  
e-mail: akritid@agro.auth.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσομοίωση της διεργασίας της ξήρανσης μηδικής αποσκοπεί στην καλύτερη διερεύνηση του φαινομένου καθώς και στην εξαγωγή κατασκευαστικών δεδομένων για τα ξηραντήρια σταθερού σωρού. Η κατάστρωση του μοντέλου βασίστηκε σε ένα σύστημα πέντε διαφορικών εξισώσεων, λαμβάνοντας υπ' όψιν τόσο τις φυσικοχημικές ιδιότητες του προϊόντος όσο και ψυχομετρικά χαρακτηριστικά του αέρα ξήρανσης. Τα αποτελέσματα του προτεινόμενου μοντέλου καθώς και οι συντελεστές ξήρανσης που επεισέρχονται συγκρίνονται με πειραματικές μετρήσεις σε ξηραντήριο μηδικής σταθερού σωρού.

# MATHEMATICAL SIMULATION OF ALFALFA DRYING IN DEEP-BED

**C.B. Akritidis<sup>1</sup> , A.N. Dimitriadis<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Professor of Agricultural Engineering, <sup>2</sup> Research Assistant  
Dept of Agricultural Engineering  
Aristotle University of Thessaloniki, 54006 Thessaloniki – Greece  
e-mail: akritid@agro.auth.gr

## ABSTRACT

A mathematical simulation of the drying process of alfalfa is presented aiming to produce design data for alfalfa dryers. A fixed bed dryer was modeled through a system of five partial and ordinary differential equations. The differential equations, which describe the changes of the physical and chemical properties of the product, as well as the psychometric data of the drying air, were solved using the thin-layer drying theory. In order to check the accuracy of the model drying rate curves of various thin layers were calculated and the results compared with experimental measurements, under the same conditions.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων που περιγράφουν την ξήρανση σε ξηραντήρια χόρτου σταθερού σωρού μεγάλου βάθους, παρουσιάζουν συγκεκριμένες δυσκολίες επειδή βασικοί παράμετροι που επηρεάζονται στη διεργασία δεν παραμένουν σταθεροί σε όλη την διάρκεια της. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να συνδεθούν με τις μεταβλητές, όπως για παράδειγμα με την περιεχόμενη υγρασία του χόρτου, τη θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης και τη θερμοκρασία του υλικού, με τη διατύπωση εξισώσεων που προσεγγίζουν τις παραμέτρους αυτές σε σχέση με το χρόνο.

Το αποτέλεσμα της διεργασίας της ξήρανσης δεν είναι μόνο η μείωση της υγρασίας του ξηραίνόμενου υλικού, αλλά και η αλλαγή των φυσικών ιδιοτήτων του υλικού συναρτήσει του χρόνου. Με την μείωση της περιεχόμενης υγρασίας έχουμε αύξηση της ξηράς ουσίας αναγόμενο στον συνολικό όγκο και κατά συνέπεια αύξηση της συνολικής πυκνότητας του υλικού. Αυτό οδηγεί στην αύξηση των διάκενων μέσα στο υλικό και άρα στην ευκολότερη διέλευση του αέρα μέσα από το υλικό (αύξηση της ειδικής παροχής)

Ο στόχος της εργασίας είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων που σχετίζονται με τη διεργασία της ξήρανσης του χόρτου μηδικής και ο υπολογισμός της παροχής του αέρα μέσα στο σωρό, η οποία μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

Η διατύπωση των διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα ξήρανσης και του υλικού, γίνονται με τις ακόλουθες παραδοχές:

1. Η κατανομή του υλικού είναι ομοιόμορφη σ' όλο το χώρο.
2. Δεν υπάρχει απώλεια θερμότητας από τα τοιχώματα του ξηραντηρίου.
3. Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του υλικού είναι οι ίδιες σε όλο τον όγκο του
4. Η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα ξήρανσης μεταβάλλεται μόνο κατά τον άξονα X.
5. Η μεταβολή της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα ξήρανσης συναρτήσει του χρόνου ( $(\partial T / \partial x, \partial H / \partial x)$ ) είναι αμελητέες σε σύγκριση με τη μεταβολή τους συναρτήσει του διαστήματος  $\partial T / \partial x, \partial H / \partial x$ .
6. Η μεταβολή της υγρασίας του υλικού σ' όλο το βάθος του θεωρούμενου στρώματος πάχους  $\Delta x$  είναι η ίδια.
7. Η αρχική θερμοκρασία του υλικού είναι ίση με τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την έναρξη της διεργασίας.

Κατά την διάρκεια της ξήρανσης του υλικού, εξετάζουμε την διαφοροποίηση πέντε μεταβλητών: την θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης (T), την θερμοκρασία του υλικού ( $\Theta$ ), την απόλυτη υγρασία του αέρα ξήρανσης (H), την περιεχόμενη υγρασία του χόρτου και την ταχύτητα κίνησης του αέρα (v).

## 2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην κατάστρωση του μοντέλου είναι:

Εξίσωση μεταβολής της θερμότητας του αέρα,

$$\frac{dT}{dx} = \frac{K_f}{\rho_a \cdot v_a (c_a + Hc_v)} (T - \Theta) \quad (1)$$

Εξίσωση μεταβολής της θερμότητας του προϊόντος,

$$\frac{dT}{dt} = \frac{K_f}{\rho_m (c_m + Mc_w)} (T - \Theta) - \frac{\rho_a v_a}{\rho_m} \cdot \frac{h_{fg} + c_v (T - \Theta)}{c_m + Mc_w} \frac{\partial H}{\partial x} \quad (2)$$

Εξίσωση μεταβολής της μάζας των υδρατμών,

$$\frac{\partial H}{\partial x} = - \frac{\rho_m}{\rho_a v_a} \frac{dM}{dt} \quad (3)$$

Εξίσωση μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας,

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (4)$$

Εξίσωση της ταχύτητας κινήσεως του αέρα είναι:

$$v_{ai} = \frac{dx_i}{dt} \quad (5)$$

Επιλύοντας την εξίσωση (4) ως προς M, λαμβάνουμε την εξίσωση (6):

$$M = M_e + (M_o - M_e) e^{-kt} \quad (6)$$

### 3. ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Η ταχύτητα του αέρα δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ξήρανης, λόγω της συρρίκνωσης του υλικού καθώς η περιεχόμενη υγρασία του χόρτου αποβάλλεται. Αν q είναι η παροχή του αέρα και S η διατομή του υλικού, ο λόγος  $Q = q / S$  θα αναφέρεται ως ειδική παροχή και έχει διαστάσεις ταχύτητας. Όταν όμως ο αέρας διέρχεται από τη μάζα του υλικού, κινείται μόνο στους κενούς χώρους και η μέση πραγματική ταχύτητα του είναι:

$$v_{ai} = \frac{Q}{\varepsilon} \quad (7)$$

όπου  $\varepsilon$  είναι το πορώδες και δίνεται από την εξίσωση:

$$\varepsilon = 1 - \rho_m \left( \frac{\rho_w + M \rho_m}{\rho_w \cdot \rho_m} \right) \quad (8)$$

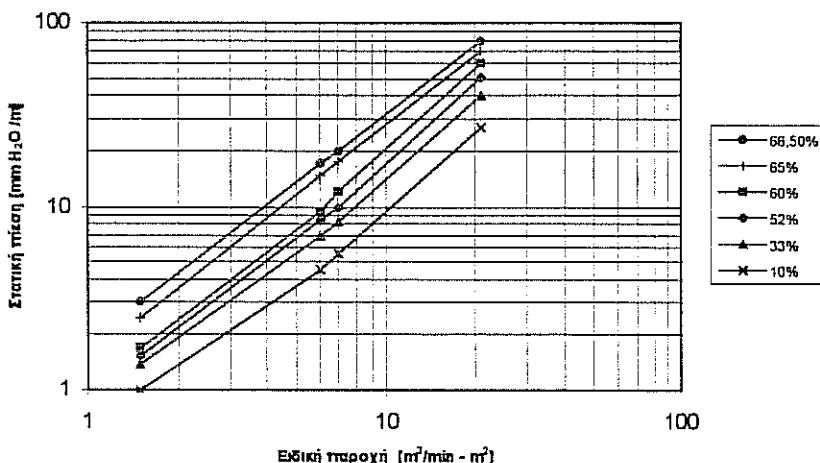
Η τιμή της ειδικής παροχής Q, ο οποία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ανεμιστήρα και την πτώση της στατικής πίεσης  $\Delta P$  του αέρα μέσα στη μάζα του υλικού [1], δίνεται από την εξίσωση:

$$Q = \alpha \Delta P^b \quad (9)$$

Ο Day [2] προσδιόρισε πειραματικά τις τιμές των σταθερών  $\alpha$ ,  $b$  για χόρτο μηδικής με διάφορες υγρασίες και παρέστησε τις συναρτήσεις σε νομογράφημα με λογαριθμικές συντεταγμένες (σχήμα 1). Με τον τρόπο αυτό οι συναρτήσεις των εξισώσεων (9) και (7) αν και παραβολικής μορφής μετατρέπονται σε ευθείες.

Με δεδομένη την ειδική παροχή του αέρα και την αρχική περιεχόμενη υγρασία του χόρτου, σε ένα πραγματικό ξηραντήριο, μπορούμε να προσδιορίσουμε το σημείο εκκίνησης της διεργασίας, στο νομογράφημα του σχήματος 1, αν από το σημείο εκκίνησης της διεργασίας P ( $Q_o$ ,  $M_o$ ) φέρουμε κάθετη στην ευθεία μεταβολής  $\Delta P=f(Q)$  που αντιπροσωπεύει την επόμενη μικρότερη υγρασία. Από το σημείο αυτό φέρουμε κάθετη στην ευθεία της επόμενης μικρότερης υγρασίας κ.ο.κ.

Με τη διαδικασία αυτή προσδιορίζεται η εξίσωση της καμπύλης  $Q=f(M)$ , η οποία συνδέει την ειδική παροχή του αέρα με την περιεχόμενη υγρασία του χόρτου. Για κάθε σωρό χόρτου με διαφορετική αρχική περιεχόμενη υγρασία, χαράζεται μια διαφορετική ευθεία. Όλες οι ευθείες, που προκύπτουν, είναι παράλληλες και ισχύουν στο πεδίο περιεχόμενων υγρασιών 10 έως 90 % ξ.ο.



Σχήμα 1 Καμπύλες μεταβολής πτώσης στατικής πίεσης συναρτήσει της ειδικής παροχής (περιεχόμενη υγρασία % φ.κ.)

Για τον υπολογισμό του ισορροπού ποσοστού υγρασίας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας  $T$  και της απόλυτης υγρασίας  $H$  εφαρμόστηκε η εμπειρική εξίσωση:

$$M_c = c_1 \frac{\sqrt{H}}{T^2} + c_2 \quad (10)$$

Οι τιμές των σταθερών  $c_1$  και  $c_2$  της εξίσωσης (10) υπολογίστηκαν από πειραματικά δεδομένα [3], [4] και [5], με στατιστική επεξεργασία τους:

$c_1 = 82.7$ ,  $c_2 = 0.34$  για  $M > M_c$  και  $c_1 = 350$ ,  $c_2 = 0.017$  για  $M < M_c$

όπου  $M_c = 0.36$  είναι το κρίσιμο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας επί ξηράς ουσίας για το χόρτο μηδικής [6].

Η σταθερά ξήρανσης της εξίσωσης (4) υπολογίστηκε από τους Callaghan et al. [3] για το χόρτο μηδικής:

$$k = 4.97 \cdot 10^{-5} e^{(0.07214 T_0)} \quad \text{για } M > M_c \quad (11)$$

$$k = 9.26 \cdot 10^{-6} e^{(0.07675 T_0)} \quad \text{για } M < M_c \quad (12)$$

Στις εξισώσεις (11) και (12) ορίστηκε ένας νέος αδιάστατος συντελεστής, τον οποίο ονομάσαμε δυναμικό ξήρανσης, και δίνεται από την σχέση:

$$\varepsilon = \frac{T - T_s}{T_0 - T_s} = \frac{P - P_s}{P_0 - P_s} \quad (13)$$

Εισάγοντας το δυναμικό ξήρανσης στις εξισώσεις (11) και (12) η σταθερά ξήρανσης, για το χόρτο μηδικής, γίνεται:

$$k = 4.97 \cdot 10^{-5} e^{(0.07214 \varepsilon T_0)} \quad \text{για } M > M_c \quad (14)$$

$$k = 9.26 \cdot 10^{-6} e^{(0.07675 \varepsilon T_0)} \quad \text{για } M < M_c \quad (15)$$

Για τιμές της περιεχόμενης υγρασίας του χόρτου μηδικής μικρότερες της δεύτερης κρίσιμης υγρασίας ( $M_{c2}$ ), στην εξίσωση (15) επεισέρχεται ο συντελεστής ενεργότητας

του νερού μέσα στο υλικό  $a_w$  (water activity), ο οποίος εκφράζει τον αδιάστατο λόγο της μερικής πίεσης του ατμού μέσα στο υλικό ( $P_p$ ) προς την πίεση κορεσμού σε ορισμένη θερμοκρασία ( $P_s$ ).

$$a_w = \frac{P_p}{P_s} \quad (16)$$

Η πίεση κορεσμού του αέρα  $P_s$  υπολογίζεται, σε  $P_a$ , με ικανοποιητική προσέγγιση [7]. Η ενεργότητα της υγρασίας μέσα στο υλικό είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του υλικού, της περιεχόμενης υγρασίας του και της σχετικής υγρασίας του αέρα ξήρανσης [8], [9], δηλαδή είναι  $\varepsilon = f(a_w, \Phi)$ . Επομένως, η ταχύτητα μεταβολής της υγρασίας του υλικού είναι συνάρτηση των παραμέτρων  $a_w = f(T, M)$  και  $\Phi = f(T, H)$ , δηλαδή είναι συνάρτηση δεύτερου βαθμού ως προς τη θερμοκρασία. Αν ληφθεί υπόψιν ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας του υλικού είναι αντιστρόφως ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της υγρασίας του, ο συντελεστής κινητικότητας, που επηρεάζεται στη σταθερά  $k$  είναι:

$$\mu = (1 - a_w)^2 \quad (17)$$

Η κινητικότητα της περιεχόμενης υγρασίας στο ξηραίνόμενο υλικό δεν επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα ξήρανσης στα στάδια σταθερής μεταβολής της υγρασίας και του πρώτου σταδίου μειούμενης ταχύτητας μεταβολής. Κατά τη διάρκεια όμως του δεύτερου σταδίου μειούμενης ταχύτητας ξήρανσης επιβραδύνεται σημαντικά η κινητικότητα της περιεχόμενης υγρασίας, λόγω των πολύπλοκων δεσμών συγκράτησης της υγρασίας.

Η κρίσιμη υγρασία έναρξης του δεύτερου σταδίου μειούμενης ταχύτητας ξήρανσης είναι  $M_{c2} = 0,2$  επί ξ.ο. [10].

Οι εξισώσεις (14) και (15) διαμορφώνονται ως εξής:

$$k = 4,97 \cdot 10^{-1} e^{0,07214 \cdot T_0} \quad \text{για } M > 0,36 \quad (18)$$

$$k = 9,26 \cdot 10^{-6} e^{0,07674 \cdot T_0} \quad \text{για } 0,2 < M < 0,36 \quad (19)$$

$$k = 9,26 \cdot 10^{-6} e^{0,07674 \cdot \mu \cdot T_0} \quad \text{για } 0,2 < M \quad (20)$$

Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραδοχές 2 και 5 και την εξίσωση (5), η εξίσωση (1) γίνεται:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{K_f}{\rho_a (c_a + Hc_v)} (T - \Theta) \quad (21)$$

Η τιμή του συντελεστή μεταφοράς της θερμότητας μέσα στο υλικό [11] είναι:

$$h_c = 0,1997 \left[ \frac{\rho_a V_a (T + 273)}{P_{at}} \right]^{0,6011} \quad (22)$$

Από τις εξισώσεις (2), (3), (6), λαμβάνουμε:

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{h_c - \rho_p c_v k (M - M_e)}{\rho_p (c_p + M c_w)} (T - \Theta) - \frac{h_{fg} k (M - M_e)}{c_p + M c_w} \quad (23)$$

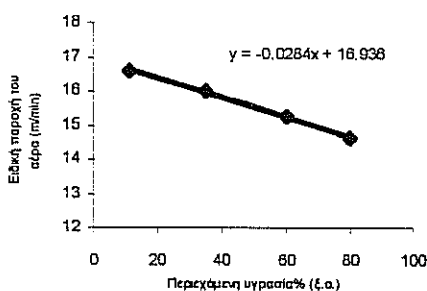
Οι εξισώσεις (21) και (23) αποτελούν σύστημα δυο διαφορικών εξισώσεων με δυο αγνώστους ( $T$ ,  $\Theta$ ) ως προς το χρόνο  $t$ , δηλαδή είναι σύστημα της μορφής:

$$\frac{dT}{dt} = f_2(t, T, \Theta) \quad \text{και} \quad \frac{d\Theta}{dt} = f_1(t, T, \Theta) \quad (24)$$

Το σύστημα αυτό δεν έχει αναλυτική λύση. Η αριθμητική λύση του επιτυγχάνεται με τη μέθοδο Runge-Kutta τέταρτης τάξης [12]. Το πρόγραμμα υπολογισμού του μοντέλου έχει δημιουργηθεί σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN.

#### 4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

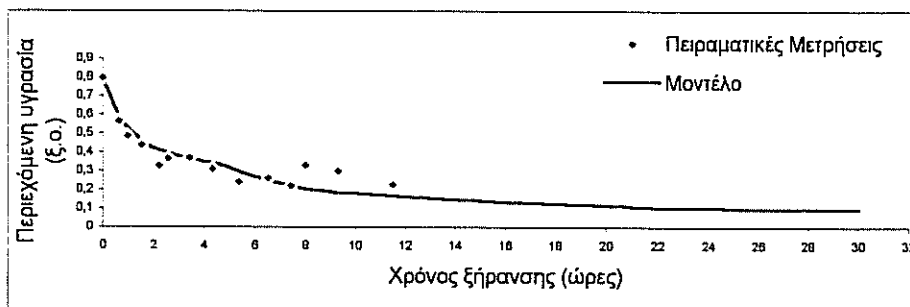
Για τον έλεγχο της ακρίβειας του μοντέλου, συγκρίθηκαν οι θεωρητικές καμπύλες ξήρανσης με πειραματικές μετρήσεις. Οι Clark and Lamond [13] μετρήσαν την περιεχόμενη υγρασία χόρτου μηδικής σε ξηραντήριο σταθερού σωρού, και τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα του μοντέλου για τις ίδιες συνθήκες ξήρανσης. Τα πειράματα έγιναν για διαφορετικές συνθήκες ξήρανσης (αρχική θερμοκρασία, βάθος σωρού, αρχική περιεχόμενη υγρασία του χόρτου, ειδική παροχή κλπ.).



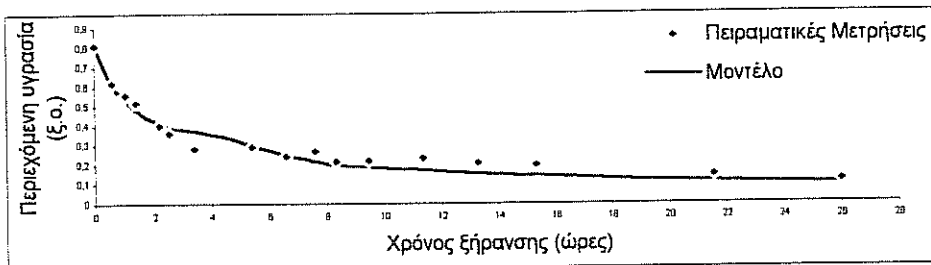
Σχήμα 2 Ειδική παροχή του αέρα συναρτήσει της περιεχόμενης υγρασίας του υλικού

Όπως έχει αναφερθεί η ειδική παροχή του αέρα δεν είναι σταθερή, κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Η στιγμιαία παροχή σε χρόνο  $\Delta t$  υπολογίζεται με τη βοήθεια του σχήματος 1 ως συνάρτηση της αρχικής υγρασίας του υλικού. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται, ενδεικτικά, η ειδική παροχή του αέρα για το πρώτο πείραμα. Η περιεχόμενη υγρασία του χόρτου μετρήθηκε σε τρία διαφορετικά βάθη σωρού: στο πρώτο, στο μεσαίο και στο τελευταίο στρώμα ξήρανσης. Ωστόσο τα πειραματικά δεδομένα του τελευταίου στρώματος παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διασπορά και ασυνέχειες, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους.

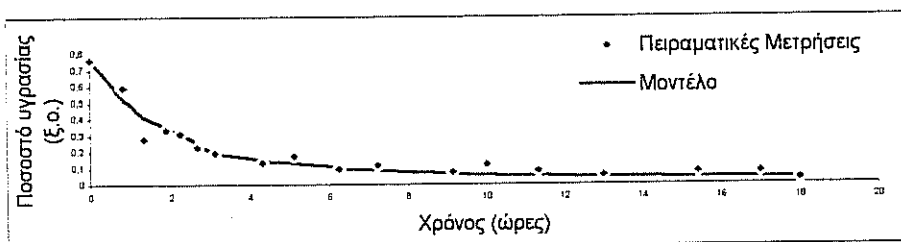
Στα σχήματα 3, 4, 5, 6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το στρώμα εισαγωγής του αέρα.



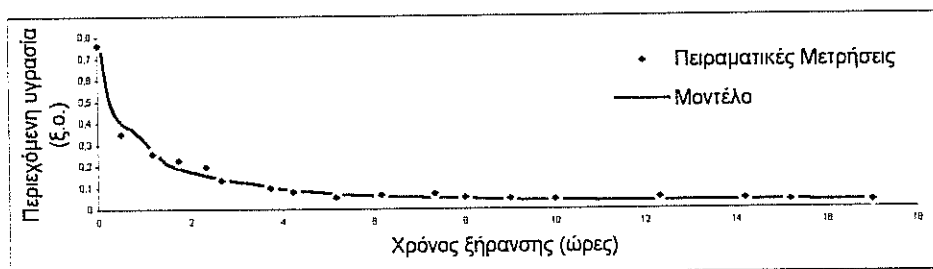
Σχήμα 3. Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το στρώμα εισαγωγής του αέρα (Πρώτο πείραμα)



Σχήμα 4. Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το στρώμα εισαγωγής του αέρα (Δεύτερο πείραμα)

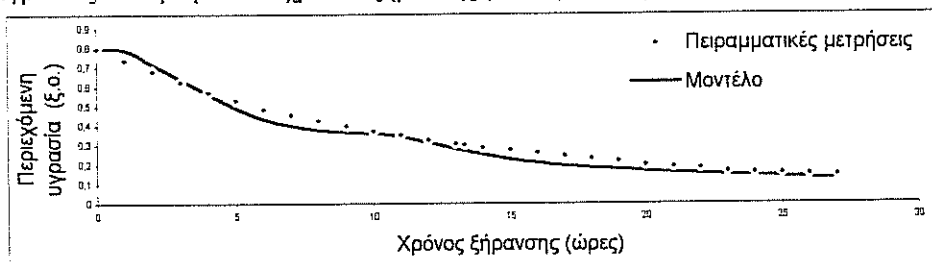


Σχήμα 5 Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το στρώμα εισαγωγής του αέρα (Τρίτο πείραμα)



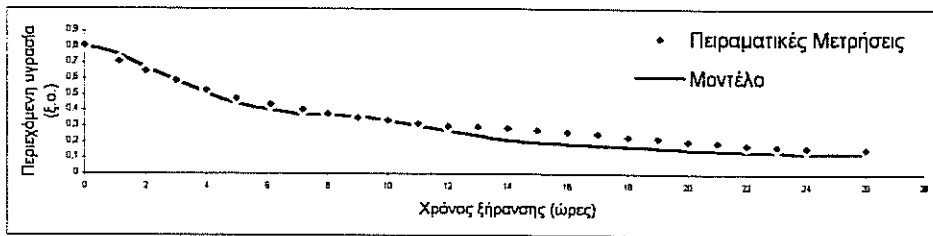
Σχήμα 6. Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το στρώμα εισαγωγής του αέρα (Τέταρτο πείραμα)

Στα σχήματα 7, 8, 9, 10 παρουσιάζονται τα διαγράμματα μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το μέσο στρώμα.

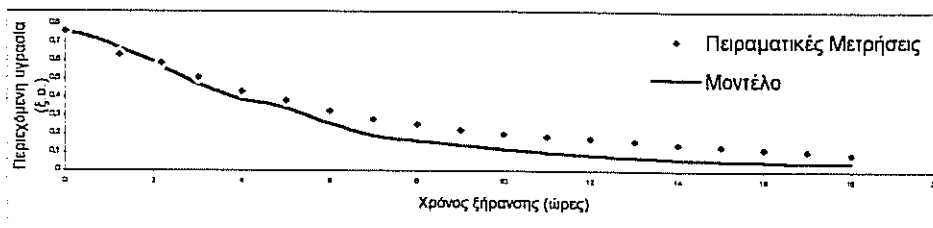


Σχήμα 7. Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το μέσο στρώμα ξήρανσης (Πρώτο πείραμα).

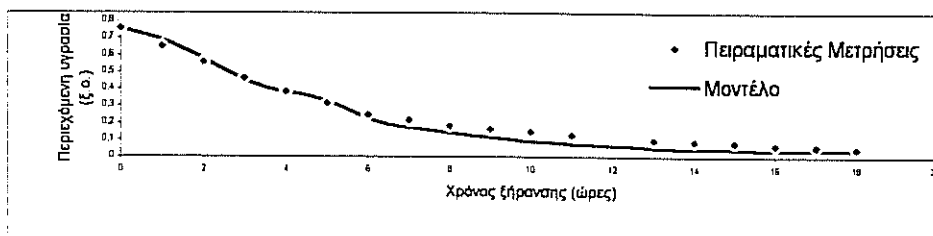




Σχήμα 8. Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το μέσο στρώμα ξήρανσης (Δεύτερο πείραμα).



Σχήμα 9. Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το μέσο στρώμα ξήρανσης (Τρίτο πείραμα).



Σχήμα 10. Μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης για το μέσο στρώμα ξήρανσης (Τέταρτο πείραμα).

Από τα σχήματα 3-10 φαίνεται ότι μέχρι ποσοστού υγρασίας 20% φ.κ., η καμπύλη του μοντέλου ακολουθεί τα πειραματικά σημεία, ενώ για μικρότερες τιμές (χαμηλότερες από το όριο ασφαλούς αποθήκευσης για την μηδική) παρουσιάζεται μικρή απόκλιση, με τελική τάση στο ισορροπο ποσοστό υγρασίας. Οι μικρές αποκλίσεις μπορεί να οφείλονται στο ότι η επιλογή των τιμών των παραμέτρων, που επηρεάζονται στις εξισώσεις, να διαφέρουν μεταξύ των θεωρητικών λύσεων και των πειραματικών μετρήσεων.

Τα πειραματικά αποτελέσματα για το μεσαίο στρώμα πιθανώς αναφέρονται σε ανηγμένες τιμές, γεγονός που επιτείνει την αναντιστοιχία μεταξύ των επιλεγισών τιμών των παραμέτρων. Ωστόσο αποδεικνύεται η καλή προσέγγιση της διεργασίας της ξήρανσης σε μεγάλο βάθος.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Με την προτεινόμενη μέθοδο είναι δυνατό να προβλεφθεί η περιεχόμενη υγρασία του ξηρανούμενου υλικού σε οποιοδήποτε βάθος και χρονική στιγμή.
2. Διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σημαντική συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων του μοντέλου και των πειραματικών δεδομένων, για περιοχές ξήρανσης μέχρι 20% φ.κ.
3. Οι παράμετροι που υπεισέρχονται για πρώτη φορά στην ανάλυση της παρούσας εργασίας και συνδέονται με τα χαρακτηριστικά του αέρα ξήρανσης ( $\epsilon$ ) και την κινητικότητα του νερού στο υλικό ( $\mu$ ), συμβάλουν στην επιτυχή προσέγγιση του φαινομένου της διεργασίας.

## ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

$a_w$	συντελεστής ενεργότητας του νερού μέσα στο υλικό,	
$c_a$	ειδική θερμότητα του αέρα,	$\text{KJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
$c_m$	ειδική θερμότητα του χόρτου,	$\text{KJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
$c_v$	ειδική θερμότητα του ατμού,	$\text{KJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
$c_w$	ειδική θερμότητα του νερού,	$\text{KJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
$\epsilon$	πορώδες δεκαδικός,	
$H$	απόλυτη υγρασία του αέρα,	$\text{kg kg}^{-1}$
$h_c$	συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	$\text{KJ m}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1}$
$h_{fg}$	λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης,	$\text{KJ kg}^{-1}$
$h_{fm}$	λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης από το υλικό,	$\text{KJ kg}^{-1}$
$k$	σταθερά ξήρανσης,	
$K_f$	θερμική αγωγιμότητα του αέρα,	$\text{W/m}^2 \text{K}$
$M$	περιεχόμενη υγρασία του, % η δεκαδικός	$\text{kg kg}^{-1}$
$M_{c1}$	κρίσιμη υγρασία, δεκαδικός	
$M_{c2}$	δεύτερη κρίσιμη υγρασία, δεκαδικός	
$M_e$	ισόρροπο ποσοστό υγρασίας,	$\text{kg kg}^{-1}$
$P$	ολική πίεση,	$\text{kg m s}^{-2}$
$P_{at}$	ατμοσφαιρική πίεση,	$\text{kg m s}^{-2}$
$P_o$	αρχική πίεση ξηρού αέρα,	$\text{kg m s}^{-2}$
$P_s$	πίεση κορεσμού του αέρα,	$\text{kg m s}^{-2}$
$P_v$	πίεση ατμού,	$\text{kg m s}^{-2}$
$P_w$	πίεση κορεσμένου ατμού,	$\text{kg m s}^{-2}$
$Q$	ειδική παροχή,	$\text{m}^3 \text{min m}^{-2}$
$S$	επιφάνεια ελέγχου,	$\text{m}^2$
$t$	χρόνος,	$\text{s}$
$T$	θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης,	$^{\circ}\text{C}$
$T_w$	θερμοκρασία δρόσου,	$^{\circ}\text{C}$
$T_s$	θερμοκρασία του κορεσμένου αέρα,	$^{\circ}\text{C}$
$v_a$	ταχύτητα κινήσεως του αέρα,	$\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-2}$
$v_{ai}$	μέση πραγματική ταχύτητα κινήσεως του αέρα,	$\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-2}$
$\rho_a$	πυκνότητα του αέρα,	$\text{kg m}^{-3}$
$\rho_m$	πυκνότητα του προϊόντος,	$\text{kg m}^{-3}$
$\rho_w$	πυκνότητα του νερού,	$\text{kg m}^{-3}$
$V$	όγκος,	$\text{m}^3$
$\mu$	συντελεστής κινητικότητας	
$\Theta$	θερμοκρασία του προϊόντος,	$^{\circ}\text{C}$

$\Phi$	σχετική υγρασία του αέρα, % η δεκαδικός	
$x$	συντεταγμένες σωρού,	m
$X$	συνολικό βάθος σωρού,	m

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Shedd C.K. 1953. Resistance of grains and seeds to air flow. *Agric. Engng.* 34: 616.
2. Day C.L. 1964. Resistance of Hay to Air Flow. Research Bulletin 864. University of Missouri – Columbia, U.S.A.
3. O'Callaghan J.R., Menzies D.J. and Bailey P.H., 1971. Digital simulation of agricultural drier performance, *J. Agric. Engng Res.* 16: 223-244
4. Hall C.W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. AVI Publ. Co.
5. Ακριτίδης Κ.Β. 1977. Μαθηματική Ανάλυση και Επίλυση του προβλήματος χόρτου σε ξηραντήρια Μεγάλου Βάθους, Διατριβή επί Υφηγεσία, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη 1977
6. Henderson J.M., Henderson S.M. 1968. A computation procedure for deep-bed drying analysis. *J. Agric. Engng. Res.* 13:87-95.
7. Ακριτίδης Κ.Β. 1993. Ξήρανση – Αποθήκευση Γεωργικών προϊόντων, Θεσσαλονίκη.
8. Pakowski Z. 1999. Impressions of IDS'98. *Drying Technology*, 17(6), 1247-1253.
9. Azzouz S., Jomaa W., Belghith A. 1998. Drying kinetic equation of single layer of grapes. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS'98). Halkidiki, Greece. Vol. B, pp. 988-997.
10. Dexter S.T., Sheldom W.H., Waldran D.I. 1947, Equilibrium moisture content of alfalfa hay. *Agric. Engng.* (28) 295-296.
11. Spencer H.B., 1969. A mathematical simulation of grain drying. *J. Agric. Engng. Res.* 14: 226-235.
12. Conte S.B., De Boor C. 1972. Elementary numerical analysis: An Algorithmic approach, McGram – Hill Book Company (second edition)
13. Clark R.G., Lamond W.J. 1968. Forced air drying of herbage: effect of drying air conditions, *J. Agric. Engng. Res.* 13 (1) 19-26.

# **ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΑ ΜΕ ΜΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΗΣ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**A.N. Δημητριάδης, Κ.Β. Ακριτίδης , Κ.Γ. Αρβανίτης**

**Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
540 06 Θεσσαλονίκη, e-mail: akritid@agro.auth.gr**

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σημαντικό μέρος της απαιτούμενης ενέργειας για την εξάτμιση του νερού, σε βιομηχανικούς ξηραντήρες, μπορεί να εξοικονομηθεί με την ανάκτηση της λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών, μέσω συστήματος δύο εναλλακτών θερμότητας και τρίοδης δικλείδας ροής του αέρα ξηράνσεως. Στην εργασία αυτή βελτιστοποιείται η λειτουργία του συστήματος με αυτόματο έλεγχο της λειτουργίας του. Διαπιστώθηκε ότι είναι δυνατή η εξοικονόμηση 20-45% της απαιτούμενης ενέργειας για τη θέρμανση του αέρα ξήρανσης, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του αέρα κατά την έξοδο του από το ξηραντήριο.

## **ENERGY SAVING IN DRYING PLANTS BY PARTIAL RECOVERY OF THE LATENT HEAT**

**A.N. Dimitriadis, C.B. Akritidis and K.G. Arvanitis**

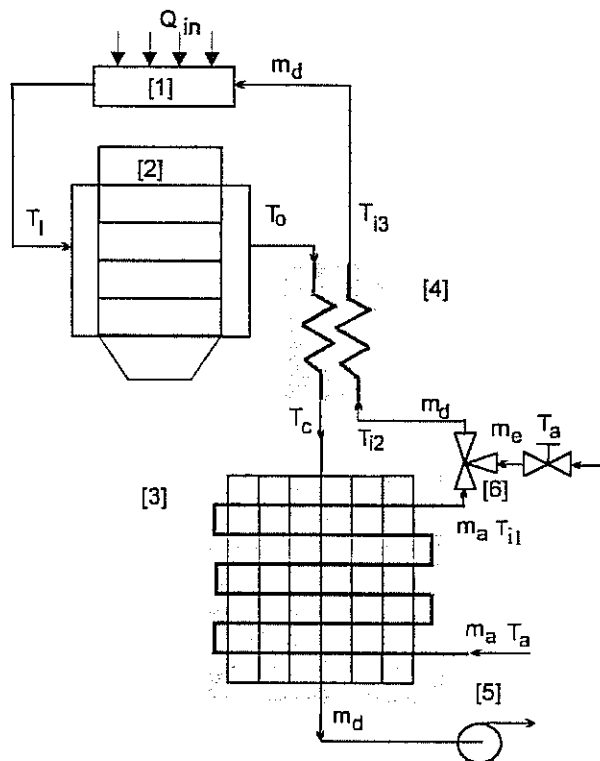
**Dept of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering  
Aristotle University of Thessaloniki, 540 06 Thessaloniki, Greece  
E-mail: akritid@agro.auth.gr**

## **ABSTRACT**

A system to save energy in drying plants has been presented in previous papers. Recovering part of the latent heat of the vapor that is evaporated from the material being dried can save energy. The heat recovery is accomplished through a two-stage heat exchanger system, wherein the first stage brings the primary circuit to vapor saturation conditions, while the second stage acts as a condenser. Optimization of the system operation and an automated process control implementation is presented in this work. An amount of 20 to 45 % of the energy demand can be saved depending mainly on the temperature of the drying air at the exit of the drier.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βιομηχανικοί ξηραντήρες συνήθως λειτουργούν με μεγάλες θερμικές απώλειες, κυρίως λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα ξήρανσεως, ο οποίος εξέρχεται ακόρεστος με σχετικά υψηλή θερμοκρασία. Ένα μέρος της αποβαλλόμενης θερμικής ενέργειας μπορεί να ανακυκλωθεί με την τοποθέτηση απλού εναλλάκτη θερμότητας στην έξοδο του ξηραντηρίου, μέσω του οποίου προθερμαίνεται ο αέρας ξήρανσης [1]. Με τη μέθοδο αυτή δεν είναι δυνατό να ανακτηθεί η λανθάνουσα θερμότητα των ατμών που έχουν εξατμισθεί από το ξηραίνόμενο υλικό, εκτός εάν εφαρμοστούν αντλίες θερμότητας, οι οποίες επιβαρύνουν κατά πολύ το κόστος ξήρανσης [2]. Οι Moraitis and Akritidis [3] πρότειναν ένα σύστημα που προσαρμόζεται σ' οποιονδήποτε ξηραντήρα για την εξοικονόμηση ενέργειας με μερική ανάκτηση της λανθάνουσας θερμότητας του εξερχόμενου αέρα. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει δύο εναλλάκτες θερμότητας με σειριακό πρωτεύον κύκλωμα. Με τον πρώτο εναλλάκτη δημιουργούνται συνθήκες κορεσμού μέρους των εξερχομένων υδρατμών, ενώ με τον δεύτερο εναλλάκτη οι κορεσμένοι υδρατμοί συμπυκνώνονται. Με την διεργασία αυτή ανακτάται μέρος της λανθάνουσας θερμότητας των εξερχομένων από τον ξηραντήρα υδρατμών. Το διάγραμμα της όλης εγκατάστασης φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Διάταξη του συστήματος

Ο αέρας ξήρανσης θερμαίνεται στην πηγή (1) και παροχετεύεται στο ξηραντήριο (2) με θερμοκρασία  $T_i$ , από το οποίο εξέρχεται με θερμοκρασία  $T_o$ . Ο εξερχόμενος αέρας κατά κανόνα είναι ακόρεστος, δηλαδή, η θερμοκρασία  $T_o$  είναι σημαντικά υψηλότερη από τη θερμοκρασία κορεσμού  $T_c$ , η οποία αντιστοιχεί στη μερική πίεση των υδρατμών που περιέχονται στον εξερχόμενο αέρα. Διοχετεύοντας τον αέρα, που εξέρχεται από το ξηραντήριο, στο πρωτεύον ρεύμα του εναλλάκτη θερμότητας (4) μπορεί να μειωθεί η θερμοκρασία του από  $T_o$  στη θερμοκρασία κορεσμού  $T_c$ , προθερμαίνοντας έτσι το δευτερεύον ρεύμα, το οποίο αποτελεί τη ροή μάζας του αέρα ξήρανσης. Οι παροχές μάζας στο πρωτεύον και δευτερεύον ρεύμα αυτού του εναλλάκτη είναι πρακτικά ίσες. Επομένως η αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία μπορεί να επιτευχθεί για την προθέρμανση του αέρα ξήρανσης,  $T_{i3}-T_{i2}$  είναι ίση με  $T_o-T_c$ . Για να επιτευχθεί αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας πρέπει η θερμοκρασία  $T_{i2}$  να είναι μερικούς βαθμούς χαμηλότερη από την θερμοκρασία  $T_c$ . Αυτή η διαφορά της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται εάν ατμοσφαιρικός αέρας παροχής  $m_a$  προθερμανθεί από τον εναλλάκτη συμπύκνωσης (3) και στη συνέχεια η μάζα που έχει προθερμανθεί αναμιχθεί με μία ποσότητα ατμοσφαιρικού αέρα παροχής  $m_e$ . Με τη διεργασία αυτή, μέρος των υδρατμών του πρωτεύοντος ρεύματος συμπυκνώνονται μέσα στον εναλλάκτη συμπύκνωσης ελευθερώνοντας σημαντική ποσότητα της λανθάνουσας θερμότητας των συμπυκνούμενων υδρατμών. Η αναλογία της παρεχόμενης μάζας ατμοσφαιρικού αέρα  $m_a$  ως προς τη συνολική παροχή  $m_a$  ( $m_a=m_a+m_e$ ) ελέγχεται με ένα σύστημα τριοδικής ηλεκτροβάνας.

Από την προηγηθείσα περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος γίνεται φανερό ότι πρέπει να επιτευχθούν οι βέλτιστες τιμές ενός αριθμού παραμέτρων, οι οποίες εξαρτώνται από το χαρακτηριστικά του ξηραίνόμενου υλικού και τις συνθήκες ξήρανσης, αλλά και από έμμεσες παραμέτρους οι οποίες διασφαλίζουν την μεγιστοποίηση της ανάπτυξης της θερμότητας. Ο έλεγχος των παραμέτρων αυτών γίνεται με μικροϋπολογιστή μέσω μιας σειράς αριθμητικών και αναλογικών σημάτων εισόδου και εξόδου για τη συνεχή συλλογή των αναγκαίων δεδομένων και τον προσδιορισμό των βέλτιστων τιμών, οι οποίες πραγματοποιούνται με τους κατάλληλους ενεργοποιητές. Για την εκτίμηση της ποσότητας της ανακτόμενης θερμότητας, έχουν διερευνηθεί οι παράμετροι ξήρανσης, οι οποίες δίνουν την βέλτιστη αναλογία  $m_a/m_e$ , ως συναρτήσεις της θερμοκρασίας  $T_o$  και της σχετικής υγρασίας του εξερχόμενου αέρα από το ξηραντήριο.

## 2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 2.1. Μαθηματικό μοντέλο των εναλλακτών θερμότητας

Όλες οι διατάξεις που έχουν περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο αφορούν την εκτίμηση της απαιτούμενης ενέργειας για τη λειτουργία του ξηραντηρίου, ανεξάρτητα από τις διατάξεις ανάκτησης της θερμότητας. Εντούτοις, εφόσον οι διατάξεις εγκατασταθούν προσδιορίζουν και τις παραμέτρους που αφορούν το σύστημα των εναλλακτών θερμότητας. Η μέγιστη ποσότητα θερμότητας, που μπορεί να ανακτηθεί, υπολογίζεται από ένα σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων με μία ανεξάρτητη παράμετρο, δηλαδή, την αναλογία  $m_a / m_e$ . Το σύστημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με οποιαδήποτε μέθοδο ελαχιστοποίησης [4] ώστε να προσδιοριστεί ο λόγος  $m_a/m_e$ , ο οποίος μεγιστοποιεί την ποσότητα της ανακτόμενης θερμότητας. Έτσι υπολογίζεται ο βέλτιστος λόγος ανάμιξης των

μαζών. Η βέλτιστη αυτή συνθήκη επιτυγχάνεται με ενεργοποίηση της τριόδου ηλεκτροβάνας (6) του σχήματος 1, μέσω της οποίας δημιουργούνται οι δύο ροές μάζας του αέρα (τα δύο ρεύματα του αέρα).

$$\Delta Q_{(4)IN} = (\dot{m}_d c_{pa} + \dot{m}_v c_{pw})(T_o - T_e) \quad (1)$$

$$\Delta Q_{(4)OUT} = K_1 \dot{m}_d (T_{i3} - T_{i2}) \quad (2)$$

$$\Delta Q_{(3)IN} = K_2 \dot{m}_w h_{fg} \quad (3)$$

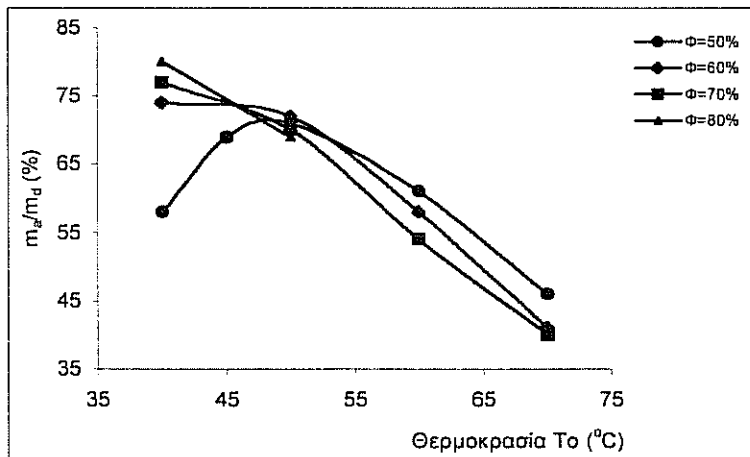
$$\Delta Q_{(3)OUT} = \dot{m}_a c_p (T_{i1} - T_a) \quad (4)$$

$$\dot{m}_e T_a c_{pa} + \dot{m}_a T_{i1} c_{pa} = \dot{m}_d T_{i2} c_{pa} \quad (5)$$

$$\dot{m}_e + \dot{m}_a = \dot{m}_d \quad (6)$$

## 2.2. Αυτόματος έλεγχος της βελτιστοποίησης

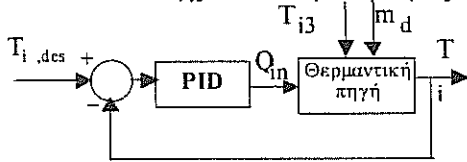
Η επίλυση του παραπάνω συστήματος εξισώσεων ως προς τον λόγο  $\dot{m}_a/\dot{m}_d$  με τον οποίο μεγιστοποιείται η ποσότητα της ανακτόμενης θερμότητας φαίνεται στο σχήμα 2, για διάφορες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα εξόδου από το ξηραντήριο.



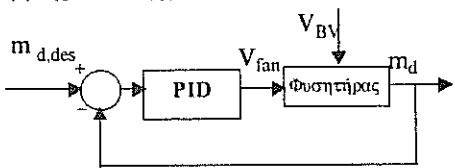
Σχήμα 2. Λόγος των μαζών ροής ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του εξερχόμενου αέρα, για διάφορες τιμές της σχετικής υγρασίας.

Από άποψη αυτομάτου ελέγχου της διεργασίας, υπάρχουν τρεις κύριες ποσότητες, οι οποίες πρέπει να ρυθμιστούν: (α) Η θερμοκρασία  $T_i$ . Σ' αυτό το κύκλωμα ελέγχου απαιτούνται οι τιμές  $T_{i3}$  και  $\dot{m}_a$ , οι οποίες είναι γνωστές (μετρήσιμες) διαταραχές και μπορούν να αποσβεστούν μέσω ενός PID ρυθμιστή. Στο σχήμα 3 φαίνεται η διαδικασία ελέγχου και οι μεταβλητές του βρόχου ελέγχου. (β) Η παροχή μάζας  $\dot{m}_a$ . Το επιθυμητό μέγεθος λαμβάνεται με ρύθμιση της τάσης  $V_{fan}$  του ανεμιστήρα. Στο σχήμα 4 φαίνεται η διαδικασία ελέγχου και οι μεταβλητές του βρόχου ελέγχου. (γ) Η θερμοκρασία στην έξοδο

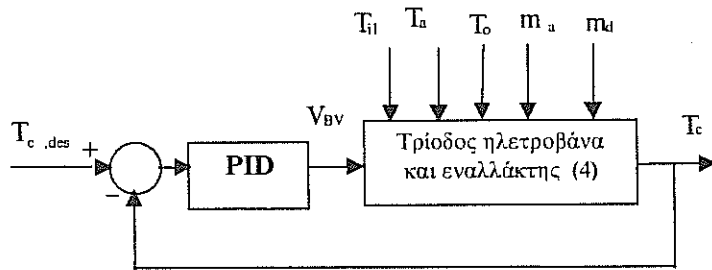
του εναλλάκτη αντιρροής  $T_c$ . Γι' αυτό το κύκλωμα ελέγχου απαιτούνται οι τιμές  $T_{i2}$ ,  $T_a$ ,  $T_o$ , καθώς και οι παροχές μάζας  $m_a$ ,  $m_d$ , οι οποίες είναι γνωστές (μετρήσιμες) διαταραχές και μπορούν να αποσβεστούν μέσω ενός PID ρυθμιστή, ο οποίος σχεδιάστηκε έτσι ώστε το σήμα εξόδου να διατηρεί την τιμή της επιθυμητής θερμοκρασίας συμπύκνωσης  $T_{c,des}$ . Στο σχήμα 5 φαίνεται η διαδικασία ελέγχου και οι μεταβλητές του βρόχου ελέγχου.



Σχήμα 3. Έλεγχος της θερμοκρασίας  $T_i$



Σχήμα 4. Έλεγχος της παροχής  $m_d$



Σχήμα 5. Έλεγχος της θερμοκρασίας  $T_c$

Όλες οι διεργασίες ελέγχου, που έχουν περιγραφεί μπορούν να πραγματοποιηθούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη και να επιλεγεί ο κατάλληλος PID ρυθμιστής, σύμφωνα με τις οδηγίες που έχουν περιγραφεί [5]. Οι παράμετροι του PID ρυθμιστή μπορούν να μεταβληθούν αυτομάτως με μεταβολή των μετρήσιμων φορτίων, μέσω αυτορυθμιζόμενων τεχνικών. Ας σημειωθεί ότι οι επιθυμητές τιμές των  $T_i$  και  $m_d$  πρέπει να προυπολογισθούν με δεδομένες τις βέλτιστες συνθήκες ξήρανσης, οι οποίες σχετίζονται με το συγκεκριμένο ξηραίνόμενο υλικό. Οι ενεργοποιητές οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο σύστημα ελέγχου είναι η παρεχόμενη θερμότητα από την πηγή θέρμανσης,  $Q_{in}$ , ο ανεμιστήρας και η δικλείδα ροής αντίστοιχα.

Για την προσομοίωση του όλου συστήματος ελέγχου, παρουσιάζονται παρακάτω τα μαθηματικά μοντέλα καθενός από τα υποσυστήματα που έχουν περιγραφεί. Τονίζεται ότι η παρακάτω ανάλυση αφορά τη διαδικασία ελέγχου των μετρήσιμων μεγεθών χωρίς να παρουσιάζονται οι μηχανισμοί των υποσυστημάτων ελέγχου.

### 2.2.1. Προσομοίωση λειτουργίας της πηγής θερμότητας

Η ποσότητα θερμότητας  $Q_{in}$  ρυθμίζεται μέσω μεταβολής τάσης. Δηλαδή, είναι ένα αναλογικό σήμα. Υποθέτοντας ότι οι απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον είναι αμελητέες σε σύγκριση με την θερμότητα που παροχετεύεται στον αέρα ξήρανσης, ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{dT_i}{dt} = -\frac{m_d}{V}(T_i - T_{i3}) + Q_{in} \frac{1}{c_p V} \quad (7)$$



Υποθέτοντας μηδενικές αρχικές συνθήκες η περιγραφή με όρους του μετασχηματισμού Laplace γράφεται:

$$T_i(s) = \frac{1}{\frac{c_p m_d}{V} s + 1} Q_{in}(s) + \frac{1}{\frac{V}{m_d} s + 1} T_{i3}(s) = \frac{K_e}{\tau_e s + 1} Q_{in}(s) + \frac{1}{\tau_e s + 1} T_{i3}(s) \quad (8)$$

όπου το κέρδος και η χρονική σταθερά της διεργασίας εκφράζονται ως:

$$K_e = \frac{1}{c_p m_d}, \quad \tau_e = \frac{V}{m_d}$$

Η εξίσωση (8) εκφράζει ένα σύστημα πρώτου βαθμού. Η συνάρτηση  $Q_{in}(t)$  αποτελεί την ελεγχόμενη τιμή εισόδου και η συνάρτηση  $T_{i3}(t)$  αποτελεί ένα μετρήσιμο φορτίο διεργασίας.

### 2.2.2. Προσομοίωση λειτουργίας του ανεμιστήρα

Θεωρώντας ως μηδενική την αδράνεια της ροής του αέρα, στο σύστημα υπεισέρχεται μόνο η δυναμική της ροπής αδρανείας του ανεμιστήρα. Για την περιγραφή αυτής της δυναμικής είναι ικανοποιητικό ένα μοντέλο πρώτης τάξης, το οποίο κατά κανόνα δίνει ακριβή προσέγγιση στην εκκίνηση και λειτουργία μικρών κινητήρων. Ας σημειωθεί ότι, η σταθερά χρόνου για τέτοιους κινητήρες είναι 2-5 s, η οποία είναι εφικτή δεδομένου ότι η σταθερά χρόνου ενός πηνίου είναι μικρότερη από 0,05 s. Οι παράμετροι αυτού του συστήματος πρώτης τάξης μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν με δοκιμαστικές μετρήσεις της απόκρισης του κυκλώματος έναρξης και λειτουργίας του κινητήρα. Ο βαθμός ανοίγματος της δικλείδας ροής του αέρα αποτελεί ένα από τα μετρήσιμα φορτία του συστήματος, καθόσον είναι προφανές ότι επηρεάζει σημαντικά την απαιτούμενη παροχή του αέρα ξήρανσης.

### 2.2.3. Προσομοίωση λειτουργίας της δικλείδας ροής

Η δικλείδα ροής (Butterfly Valve-BV) ρυθμίζει την παροχή μάζας  $m_e$ . Όταν η δικλείδα είναι εντελώς κλειστή θα είναι  $BV=0$  και  $m_e=0$ , ενώ όταν είναι εντελώς ανοικτή θα είναι  $BV=1$  και  $m_e=m_{e,max}$ , η οποία είναι συνάρτηση της ροής μάζας του αέρα ξήρανσης  $m_a$ . Επομένως, η δικλείδα ροής λειτουργεί ως ένας ολοκληρωτής με κατώτερο και ανώτερο όριο κορεσμού 0 και 1, αντίστοιχα, ενώ το βήμα μεταβολής εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της διόδου ροής. Το βήμα μεταβολής είναι κατά προσέγγιση ανάλογο της παροχής μάζας  $m_a$ . Εάν η λειτουργία της δικλείδας ελέγχεται από τάση  $V_{BV}$ , έχουμε:

$$m_e = K_{BV} m_a \int_0^t V_{BV} dt, \quad \text{με εύρος μεταβολής } 0 < \int_0^t V_{BV} dt < 1.$$

Υποθέτοντας πλήρη μίξη των μαζών των δύο ρευμάτων ροής, ισχύει:

$$T_{i2} m_d = T_{i1} m_a + T_a m_e = T_{i1} (m_d - m_e) + T_a m_e = T_{i1} m_d + (T_a - T_{i1}) m_e$$

$$\text{Επομένως, } T_{i2}(t) = T_{i1} + (T_a - T_{i1}) K_{BV} \int_0^t V_{BV} dt \quad (9)$$

όπου,  $T_{i1}$  και  $T_a$  είναι τα μετρούμενα φορτία της διεργασίας.

### 2.2.4. Προσομοίωση του εναλλάκτη θερμότητας αντιρροής

Στο υποσύστημα αυτό η ελεγχόμενη θερμοκρασία εισόδου (πρωτεύουσα ροή) είναι η  $T_{i2}$  και η επιθυμητή θερμοκρασία διεργασίας στην έξοδο (δευτερεύουσα ροή) είναι η θερμοκρασία  $T_c$ . Ένα μοντέλο πρώτης τάξης είναι δυνατό να περιγράψει την λειτουργία του εναλλάκτη θερμότητας. Η διατύπωση του μοντέλου αυτού προκύπτει από τις εξισώσεις (1) και (2), ως εξής:

$$T_{i3} - T_{i2} = \lambda(T_o - T_e) \quad (10)$$

όπου  $\lambda$  είναι μετρήσιμος πειραματικός συντελεστής. Αναγκαία συνθήκη για τη λειτουργία του εναλλάκτη θερμότητας αντιρροής είναι  $T_c > T_{i2}$ . Επομένως, το πρόβλημα ανάγεται σε έλεγχο της θερμοκρασίας  $T_{i2}$  στην έξοδο του εναλλάκτη ώστε να διατηρείται πάντοτε σε επίπεδο χαμηλότερο της θερμοκρασίας συμπύκνωσης  $T_c$ . Η συνθήκη αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση της κατάλληλης δικλείδας ροής.

Εφόσον ισχύει η εξίσωση (10) και εφόσον για τη βέλτιστη λειτουργία πρέπει να είναι  $T_{i3} - T_o \rightarrow 0$ , το κέρδος του μοντέλου πρέπει να είναι  $K_{he} \cong \lambda$ . Η σταθερά χρόνου της διεργασίας, η οποία εξαρτάται από την θερμοχωρητικότητα και την αντίσταση της θερμικής μεταφοράς των υλικών κατασκευής των αγωγών μεταφοράς, πρέπει να μετρηθούν πειραματικά. Επομένως, η εξίσωση (10) γράφεται:

$$T_c(s) = \frac{\lambda}{\tau_{he}s + 1} T_{i2}(s) + \frac{1}{\tau_{he}s + 1} w(s)$$

Στο πεδίο του χρόνου έχουμε:

$$\frac{dT_c(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_{he}} [-T_c(t) + \lambda T_{i2}(t) + w(t)] \quad (11)$$

όπου  $w(t)$  είναι διαταραχή της λειτουργίας του εναλλάκτη θερμότητας, η οποία σχετίζεται με την δυναμική της διεργασίας, δηλαδή, ενσωματώνει την επίδραση της διαφοράς μεταξύ του  $T_{i2}$  και  $T_c$ , και των θερμοκρασιών  $T_{i3}$ ,  $T_o$  κλπ.

Από τις εξισώσεις (10) και (11) προκύπτει η εξίσωση:

$$\frac{dT_c(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_{he}} \left[ -T_c(t) + w(t) + \lambda T_{i1} + \lambda(T_a - T_{i1})K_{BV} \int_0^t V_{BV} dt \right]$$

Ορίζοντας  $K_{BV+he} = \lambda(T_a - T_{i1})K_{BV}$ , ως το ολικό βήμα μεταβολής της δικλείδας ροής και του εναλλάκτη θερμότητας, προκύπτει η εξίσωση:

$$\frac{dT_c(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_{he}} \left[ -T_c(t) + w(t) + \lambda T_{i1} + K_{BV+he} \int_0^t V_{BV} dt \right]$$

η οποία με τις αναγκαίες μετατροπές γράφεται:

$$T_c(s) = \frac{K_{BV+he}}{s(\tau_{he}s + 1)} V_{BV}(s) + \frac{1}{\tau_{he}s + 1} w(s) + \frac{\lambda}{\tau_{he}s + 1} T_{i1} \quad (12)$$

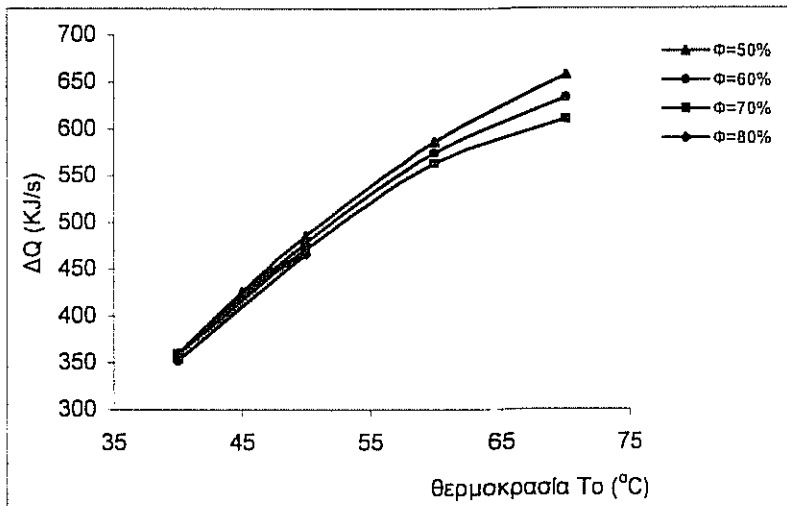
Η εξίσωση (12) περιγράφει μία ολική διεργασία δευτέρου βαθμού. Σημειώνεται ότι στην παρούσα εφαρμογή τα  $w(t)$  και  $T_{i1}$  αποτελούν διαταραχές της λειτουργίας του υποσυστήματος, οι οποίες μπορούν να αποσβεστούν με τη χρήση ενός ρυθμιστή PID.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για τον υπολογισμό της ποσότητας θερμότητας, η οποία μπορεί να ανακτηθεί με τη λειτουργία του συστήματος, που έχει περιγραφεί, επιλύθηκε το μοντέλο για διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας ( $T_o$ ) και σχετικής υγρασίας ( $\Phi$ ) του αέρα

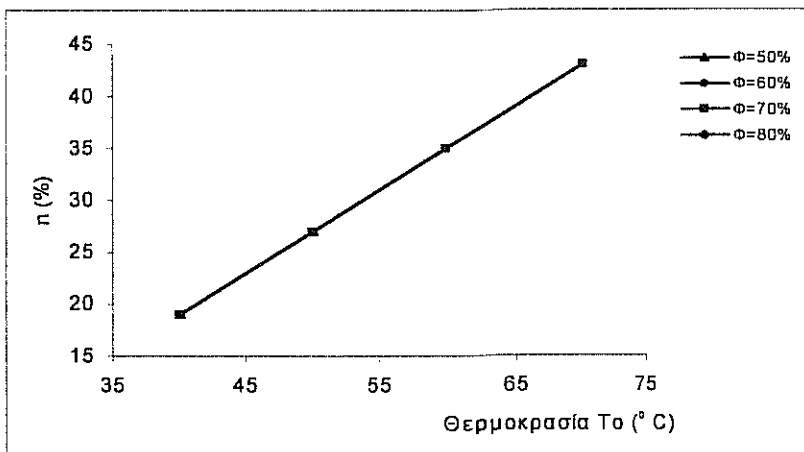
στην έξοδο του ξηραντηρίου. Η παροχή μάζας του αέρα ξήρανσης ( $m_a$ ) υπολογίστηκε με σταθερή παροχή του ανεμιστήρα  $14 \text{ m}^3/\text{s}$ , ενώ η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και η θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης στην είσοδο του ξηραντηρίου έχουν ληφθεί  $15^\circ\text{C}$  και  $140^\circ\text{C}$ , αντιστοίχως.

Η εξοικονόμηση ενέργειας  $\Delta Q$  υπολογίστηκε από τη διαφορά της απαιτούμενης ενέργειας για τη θέρμανση του αέρα ξήρανσης από  $T_a$  σε  $T_i$  και της απαιτούμενης ενέργειας για τη θέρμανσή του από  $T_b$  σε  $T_i$ , δηλαδή,  $\Delta Q = m_a c_{pa} (T_a - T_b)$ . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6. Εξοικονομούμενη ενέργεια ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, για διάφορες τιμές της σχετικής υγρασίας

Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η εξοικονόμηση ενέργειας ως ποσοστό της ολικής θερμότητας, η οποία θα είχε δαπανηθεί για την θέρμανση του αέρα ξήρανσης χωρίς την εφαρμογή του συστήματος.



Σχήμα 7. Ποσοστό εξοικονομούμενης ενέργειας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, για διάφορες τιμές της σχετικής υγρασίας

Με εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος είναι φανερό ότι μπορούν να εξοικονομηθούν σημαντικές ποσότητες θερμότητας, όπως φαίνεται στο σχήμα 6. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι συνάρτηση κατά κύριο λόγο της θερμοκρασίας του εξερχόμενου αέρα από το ξηραντήριο. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του εξερχόμενου αέρα τόσο μεγαλύτερη είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Από το ίδιο σχήμα φαίνεται ότι, σε χαμηλές θερμοκρασίες του εξερχόμενου αέρα η σχετική υγρασία δεν έχει σημαντική επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ σε υψηλές θερμοκρασίες η εξοικονόμηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη όσο η σχετική υγρασία αυξάνεται. Όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας ως ποσοστό της ολικής θερμότητας, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 7, φαίνεται ότι είναι γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας του εξερχόμενου αέρα. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 18-45%. Τα μεγαλύτερα ποσοστά αντιστοιχούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες, ανεξάρτητα από τη σχετική υγρασία (οι καμπύλες που αντιστοιχούν στα τέσσερα επίπεδα σχετικής υγρασίας συμπίπτουν).

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σημαντικές ποσότητες ενέργειας μπορούν να εξοικονομηθούν με τη χρήση δύο εναλλακτών θερμότητας, οι οποίοι παρεμβάλλονται στο κύκλωμα ροής μάζας του αέρα ξήρανσης, στον οποίο αναμιγνύεται ατμοσφαιρικός αέρας με τριοδική ηλεκτροβόνα ροής. Η ρύθμιση των θερμοκρασιών στην είσοδο και έξοδο των εναλλακτών και της αναλογίας μίξης των μαζών γίνεται με σύστημα αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας του όλου συστήματος. Για τη λειτουργία του συστήματος πρέπει να προκαθορισθούν οι επιθυμητές τιμές της θερμοκρασίας του αέρα ξήρανσης  $T_i$  και της παροχής  $m_a$ , οι οποίες εξαρτώνται από το ξηραίνόμενο υλικό και αποτελούν τις βασικές παραμέτρους των βέλτιστων συνθηκών ξήρανσης. Το προτεινόμενο σύστημα είναι προσαρμόσιμο σε κάθε τύπο ξηραντηρίου. Υποθέτοντας ότι η θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης στην είσοδο του ξηραντηρίου είναι 140 °C, μπορεί να εξοικονομηθεί το 18 έως 45% της απαιτούμενης ενέργειας για τη θέρμανση του αέρα. Το ποσοστό εξοικονόμησης εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του ξηραντηρίου.

#### ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

$c_p$	ειδική θερμότητα, υπό σταθερή πίεση	$\text{kJ/kgK}$
$h$	συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	$\text{kJ/m}^2\text{sK}$
$h_{fg}$	λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης	$\text{kJ/kg}$
$K_1, K_2$	συντελεστές μεταφοράς θερμότητας των εναλλακτών	$\text{kJ/m}^2\text{sK}$
$K_e$	βήμα μεταβολής της πηγής θερμότητας	$\text{kJ/K}$
$K_{bv}$	βήμα μεταβολής της δικλείδας ροής	$\text{V.s}$
$K_{he}$	βήμα μεταβολής του εναλλάκτη θερμότητας	-
$K_{bv+he}$	ολικό βήμα μεταβολής της δικλείδας ροής και του εναλλάκτη	-
$m_a$	παροχή μάζας προθερμαινόμενου αέρα στον εναλλάκτη	$\text{kg/s}$
$m_e$	παροχή μάζας μη προθερμαινόμενου αέρα στον εναλλάκτη	$\text{kg/s}$
$m_d$	παροχή μάζας του αέρα ξήρανσης	$\text{kg/s}$
$\eta$	ποσοστό εξοικονομούμενης ενέργειας	%

$Q_{in}$	εισερχόμενη ενέργεια για τη θέρμανση του αέρα ξήρανσης	kJ/s
$\Delta Q$	ποσότητα εξοικονομούμενης ενέργειας	kJ/s
$\Phi$	σχετική υγρασία	%
s	μεταβλητή Laplace	-
T	θερμοκρασία αέρα	K
$T_c$	θερμοκρασία συμπύκνωσης σε ορισμένη μερική πίεση ατμών	K
$t_e$	σταθερά χρόνου της πηγής θερμότητας	s
$t_{he}$	σταθερά χρόνου του εναλλάκτη θερμότητας	s
$v_p$	ταχύτητα ροής	m/s
V	παροχή όγκου του αέρα στην πηγή θερμότητας	m <sup>3</sup> /s
$V_{bv}$	τάση εισόδου στη δικλείδα ροής	V
$V_{fan}$	τάση εισόδου στον ανεμιστήρα	V
w	μεταβλητή της λειτουργίας του εναλλάκτη θερμότητας	kg/kg
<i>Ελληνικοί συμβολισμοί</i>		
$\lambda$	θερμικός συντελεστής	decimal
$\rho$	πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>
<i>Δείκτες</i>		
a	αέρας	
d	ολική μάζα του αέρα	
e	αέρας υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες	
i	κατάσταση του αέρα στην είσοδο του ξηραντηρίου ή των εναλλακτών	
o	κατάσταση του αέρα στην έξοδο του ξηραντηρίου	
p	σταθερά πίεσης	
v	αέρια φάση	
w	υγρή φάση	

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kato, K., Jamashita, R., 1982, Re-use of the exhaust air of the drier III – Performance and energy flow of grain drier with heat pump using atmospheric and exhaust heat as heat source, J. Soc. Agric. Mach. Japan, 43(4)589-598.
2. Strumillo, C., Lopez-Cacicedo, C., 1987, Energy aspects in drying. In: Handbook of Industrial Drying. Marcel Dekker Inc. (A. Mujumdar, ed.) p.p. 823-862.
3. Moraitis, C.S., Akritidis, C.B., 1997, Energy saving in drying plants by partial recovery of the latent heat of the exhaust air. Drying Technology, 15(6-8) 1931-1940.
4. Press, H.W., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., 1992, Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, Cambridge.
5. Astrom, K.J., Hagglund, T., 1995, PID Controllers, 2<sup>nd</sup> ed., ISA Transactions of Research, Triangle Park, N.C.

# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΚΤΩ ΓΕΝΟΤΥΠΩΝ ΣΟΡΓΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**A. Νικολάου<sup>1</sup>, E. Νάματοβ<sup>1</sup>, Γ. Καβαδάκης<sup>1</sup>, Κ. Τσιώτας<sup>1</sup>,  
Κ. Πανούτσου<sup>1</sup> και Ν. Δαναλάτος<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Τμήμα Βιομάζας, 19 χλμ. Λεωφ. Μαραθώνος, 19009 Πικέρμι, Τηλ: +3016039900, Fax: +3016038006, email: [nikolaou@cres.gr](mailto:nikolaou@cres.gr)

<sup>2</sup> Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος, Τηλ: +3042174236, Fax: +3042174270, e-mail: [danai@uth.gr](mailto:danai@uth.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη και παραγωγικότητα πέντε ποικιλιών σακχαρούχου σόργου (SOFRA, KORALL, COWLEY, KELLER, MN 1500) και τριών υβριδίων κυτταρινούχου σόργου (ABF 306, NK 506 και H 132) μελετήθηκε στην Κοπαίδα, το 1999. Ως παραγωγικότερη ποικιλία σακχαρούχου σόργου απεδείχθη η Keller (3,8 τόνοι Ξ.Ο./στρ), ακολουθούμενη από την Tracy (3,7 τόνοι Ξ.Ο./στρ). Εξίσου υψηλές αποδόσεις ξηρής ουσίας έδωσε το υβρίδιο H132 (3,7 τόνοι Ξ.Ο./στρ).

## EVALUATION OF GROWTH AND PRODUCTIVITY OF EIGHT SORGHUM GENOTYPES FOR BIOMASS AND ENERGY

**A. Nikolaou<sup>1</sup>, I. Namatov<sup>1</sup>, G. Kavadakis<sup>1</sup>, K. Tsiotas<sup>1</sup>, C. Panoutsou<sup>1</sup>  
and N. Danalatos<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Center for Renewable Energy Sources, 19<sup>th</sup> km Marathonos Ave., 19009 Pikermi, Greece  
Tel: +3016039900, Fax: +3016038006, e-mail: [nikolaou@cres.gr](mailto:nikolaou@cres.gr)

<sup>2</sup> University of Thessaly, School of Agriculture, Crop and Animal Production, Pedion Areos, 38344 Volos, Tel: +3042174236, Fax: +3042174270, e-mail: [danai@uth.gr](mailto:danai@uth.gr)

## ABSTRACT

The growth and productivity of five sweet sorghum varieties (SOFRA, KORALL, COWLEY, KELLER, MN 1500) and three fiber sorghum hybrids (ABF 306, NK 506 και H 132) was studied in Kopais, central Greece, in 1999. The most productive sweet sorghum variety was Keller (38 tonnes O.D.M./ha) followed by TRACY (37 t/ha). Fiber sorghum hybrid H 132, also performed similar yielding potential (37 t/ha).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σόργο είναι ένα ανοιξιότιπο C4 φυτό μικρής ημέρας, που προήλθε από τις τροπικές περιοχές. Τα καλλιεργούμενα είδη, υπό την κοινή επιστημονική ονομασία *Sorghum bicolor* (L.) Moench, κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- \* *καρποδοτικό σόργο*: που καλλιεργείται για παραγωγή καρπού,
- \* *σόργο σαρωθροποιίας*: για την κατασκευή σαρώθρων από τις μακριές διακλαδώσεις της ταξιανθίας του,
- \* *σόργο του Σουδάν*: ως σανοδοτικό φυτό, (καθώς και υβρίδια σακχαρούχου σόργου και σόργου του Σουδάν, υπό την κοινή ονομασία *κυτταρινούχα σόργα*)
- \* *σακχαρούχο σόργο*: που καλλιεργείται κυρίως εξ' αιτίας των γλυκών στελεχών του για παραγωγή σιροπιού [1].

Τα τελευταία χρόνια το εντεινόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοκαυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες έφερε στο προσκήνιο το σόργο ως εναλλακτικό βιομηχανικό φυτό για παραγωγή βιοαιθανόλης (σακχαρούχο σόργο), χαρτοπολτού και οικοδομικών υλικών (κυτταρινούχο σόργο), κλπ.

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκαν πέντε ποικιλίες σακχαρούχου σόργου (SOFRA, KORALL, COWLEY, KELLER, MN 1500) και τρία υβρίδια κυτταρινούχου σόργου (ABF 306, NK 506 και H 132) όσον αφορά στην ανάπτυξη και την παραγωγικότητά τους, στην πεδιάδα της Κωπαΐδας, στην κεντρική Ελλάδα.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Πέντε ποικιλίες σακχαρούχου σόργου και τρία υβρίδια κυτταρινούχου σόργου μελετήθηκαν σε πειραματικό αγρό στο αμμο-αργιλο-πηλώδες έδαφος της πεδιάδας της Κωπαΐδας, 100χλμ. ΒΑ της Αθήνας, στην κεντρική Ελλάδα.

Μελετήθηκαν οι παρακάτω γενότυποι:

Γενότυπος	Τύπος
SOFRA	Σακχαρούχο σόργο
KORALL	Σακχαρούχο σόργο
COWLEY	Σακχαρούχο σόργο
KELLER	Σακχαρούχο σόργο
MN 1500	Σακχαρούχο σόργο
ABF 306	Κυτταρινούχο σόργο
NK 506	Κυτταρινούχο σόργο
H 132	Κυτταρινούχο σόργο

Εφαρμόστηκε το εντελώς τυχαίοποιημένο πειραματικό σχέδιο με τρεις επαναλήψεις και μέγεθος πειραματικού τεμαχίου  $3 \times 3,5 = 10,5 \text{ m}^2$ .

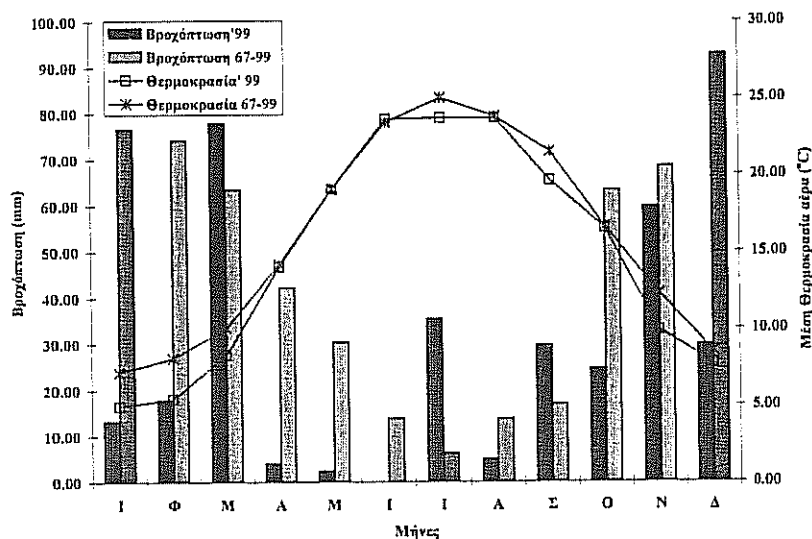
Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 17 Μαΐου με στόχο την επίτευξη πυκνότητας 11.000 φυτών/στρέμμα (αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 70 cm και επί της γραμμής 13 cm). Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εφαρμόστηκε άρδευση με σύστημα στάγδην

(συνολικό ύψος 415 mm) και αζωτούχος λίπανση 6 kg N/στρέμμα, 70 ημέρες μετά τη σπορά (26 Ιουλίου) με υδρολίπανση.

Σε κάθε γενότυπο, λαμβάνονταν μετρήσεις ύψους, αριθμού αδελφιών και αριθμού χλωρών και ξηρών φύλλων ανά φυτό, σε τρία φυτά ανά πειραματικό τεμάχιο κάθε δεκαπέντε ημέρες. Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (170 ημέρες μετά τη σπορά) πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία μίας γραμμής φυτών μήκους ενός μέτρου σε κάθε πειραματικό τεμάχιο (συνολική έκταση 0,7 m<sup>2</sup>). Τα φυτά διαχωρίστηκαν σε στελέχη, φύλλα και ταξιανθίες και ζυγίστηκαν αμέσως μετά την κοπή ώστε να εκτιμηθεί η απόδοση σε χλωρή βιομάζα. Κατόπιν, μετρήθηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας με τη συσκευή Mark 2 και δείγμα από φυτικά μέρη τοποθετήθηκε σε κλίβανο ξήρανσης στους 85 °C έως τη σταθεροποίηση του βάρους τους, για την εκτίμηση των αποδόσεων των γενοτύπων σε ξηρή ουσία.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 3.1 Κλιματικά δεδομένα



Σχήμα 1. Μέση θερμοκρασία αέρα (°C) και βροχόπτωση (mm) το 1999 και μέσοι όροι για την περίοδο 1967 - 1999. Τα μετεωρολογικά δεδομένα προέρχονται από το σταθμό του ΚΑΠΕ στα Βάγια Βοιωτίας, σε απόσταση 20 χλμ. από τον πειραματικό αγρό.

Τα κλιματικά δεδομένα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Μάιος – Οκτώβριος 1999) κυμάνθηκαν περί τις μέσες τιμές για την περιοχή. Το συνολικό ύψος βροχής ήταν 157 mm, με μια περίοδο ξηρασίας κατά τη διάρκεια του Ιουνίου έως και τα μέσα του Ιουλίου, όταν η μέση θερμοκρασία πλησίασε τις μέγιστες τιμές.



### 3.2 Ανάπτυξη

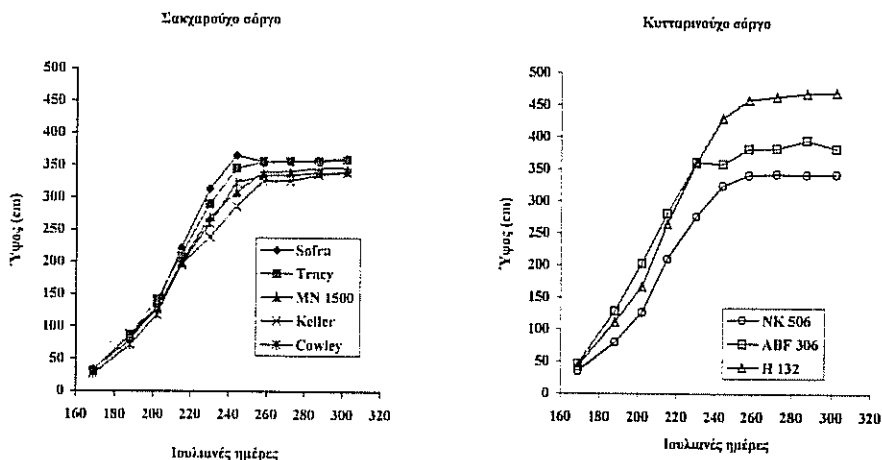
Μεταξύ όλων των υπό μελέτη γενοτύπων σόργου, πρωιμότερο ήταν το υβρίδιο κυτταρινούχου σόργου ABF 306 στο οποίο το 50% της άνθησης παρατηρήθηκε στις 11 Αυγούστου. Ακολούθησαν η ποικιλία SOFRA και το υβρίδιο NK 506 στα οποία το 50% των φυτών άνθισε στις 25 Αυγούστου. Η πιο όψιμη ποικιλία ήταν η MN 1500 η οποία άνθισε στις 15 Σεπτεμβρίου.

**Πίνακας 1.** Ημερομηνίες άνθησης των γενοτύπων το 1999.

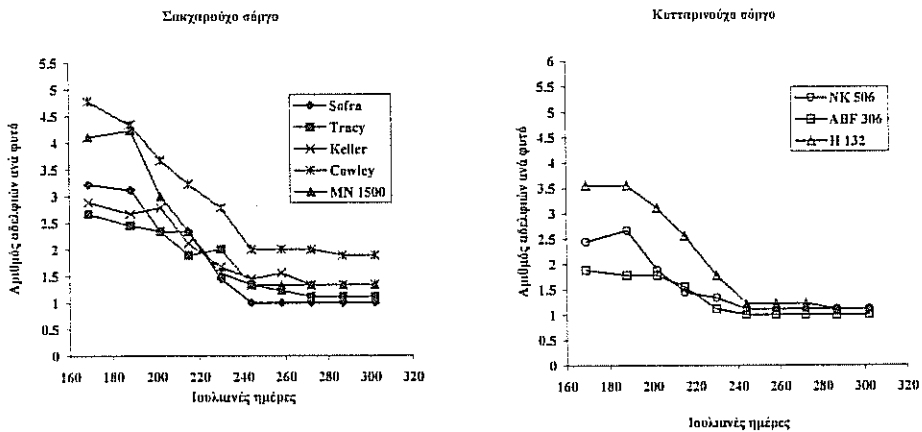
Ποικιλία	Ημερομηνία άνθησης
ABF 306 (κσ)	11/8
SOFRA (σσ)	25/8
NK 506 (κσ)	25/8
TRACY (σσ)	1/9
COWLEY (σσ)	1/9
H 132 (κσ)	8/9
KELLER (σσ)	8/9
MN 1500 (σσ)	15/9

σσ: σακχαρούχο σόργο, κσ: κυτταρινούχο σόργο

Η εξέλιξη του ύψους ήταν παρόμοια σε όλες τις ποικιλίες σακχαρούχου σόργου, με μέσο ρυθμό αύξησης τα 4 cm/ημέρα μέχρι το τέλος Αυγούστου (244 Ιουλιανή ημέρα). Το τελικό ύψος κυμάνθηκε μεταξύ των 340 cm (KELLER) και των 360 cm (SOFRA). Ο αντίστοιχος ρυθμός αύξησης για τα κυτταρινούχα υβρίδια κυμάνθηκε μεταξύ 3,9 cm/ημέρα (NK 506) και 5,1 cm/ημέρα (ABF 306 και H 132). Το πιο ζωντανό υβρίδιο ήταν το H 132 που έφθασε τα 470 cm, ενώ στα NK 506 και ABF 306 τα τελικά ύψη ήταν 342 cm και 383 cm, αντίστοιχα.

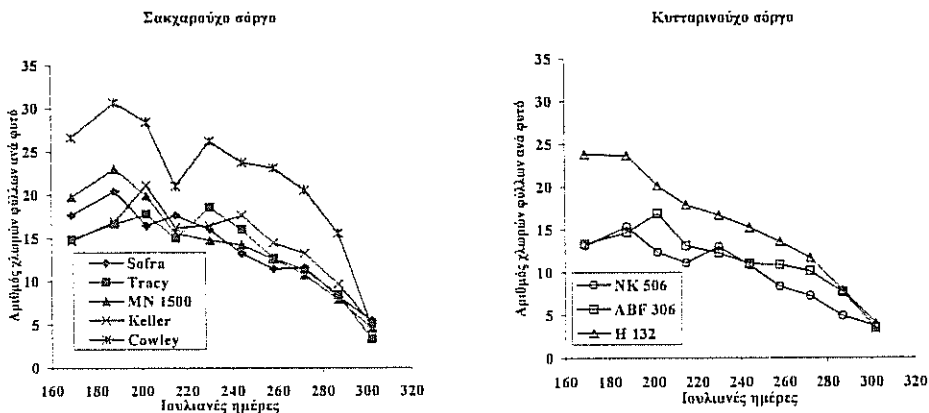


**Σχήμα 2.** Ύψος φυτείας των ποικιλιών σακχαρούχου (αριστερά) και κυτταρινούχου (δεξιά) σόργου κατά την καλλιεργητική περίοδο (1999).



Σχήμα 3. Αριθμός αδελφιών ανά φυτό των ποικιλιών σακχαρούχου (αριστερά) και κυτταρινούχου (δεξιά) σόργου κατά την καλλιεργητική περίοδο (1999).

Η ιδιότητα του αδελφώματος των σιτηρών έχει μεγάλη πρακτική σημασία καθώς με το αδελφώμα είναι δυνατό να αντισταθμιστεί το πενιχρό φύτεμα ή η προσβολή της καλλιέργειας από ασθένειες, έντομα ή άλλες αιτίες [2]. Μεταξύ των ποικιλιών σακχαρούχου σόργου, η COWLEY και η MN 1500, είχαν περισσότερα από 3 αδελφια/φυτό έως τις αρχές Αυγούστου (3,7 και 3,1 αντίστοιχα). Οι υπόλοιπες ποικιλίες σακχαρούχου σόργου δεν ξεπέρασαν τα 2,5 αδελφια/φυτό και κυμάνθηκαν μεταξύ 1,7 για την TRACY και 2,2 για την SOFRA. Ο αριθμός των αδελφιών ανά φυτό μειώθηκε σταδιακά έως τα μέσα του Σεπτεμβρίου σε όλες τις ποικιλίες και σταθεροποιήθηκε στα 2 για την COWLEY και το 1 για τις υπόλοιπες ποικιλίες σακχαρούχου σόργου.

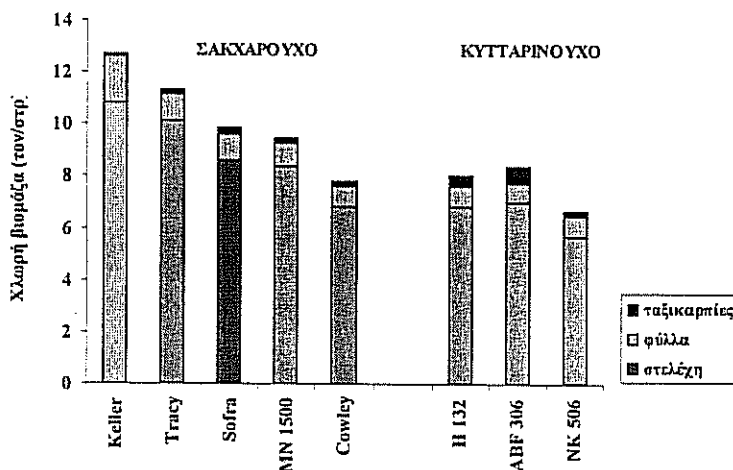


Σχήμα 4. Αριθμός χλωρών φύλλων ανά φυτό, των ποικιλιών σακχαρούχου (αριστερά) και κυτταρινούχου (δεξιά) σόργου κατά την καλλιεργητική περίοδο (1999).

Όσον αφορά στα υβρίδια κυτταρινούχου σόργου, η μεγαλύτερη τιμή αδελφιών ανά φυτό παρατηρήθηκε στο Η 132 (3,5 αδελφια/φυτό μεταξύ 7 και 22 Ιουλίου). Οι αντίστοιχες τιμές για τα NK 506 και ABF 306 ήταν 2,7 και 1,9. Κατά το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ο μέσος αριθμός αδελφιών ανά φυτό για όλα τα υβρίδια κυτταρινούχου σόργου ήταν 1.

Σε όλες τις ποικιλίες σακχαρούχου σόργου ο μέγιστος αριθμός χλωρών φύλλων παρατηρήθηκε στην περίοδο μεταξύ 7 και 22 Ιουλίου (183 – 202 Ιουλιανή ημέρα). Η ποικιλία COWLEY παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή φύλλων φθάνοντας τα 31 φύλλα/φυτό στις αρχές του Ιουλίου, αποτέλεσμα του μεγαλύτερου αριθμού αδελφιών ανά φυτό. Ο μέγιστος αριθμός φύλλων για τις υπόλοιπες ποικιλίες σακχαρούχου σόργου κυμάνθηκε μεταξύ 18 φύλλων/φυτό (TRACY) και 23 φύλλων/φυτό (SOFRA). Όσον αφορά στα υβρίδια κυτταρινούχου σόργου τα περισσότερα φύλλα παρατηρήθηκαν στο υβρίδιο Η 132 (24 χλωρά φύλλα/φυτό στις 7 Ιουλίου) και ακολούθησαν τα ABF 306 (17 χλωρά φύλλα/φυτό στις 22 Ιουλίου) και NK 506 (15 χλωρά φύλλα/φυτό στις 7 Ιουλίου).

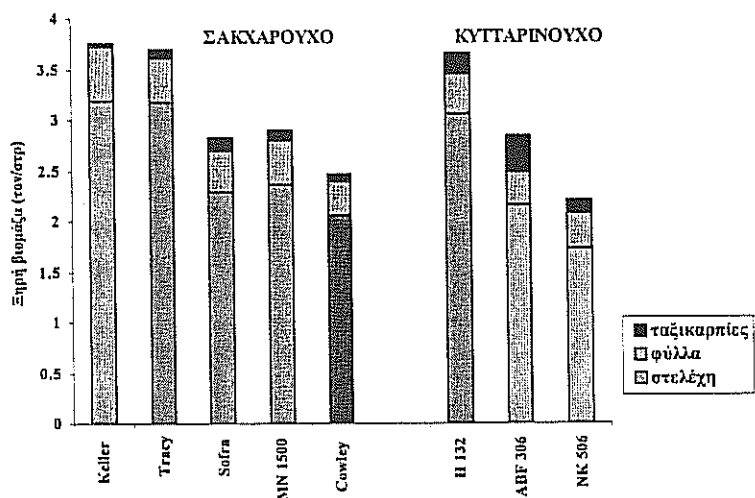
### 3.3 Παραγωγικότητα



Σχήμα 5. Τελικές αποδόσεις σε χλωρή βιομάζα των ποικιλιών σακχαρούχου και κυτταρινούχου σόργου (Οκτώβριος 1999).

Η παραγωγικότερη ποικιλία σακχαρούχου σόργου ήταν η KELLER (11,5 τόνοι χλωρής βιομάζας/στρ) ακολουθούμενη από την TRACY (10,5 τον/στρ) και την MN 1500 (9,7 τον/στρ). Μεταξύ των υβριδίων κυτταρινούχου σόργου το Η 132 έδωσε επίσης υψηλές αποδόσεις (9,9 τον/στρ) ενώ τα ABF 306 και NK 506 δεν ξεπέρασαν τους 8 τον/στρ.

Οι KELLER και TRACY ήταν οι παραγωγικότερες ποικιλίες σακχαρούχου σόργου και σε ξηρή βιομάζα, δίνοντας αποδόσεις πάνω από 3 τον/στρ (3,9 τον/στρ και 3,7 τον/στρ αντίστοιχα). Εξίσου παραγωγικό ήταν το υβρίδιο κυτταρινούχου σόργου Η 132 με απόδοση 3,7 τον/στρ.



**Σχήμα 6.** Τελικές αποδόσεις ξηρής βιομάζας των ποικιλιών σακχαρούχου και κυτταρινούχου σόργου (Οκτώβριος 1999).

### 3.5 Πλάγιασμα

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά την καλλιέργεια του σόργου και ιδιαίτερα του σακχαρούχου είναι το πλάγιασμα. Οι σχετικά δυνατοί άνεμοι που πνέουν κατά την περίοδο του Αυγούστου σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της ταξιανθίας που προσθέτει ανομοιόμορφο βάρος στην κορυφή οδηγούν στο πλάγιασμα των φυτών με άμεσες συνέπειες τη μείωση των τελικών αποδόσεων και τη δυσκολία στη μηχανική συλλογή.

**Πίνακας 2.** Ποσοστό πλαγιασματος για κάθε γονότυπο σόργου.

Γονότυπος	Ποσοστό πλαγιασματος (%)
ABF 306 (κσ)	0
SOFRA (σσ)	67
NK 506 (κσ)	0
TRACY (σσ)	0
COWLEY (σσ)	33
H 132 (κσ)	0
KELLER (σσ)	33
MN 1500 (σσ)	67

σσ: σακχαρούχο σόργο, κσ: κυτταρινούχο σόργο

Στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου εκτιμήθηκε το ποσοστό των πλαγιασμένων φυτών σε κάθε πειραματικό τεμάχιο και τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 2. Κανένα υβρίδιο κυτταρινούχου σόργου δεν πλάγιασε ενώ από τις ποικιλίες σακχαρούχου σόργου η πιο ανθεκτική στο πλάγιασμα ήταν η TRACY, η οποία δεν πλάγιασε σε κανένα πειραματικό

τεμάχιο. Από τις υπόλοιπες ποικιλίες σακχαρούχου σόργου, πλάγιασμα παρατηρήθηκε στο 67% των φυτών για τις ποικιλίες SOFRA και MN 1500 και στο 33% για τις ποικιλίες KELLER και COWLEY.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πειραματικά αποτελέσματα έγινε φανερό ότι μεταξύ των πέντε ποικιλιών σακχαρούχου σόργου παραγωγικότερη ήταν η Keller (3,8 τον/στρ σε ξηρή βιομάζα), ακολουθούμενη από την Tracy (3,7 τον/στρ). Το υβρίδιο κυτταρινούχου σόργου H132, έδωσε επίσης υψηλές αποδόσεις (3,7 τον/στρ), ενώ τα άλλα δύο υβρίδια δεν ξεπέρασαν τους 3 τον/στρ (ABF 306, 2,8 τον/στρ και NK 506, 2,2 τον/στρ).

Με μέση θερμογόνο δύναμη βιομάζας 0,4 τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ)/τόνο ξηράς ουσίας [3], όλοι οι γονότυποι σακχαρούχου και κυτταρινούχου σόργου θα μπορούσαν να αποδώσουν πάνω από 0,8 ΤΙΠ/στρ, με τους παραγωγικότερους γονοτύπους σακχαρούχου (KELLER, TRACY) και κυτταρινούχου (H 132) σόργου να δίνουν πάνω από 1,4 ΤΙΠ/στρ.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία χρηματοδοτήθηκε εν μέρη από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος FAIR (FAIR 3 CT 96 1913: Environmental studies on sweet and fiber sorghum, sustainable crops for biomass and energy) [4] και από το Υπουργείο Ανάπτυξης.

Ευχαριστούμε θερμά τον κύριο Κωνσταντίνο Ραχούτη για την πολύτιμη συνεισφορά του κατά την διεξαγωγή του πειράματος.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Dalianis, C. D., 1996. Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions, *Proc. Of the First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry*, France, 15-25.
2. Δαλιάνης, Κ., Χειμερινά σιτηρά, Αθήνα, 1983.
3. Dolcioti, I., Mambelli, S., Grandi, S., and Venturi, G., 1996. Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production, *Industrial Crops and Products*, 7, 265-272.
4. Panoutsou, C., Kavarakis, G., Namatov, I., Natioti, H., Nikolaou, A., Thiveou H., Tsiotas K., and Danalatos, N., 2000. Environmental studies on sweet and fiber sorghum sustainable crops for biomass and energy, FAIR-3-CT96-1913, 3<sup>rd</sup> annual report, CRES Biomass Dept.

# ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΣΑΚΧΑΡΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ (cv. Keller) ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Γ. Καβαδάκης<sup>1</sup>, Α. Νικολάου<sup>1</sup>, Ε. Αλεξοπούλου<sup>1</sup>, Ε. Νατιώτη<sup>1</sup>, Χ.  
Μήτσιου<sup>3</sup>, Κ. Πανούτσου<sup>1</sup> και Ν. Δαναλάτος<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Τμήμα Βιομάζας, 19 χλμ. Λεωφ. Μαραθώνος, 19009 Πικέρμι, Τηλ:  
+3016039900, Fax:+3016038006, email: kabadaki@cres.gr

<sup>2</sup> Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος,  
Τηλ: +3042174236, Fax: +3042174270, e-mail: danal@uth.gr

<sup>3</sup> Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, 11855  
Αθήνα, Τηλ: +3015294005, Fax:+3015294015

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η αύξηση, ανάπτυξη και παραγωγικότητα σε βιομάζα και σάκχαρα επίσορης καλλιέργειας γλυκού σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], ποικιλία Keller κάτω από δύο επίπεδα άρδευσης και τρία επίπεδα λίπανσης. Το ύψος, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας και οι αποδόσεις σε χλωρή και ξηρή βιομάζα επηρεάστηκαν μόνο από τα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης. Η συνολική βιομάζα κυμάνθηκε από 2,5 έως 3,7 τόνους Ξ.Ο/στρ, ενώ το ποσοστό σακχάρων στα στελέχη έφθασε το 11% της χλωρής βιομάζας, ανεξαρτήτως λίπανσης.

## GROWTH, PRODUCTIVITY AND SUGAR YIELDS OF SWEET SORGHUM (cv. Keller) IN CENTRAL GREECE

G. Kavadakis, A. Nikolaou<sup>1</sup>, E. Alexopoulou<sup>1</sup>, H. Natioti<sup>1</sup>, C. Mitsiou<sup>3</sup>,  
C. Panoutsou<sup>1</sup> and N. Danalatos<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Center for Renewable Energy Sources, 19<sup>th</sup> km Marathonos Ave., 19009 Pikermi, Greece  
Tel:+3016039900, Fax:+3016038006, e-mail: kabadaki@cres.gr

<sup>2</sup> University of Thessaly, School of Agriculture, Crop and Animal Production, Pedion Areos, 38344 Volos, Tel:  
+3042174236, Fax: +3042174270, e-mail: danal@uth.gr

<sup>3</sup> Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Reclamation and Agricultural Engineering,  
11855 Athens, Tel:+3015294005, Fax:+3015294015

## Summary

Growth, productivity and sugar yields of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cv. Keller was studied under two irrigation and three fertigation rates. Height, LAI, fresh and dry biomass yields were affected only by the different fertilisation rates. Dry matter yields ranged from 25 t/ha (unfertilised plots) to 37 t/ha (fertilised plots), whereas sugar content in stems reached up to 11% of fresh biomass in all treatments.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γλυκό σόργο είναι ένα ετήσιο  $C_4$  φυτό που χαρακτηρίζεται από υψηλούς ρυθμούς φωτοσύνθεσης και μεγάλο ποσοστό σακχάρων στα στελέχη, καλά προσαρμοσμένο στις ημιτροπικές και εύκρατες περιοχές [1,2]. Τα ζυμώσιμα σάκχαρα που περιέχονται στα στελέχη είναι κατάλληλα για παραγωγή βιοαιθανόλης, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στις μεταφορές.

Τα τελευταία χρόνια έχει ενταθεί το ενδιαφέρον για την καλλιέργεια του γλυκού σόργου ως ενεργειακό φυτό, σε ευρωπαϊκό (προγράμματα AIR, FAIR, κλπ.) και σε διεθνές επίπεδο.

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα πλαίσια συμμετοχής του σε εθνικά και ευρωπαϊκά ερευνητικά έργα για το σόργο, έχει εγκαταστήσει πειραματικούς αγρούς σε πολλές περιοχές της Ελλάδας.

Όμως σε όλους τους σχετικούς πειραματικούς αγρούς, τα επίπεδα της αζωτούχου λίπανσης δεν έδωσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην παραγωγικότητα, γεγονός που αποδόθηκε στις πιθανώς χαμηλές απαιτήσεις του φυτού σε αζωτούχο λίπανση και στην υπερβολική λίπανση που είχε προηγηθεί στους αγρούς που διεξήχθησαν τα πειράματα [1,7,8].

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δεύτερης χρονιάς ενός πειράματος επίσπορης καλλιέργειας της ποικιλίας γλυκού σόργου cv. Keller στην Κεντρική Ελλάδα, όπου ελέγχοντας την υπολειμματική δράση του αζώτου μελετήθηκε η αύξηση, η ανάπτυξη και η παραγωγικότητα σε χλωρή και ξηρή βιομάζα καθώς και η περιεκτικότητα των στελεχών σε σάκχαρα στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της περιοχής.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο πειραματικός αγρός βρίσκεται στα Βάγια Βοιωτίας. Πλήρη μετεωρολογικά δεδομένα (μέση, ελάχιστη, μέγιστη θερμοκρασία, σχετική υγρασία αέρα, ταχύτητα ανέμου και βροχόπτωση) καταγράφονταν σε ωριαία βάση από αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που εγκαταστάθηκε στον πειραματικό αγρό.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν τυχαιοποιημένες πλήρεις ομάδες με τρεις επαναλήψεις όπου μελετήθηκε η επίδραση δύο διαφορετικών επιπέδων στάγδην άρδευσης ( $I_1=240$  mm,  $I_2=320$  mm) και τριών επιπέδων λίπανσης ( $F_1=0$  kg N/στρ.,  $F_2=6$  kg N/στρ. και  $F_3=12$  kg N/στρ.) στην ανάπτυξη, στην παραγωγικότητα και στην περιεκτικότητα σακχάρων στα στελέχη. Πρέπει να σημειωθεί ότι το 1999 ήταν η δεύτερη συνεχής χρονιά που διεξαγόταν το ίδιο πείραμα στην ίδια τοποθεσία, με αποτέλεσμα να έχει ελαχιστοποιηθεί η υπολειμματική δράση του N από τις προηγούμενες λιπάνσεις, στον μάρτυρα. Το μέγεθος του πειραματικού τεμαχίου ήταν  $10 \times 11 = 220$  m. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 4 Ιουνίου, η λίπανση στις 22 Ιουλίου, ενώ η διαφοροποίηση της άρδευσης στις 27 Ιουλίου 1999.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Ιούνιος - Νοέμβριος 1999) πραγματοποιήθηκαν οκτώ δειγματοληψίες (κοπές) ώστε να μελετηθεί η πορεία ανάπτυξης (*growth analysis*) του φυτού, ενώ στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου

πραγματοποιήθηκε τελική συγκομιδή 24 m<sup>2</sup> ανά πειραματικό τεμάχιο. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν στο ύψος, στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας, στη χλωρή και ξηρή βιομάζα και τέλος στην περιεκτικότητα σακχάρων στα στελέχη. Για τον προσδιορισμό της ξηρής ουσίας, δείγματα από στελέχη, φύλλα και ταξιανθίες ξηραίνονταν σε κλίβανο στους 85 °C, έως τη σταθεροποίηση του βάρους τους. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας προσδιορίστηκε με τη συσκευή Mark 2 Area Meter. Οι αναλύσεις για τον προσδιορισμό του ποσοστού σακχάρων πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο DNS.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Κλιματολογικά δεδομένα

Στον Πιν. 1 συνοψίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα (μέγιστη, ελάχιστη και μέση, σε ° C) και βροχόπτωσης (σε mm/μήνα) κατά την καλλιεργητική περίοδο, σε σύγκριση με τις μέσες κλιματολογικές τιμές της περιοχής.

Πίνακας 1. Μετεωρολογικά δεδομένα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (1999).

Μήνας	Τμέση °C	Τμεγ. °C	Τελάχ. °C	Βροχόπτωση (mm)
Μάιος	19,1 (19,1)*	24,9 (26,0)	12,9 (12,2)	2 (30)
Ιούνιος	23,6 (23,4)	30,0 (30,8)	16,3 (16,0)	0 (14)
Ιούλιος	23,7 (25,0)	30,0 (32,2)	16,8 (17,8)	35 (6)
Αύγουστος	23,7 (23,8)	31,2 (30,7)	16,0 (17,3)	5 (14)
Σεπτέμβριος	19,6 (21,5)	26,2 (28,5)	13,7 (14,5)	30 (17)
Οκτώβριος	16,5 (16,6)	22,9 (22,4)	10,65 (10,9)	25 (63)
Νοέμβριος	9,9 (12,1)	13,7 (17,1)	6,25 (7,0)	60 (68)

\* σε παρενθέσεις οι μέσες τιμές 30ετίας για την περιοχή.

Όπως φαίνεται στον Πιν. 1, οι θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν κατά την καλλιεργητική περίοδο ήταν αντιπροσωπευτικές αυτών της τελευταίας 30ετίας για την περιοχή της μελέτης. Σημαντικές διακυμάνσεις παρατηρούνται ως προς τη βροχόπτωση με πρακτικά μηδενικές τιμές τους μήνες Μάιο και Ιούνιο 1999, ενώ σημαντική βροχόπτωση σημειώθηκε τον Ιούλιο (35 mm, Πιν.1). Αρκετά ξηρός ήταν και ο Οκτώβριος με 24 mm αντί για 63 mm βροχής σε μία μέση χρονιά.

#### 3.2 Αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας

##### Ύψος

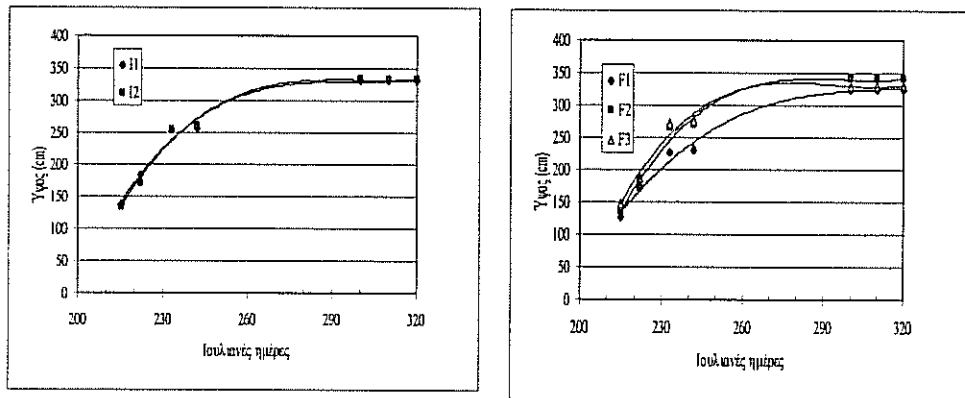
Το ύψος της καλλιέργειας επηρεάστηκε σημαντικά (P=0,05) μόνο από τα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης. Η διαφοροποίηση παρουσιάστηκε περίπου 30 ημέρες μετά τη λίπανση (233 LH) και ήταν καθόλη τη διάρκεια της περιόδου στατιστικά σημαντική μεταξύ των λιπασμένων τεμαχίων και του μάρτυρα.

Πιο συγκεκριμένα, τα φυτά στα λιπασμένα τεμάχια είχαν τον ίδιο περίπου ρυθμό ανάπτυξης (7,2 και 6,9 cm/ημέρα για τα F<sub>3</sub> και F<sub>2</sub>, αντίστοιχα) μέχρι την αρχή της άνθησης, ενώ τα φυτά του μάρτυρα αναπτύχθηκαν με ρυθμούς 5,6 cm/ημέρα.

Το τελικό ύψος ήταν 3,3, 3,4 και 3,25 m για τις μεταχειρίσεις F<sub>3</sub>, F<sub>2</sub> και F<sub>1</sub> αντίστοιχα.



Το ύψος δεν επηρεάστηκε σημαντικά ( $P=0,05$ ) από την άρδευση, προφανώς λόγω της αργοπορημένης διαφοροποίησής της (27 Ιουλίου).

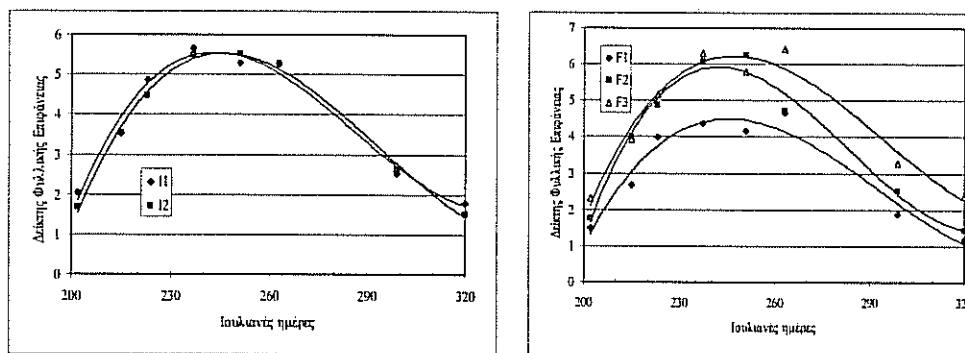


Σχήμα 1. Επίδραση δύο επιπέδων άρδευσης (αριστερά) και τριών επιπέδων λίπανσης (δεξιά) στο ύψος του φυτού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (1999).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε ορισμένα τμήματα των πειραματικών τεμαχίων παρατηρήθηκε πλάγιασμα των φυτών που οφειλόταν σε δυνατή βροχόπτωση που έπεσε κατά την 1 Σεπτεμβρίου όταν τα φυτά είχαν ξεπεράσει τα 2,5 μ. ύψος καθώς επίσης και στην εφαρμογή στάγδην άρδευσης που πιθανώς οδήγησε στη δημιουργία πιο επιφανειακού ριζικού συστήματος.

#### Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας

Υψηλότεροι ρυθμοί αύξησης της φυλλικής επιφάνειας παρατηρήθηκαν στις μεταχειρίσεις με λίπανση σε σύγκριση με τον μάρτυρα, αμέσως μετά την εφαρμογή της λίπανσης. Η ανώτερη τιμή που παρατηρήθηκε για τα λιπασμένα τεμάχια ήταν περίπου 6,2 (κατά την αρχή της άνθησης), ενώ η αντίστοιχη τιμή για τα μη λιπασμένα τεμάχια ήταν 4,4. Μετά από το σημείο αυτό, μία σταδιακή μείωση της φυλλικής επιφάνειας παρατηρήθηκε, η οποία

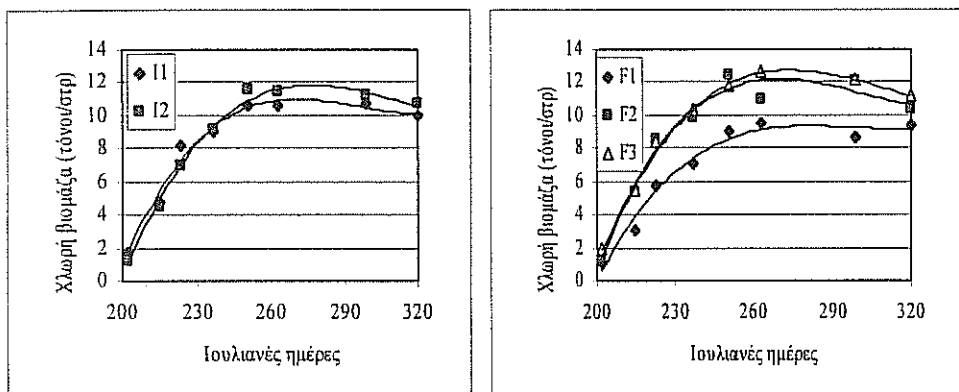


Σχήμα 2. Επίδραση δύο επιπέδων άρδευσης (αριστερά) και τριών επιπέδων λίπανσης (δεξιά) στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας γλυκού σόργου cv. Keller κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (1999).

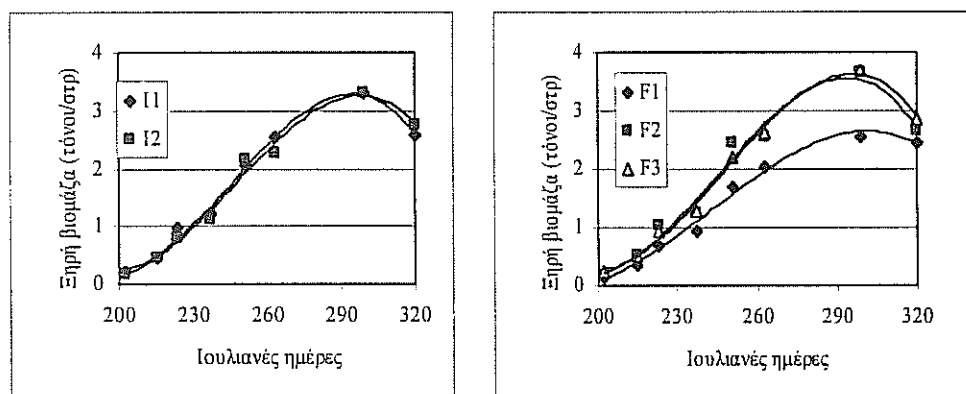
ήταν μάλλον ταχύτερη για τα 2 λιγότερο λιπασμένα τεμάχια. Οι τελικές τιμές (320 Ι.Μ) ήταν 2,4, 1,4 και 1,2 για τα F<sub>3</sub>, F<sub>2</sub> και F<sub>1</sub> τεμάχια, αντίστοιχα.

Όσον αφορά την άρδευση, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας δεν επηρεάστηκε από αυτή. Οι ίδιες μέγιστες τιμές (5,6) παρατηρήθηκαν κατά την αρχή της άνθησης και στα δύο επίπεδα άρδευσης.

### Χλωρή και Ξηρή Βιομάζα



Σχήμα 3. Επίδραση δύο επιπέδων άρδευσης (αριστερά) και τριών επιπέδων λίπανσης (δεξιά) στη χλωρή βιομάζα γλυκού σόργου εν. Keller κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (1999).



Σχήμα 4. Επίδραση δύο επιπέδων άρδευσης (αριστερά) και τριών επιπέδων λίπανσης (δεξιά) στη ξηρή βιομάζα γλυκού σόργου εν. Keller κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (1999).

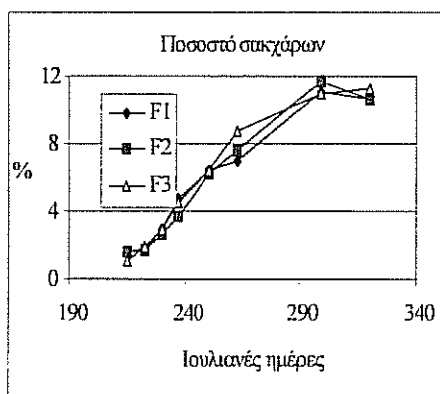
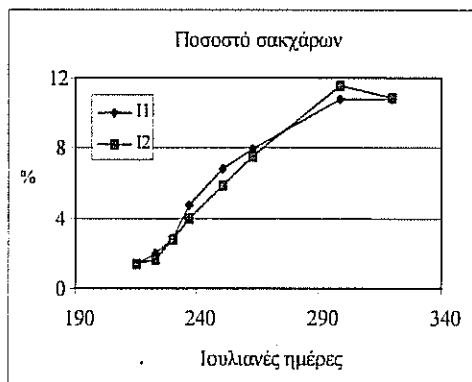
Ο ρυθμός αύξησης σε χλωρή βιομάζα στα πειραματικά τεμάχια με λίπανση ήταν υψηλότερος (240 kg/στρ./ημέρα) σε σχέση με τα τεμάχια του μάρτυρα (170 kg/στρ./ημέρα), από το φύτερωμα έως την αρχή της άνθησης

Οι αποδόσεις σε χλωρή βιομάζα στα λιπασμένα τεμάχια έφθασαν τους 12 τον/στρ. στο τέλος Οκτωβρίου, έναντι 8,5 τον/στρ. για το μάρτυρα.

Η επίδραση της λίπανσης στις αποδόσεις σε ξηρή ουσία ήταν στατιστικά σημαντική, με τα λιπασμένα πειραματικά τεμάχια να καταγράφουν στατιστικά μεγαλύτερες αποδόσεις από το μάρτυρα (3,7, 3,6 και 2,5 τόνους ξηράς ουσίας ανά στρέμμα, αντίστοιχα) περί το τέλος Οκτωβρίου. Μετά την ημερομηνία αυτή, μία μεγάλη μείωση σε ξηρή ουσία παρατηρήθηκε στα λιπασμένα πειραματικά τεμάχια, έτσι ώστε στο τέλος Νοεμβρίου οι αποδόσεις τους να είναι παρόμοιες με αυτές του μάρτυρα (2,5 τόνοι/στρ.). Αυτή η μείωση θεωρείται ότι οφείλεται αφενός μεν στη γήρανση και πτώση των φύλλων, που στα λιπασμένα φυτά είναι περισσότερα και αφετέρου στη συνδυασμένη επίδραση, στην προχωρημένη αυτή χρονική περίοδο του φθινοπώρου, της μικρής συσσώρευσης θρεπτικών στοιχείων και αυξημένου ρυθμού αναπνοής των φυτών, λόγω μεγαλύτερης βιομάζας.

Τέλος, όσον αφορά την άρδευση, οι διαφορές στις αποδόσεις δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (περίπου 3,3 τόνοι ξηράς ουσίας ανά στρέμμα και για τα δύο επίπεδα άρδευσης).

### 3.3 Περιεκτικότητα σε σάκχαρα

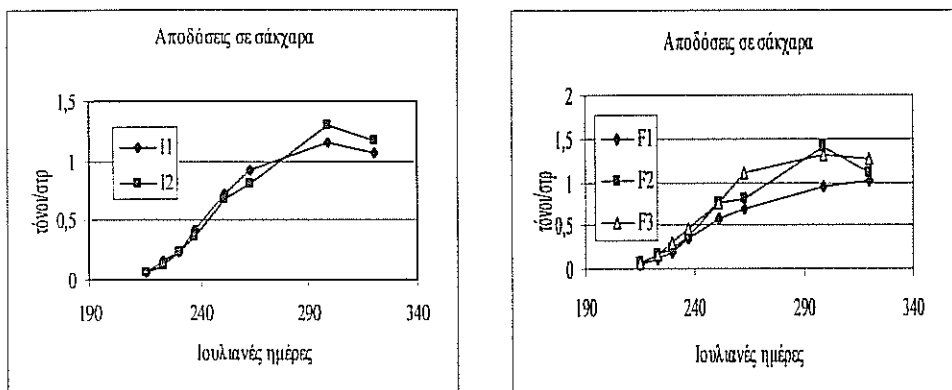


Σχήμα 5. Επίδραση δύο επιπέδων άρδευσης (αριστερά) και τριών επιπέδων λίπανσης (δεξιά) στο ποσοστό σακχάρων γλυκού σόργου cv. Keller κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (1999).

Όπως παρατηρείται στο σχήμα 5, το ποσοστό των σακχάρων στα στελέχη (χλωρή βιομάζα) δεν επηρεάστηκε από την άρδευση και τη λίπανση. Οι μέγιστες τιμές παρουσιάστηκαν κατά το τέλος Οκτωβρίου και έφθασαν το 11,5%.

Οι αποδόσεις σε σάκχαρα κυμάνθηκαν από 1,0-1,3 τόνους ανά στρέμμα ανάλογα με το επίπεδο λίπανσης. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στις διαφορετικές αποδόσεις σε χλωρή βιομάζα αναλόγως του επιπέδου λίπανσης.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι 1 kg σακχαρόζης αποδίδει 538 g αιθανόλης [3,4], οι θεωρητικές αποδόσεις σε αιθανόλη κυμαίνονται από 538-700 kg/στρ. ή 648-843 λίτρα/στρ. ( $M.B_{aw} = 0,83 \text{ kg/l}$ )[5].



Σχήμα 6. Επίδραση δύο επιπέδων άρδευσης (αριστερά) και τριών επιπέδων λίπανσης (δεξιά) στις αποδόσεις σακχάρων γλυκού σόργου εν. Keller κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (1999).

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα η άρδευση δεν επηρέασε κανένα από τα μετρούμενα μεγέθη (ύψος, φυλλική επιφάνεια, παραγωγικότητα και ποσοστό σακχάρων). Αυτό αποδίδεται στη σχετικά καθυστερημένη εγκατάσταση της φυτείας (επίσπορη) και ενδεχομένως στη μικρή διαφορά του συνολικού αρδευτικού νερού μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.

Αντίθετα, η επίδραση της λίπανσης ήταν σημαντική τόσο στις αποδόσεις σε βιομάζα όσο και στην παραγωγή σακχάρων. Αυτό βρίσκεται σε αντιδιαστολή με αποτελέσματα προηγούμενων πειραμάτων λίπανσης, όπου δε φάνηκε σημαντική επίδραση της Ν-ουχου λίπανσης, προφανώς λόγω της υπολειμματικής δράσης του στοιχείου από τα προηγούμενα έτη.

Οι μέγιστες αποδόσεις σε βιομάζα και σάκχαρα που αποτελούν την πρώτη ύλη για παραγωγή αιθανόλης παρατηρήθηκαν κατά το τέλος Οκτωβρίου, ενώ στη συνέχεια μειώθηκαν και επομένως ως καταλληλότερη εποχή συγκομιδής φαίνεται να είναι αυτή του Οκτωβρίου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το σόργο συγκρινόμενο με άλλα φυτά (πιν. 2) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αιθανόλης, όπως φαίνεται από τα παραπάνω αποτελέσματα (648-843 λίτρα/στρ., για 0-12 kg N/στρ) δίνει τις μεγαλύτερες αποδόσεις, απαιτώντας ταυτοχρόνως τις μικρότερες ποσότητες αζώτου, γεγονός που το καθιστά μία περιβαλλοντικά φιλική πρώτη ύλη για τη παραγωγή βιοκαυσίμων.

**Πίνακας 2. Απαιτήσεις σε άζωτο και αποδόσεις σε αιθανόλη διαφόρων φυτών [9]**

	Απαιτήσεις σε N (kg/στρ)	Αποδόσεις σε αιθανόλη (lt/στρ)
Σιτάρι	12-20	172-331
Καλαμπόκι	13-22	227-404
Τεύτλα	14-15	524-791

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Dalianis C., 1996. Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions. *Proc. Of First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry*, France, 15-25.
2. M. Mastroilli, N. Katerji, G. Rana, and P. Steduto 1995. Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies. *Industrial Crops and Products*, 3, 253-260.
3. Bryan W., Monroe G., Nichols R., and Gascho G. 1981. Evaluation of Sweet Sorghum for Fuel Alcohol. *Proc. Of Winter Meeting Of ASAE*, paper No. 81-3571.
4. Smith G. A., Babgy M. O., Lewellan R. T., Doney D. L., Moore P. H., Hills F. J., Campbell L. G., Hogaboam G. J., Coe G. E., and Freeman K. 1987. Evaluation of Sweet Sorghum for Fermentable Sugar Production Potential. *Crop Science* 27: 788-793.
5. Soldatos P., and Chatzidaki M. 1999. Economic Evaluation of Biofuel Production in Greece. The Case of Ethanol. *Proc. Of "AgEnergy '99"*, Vol. 2 973-980 pp.
6. Panoutsou C., Kavadakis G., Namatov I., Natioti H., Nikolaou A., Thiveou H., Tsiotas K., and Danalatos N. 2000. 3<sup>rd</sup> year report of FAIR CT 96 1913: Environmental Studies On Sweet and Fiber Sorghum, Sustainable Crops for Biomass and Energy.
7. Dercas N., Panoutsou C., and Dalianis C. 1996. Water and Nitrogen Effects on Sweet Sorghum Growth and Productivity. *Proc. Of 9<sup>th</sup> European Conference and Technology Exhibition "Biomass for Energy and Industry"*. Ed. Chartier et. al., Pergamon Press U.K. 54-60 pp.
8. Dercas N., Panoutsou C., Dalianis C., and Sooter C. 1995. Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Response to four irrigation and two Nitrogen fertilization rates. *Proc. Of 8<sup>th</sup> E.C Conference "Biomass for Energy, Environment, Agriculture"* Vol. 1 Ed. Chartier et. al., Pergamon Press. U.K 629-639 pp.
9. OECD/IEA, 1994. Biofuels, pp. 19-27.

# ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΣΤΑΘΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ: ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Κ.Γ.Αρβανίτης<sup>1</sup>, Ν. Σιγριμής<sup>2</sup>, Γ.Δ.Πασγιάνος<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Τ.Θ. 275, 54006,  
Θεσσαλονίκη (email: karvan@agro.auth.gr).

<sup>2</sup> Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυτικών Πόρων και  
Γεωργικής Μηχανικής, Ιερά Οδός 75, Αθήνα 11855

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο έλεγχος βιολογικών αντιδραστήρων επεξεργασίας βιομάζας είναι μία ενεργή περιοχή έρευνας, εξαιτίας του γεγονότος ότι τέτοιοι αντιδραστήρες είναι εξαιρετικά δύσκολο να ελεγχθούν. Στην παρούσα εργασία, προτείνονται νέες μέθοδοι βαθμονόμησης PID ελεγκτών για ασταθείς βιολογικούς αντιδραστήρες. Οι προτεινόμενες μέθοδοι εξασφαλίζουν ομαλή απόκριση σε μεταβολές του σημείου λειτουργίας, ταχεία ρύθμιση και ευρωστία έναντι παραμετρικών αβεβαιοτήτων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης κατά-δεικνύουν την αποτελεσματικότητα των προτεινομένων μεθόδων.

## NEW TECHNIQUES IN THE CONTROL OF UNSTABLE BIOLOGICAL REACTORS FOR BIOMASS PROCESSING: THEORY AND SIMULATION

K.G.Arvanitis<sup>1</sup>, N. Sigrimis<sup>2</sup>, G.D.Pasgianos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agriculture, P.O. Box 275,  
54006, Thessaloniki, GREECE (email: karvan@agro.auth.gr).

<sup>2</sup> Agricultural University of Athens, Department of Agricultural Engineering, Iera  
Odos 75, 11855 Athens, GREECE.

## ABSTRACT

Control of biological reactors for biomass processing has become an active area of research in recent years, due to the fact that they can be extremely difficult to control. In this paper, new methods for tuning PID controllers for such unstable reactors are reported. The proposed methods ensure smooth closed-loop response to set-point changes, fast regulatory control and robustness against parametric uncertainty. The simulation results prove the effectiveness of the proposed PID tuning methods.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βιολογικοί αντιδραστήρες επεξεργασίας βιομάζας λειτουργούν συχνά περίξ ασταθών μονίμων καταστάσεων (σημείων ισορροπίας). Για την προσέγγιση της δυναμικής τους με σκοπό τη σχεδίαση ελεγκτών, χρησιμοποιούνται ασταθή πρώτης τάξης μοντέλα συνάρτησης μεταφοράς με νεκρό χρόνο [1], [2]. Ο έλεγχος τέτοιων συστημάτων είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος [3]-[6], λόγω του γεγονότος ότι οι κλασσικές μέθοδοι βαθμονόμησης PID ελεγκτών, όπως οι μέθοδοι Ziegler-Nichols και Cohen-Coon [7], δεν είναι εφαρμόσιμες σε τέτοια συστήματα, εξαιτίας της ιδιαιτερότητάς τους. Το κοινό χαρακτηριστικό των μεθόδων βαθμονόμησης, οι οποίες έχουν προταθεί για ασταθή πρώτης τάξης συστήματα με νεκρό χρόνο, είναι ότι αποδίδουν υπερβολικά μεγάλη υπερύψωση στην απόκριση κλειστού συστήματος. Το γεγονός αυτό έχει επισημανθεί στην εργασία [8], στην οποία επιπλέον προτείνεται ένας νέος κανόνας βαθμονόμησης, ο οποίος ενσωματώνει τη δομή ελέγχου P-PI δύο σταδίων και τον κανόνα βαθμονόμησης ελεγκτή εσωτερικού μοντέλου [4].

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση διάφορων νέων μεθόδων βαθμονόμησης PID ελεγκτών για ασταθείς διεργασίες πρώτης τάξης με νεκρό χρόνο. Σε αντίθεση με τους γνωστούς κανόνες βαθμονόμησης, οι οποίοι απολήγουν σε υπερύψωση της απόκρισης κλειστού συστήματος ή απαιτούν την τροποποίηση της δομής ανατροφοδότησης, οι προτεινόμενες μέθοδοι διασφαλίζουν ομαλή απόκριση και ευρωστία έναντι παραμετρικών αβεβαιοτήτων ενώ διατηρούν την κλασσική δομή των PID ελεγκτών. Αυτή η βελτιωμένη συμπεριφορά καθίσταται εφικτή με τη χρήση μίας σειράς φίλτρων εισόδου και με την εφαρμογή ορισμένων απλών κανόνων υπολογισμού των παραμέτρων του ελεγκτή. Ειδικότερα, στην εργασία διερευνώνται δύο εναλλακτικές δομές PI ελεγκτή με φίλτρα εισόδου: Μία βασισμένη σε ένα φίλτρο πρώτης τάξης και μία βασισμένη σε ένα φίλτρο τέταρτης τάξης. Αναλύεται επίσης μία δομή PID ελεγκτή με φίλτρο εισόδου δεύτερης τάξης. Οι προτεινόμενοι κανόνες βαθμονόμησης βασίζονται σε ορισμένες νέες, μεγάλης ακρίβειας προσεγγίσεις των συχνοτήτων τομής και είτε εκφράζονται με όρους μίας προσαρμοζόμενης παραμέτρου, η οποία δύναται να επιλεγεί για την εξασφάλιση κρίσιμης απόκρισης ή την ελαχιστοποίηση ενός κριτηρίου βασισμένου στο ολοκλήρωμα των τετραγωνικών σφαλμάτων και των κανονικοποιημένων τετραγωνικών αποκλίσεων του ελεγκτή [9], είτε βασίζονται στην ταυτόχρονη ικανοποίηση επιθυμητών περιθωρίων ενίσχυσης και φάσης [7]. Στην εργασία δίδονται σαφείς σχέσεις για την επιλογή των προσαρμοζόμενων παραμέτρων. Τέλος, παρουσιάζεται μία εφαρμογή των προτεινόμενων μεθόδων στο ασταθές μοντέλο ενός βιολογικού αντιδραστήρα με σημαντική καθυστέρηση λόγω μέτρησης. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης καταδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων μεθόδων, οι οποίες αποδίδουν βελτιωμένη συμπεριφορά κλειστού συστήματος.

## 2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ PID ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΜΕ ΦΙΛΤΡΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Η συνάρτηση μεταφοράς ενός συστήματος πρώτης τάξης με νεκρό χρόνο είναι

$$G_p(s) = \frac{Ke^{-ds}}{Ts - 1}$$

όπου  $K$ ,  $d$  και  $T$  είναι το κέρδος, ο χρόνος καθυστέρησης και η σταθερά χρόνου, αντίστοιχα. Για τον έλεγχο συστημάτων αυτού του τύπου, προτείνεται στη συνέχεια η

δομή PI ελεγκτή με φίλτρα εισόδου του Σχήματος 1, όπου  $G_C(s)$  είναι η συνάρτηση μεταφοράς του PI ελεγκτή, η οποία έχει τη μορφή

$$G_C(s) = K_C \left( 1 + \frac{1}{\tau_I s} \right)$$

όπου  $K_C$  και  $\tau_I$  είναι το κέρδος και η σταθερά χρόνου ολοκλήρωσης του ελεγκτή, ενώ  $G_{SPF}(s)$  είναι η συνάρτηση μεταφοράς του φίλτρου εισόδου, η οποία είναι δυνατόν να λάβει μία από τις ακόλουθες εναλλακτικές μορφές

$$G_{SPF,1}(s) = 1/(\tau_I s + 1) \quad (1)$$

και

$$G_{SPF,2}(s) = \frac{b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + 1}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1} \quad (2)$$

$$b_1 = \left( 1 - \frac{1}{KK_C} \right) \tau_I - 0.5d, \quad b_2 = \left( \frac{T-0.5d}{KK_C} - 0.5d \right) \tau_I, \quad b_3 = \frac{dT}{2KK_C} \tau_I$$

$$a_1 = \tau_I \left( 2 - \frac{1}{KK_C} \right), \quad a_2 = \left( 1 - \frac{1}{KK_C} \right) \tau_I^2 + \left( \frac{T-0.5d}{KK_C} \right) \tau_I - 0.25d^2$$

$$a_3 = \left( \frac{T-0.5d}{KK_C} \right) \tau_I^2 + \left( \frac{0.5dT}{KK_C} - 0.5d^2 \right) \tau_I, \quad a_4 = \left( \frac{0.5dT}{KK_C} - 0.25d^2 \right) \tau_I^2$$

με περιορισμούς  $a_1 a_2 a_3 - a_1^2 a_4 - a_3^2 > 0$ ,  $a_2 a_3 - a_1 a_4 > 0$ ,  $a_4 > 0$ ,  $a_3 > 0$ ,  $b_2 > 0$ ,  $b_1 b_2 - b_3 > 0$ , οι οποίοι τίθενται για να εξασφαλισθεί ότι το φίλτρο εισόδου είναι ευσταθές και χωρίς μηδενικά στο δεξιό μιγαδικό ημιπίεδο.

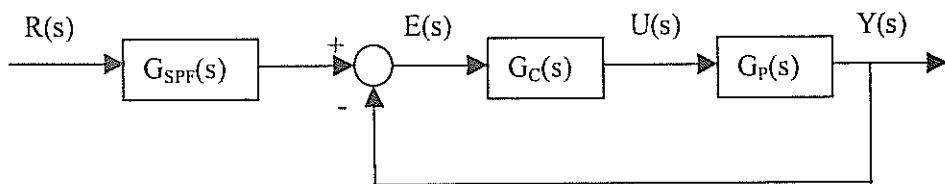
Στη συνέχεια, είναι επιθυμητή η βαθμονόμηση του PI ελεγκτή. Για το σκοπό αυτό, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το φίλτρο εισόδου (1), η συνάρτηση μεταφοράς βρόχου της δομής ελέγχου του Σχήματος 1 είναι [10]

$$G_{L,1}(s) = G_C(s)G_P(s) = \frac{KK_C(\tau_I s + 1)}{\tau_I s(Ts - 1)} \exp(-ds) \quad (3)$$

ενώ, στην περίπτωση του φίλτρου εισόδου (2), η συνάρτηση μεταφοράς του κλειστού συστήματος προσεγγίζεται από τη σχέση [10]

$$G_{CL,2}(s) = \frac{\exp(-ds)}{\lambda^2 s^2 + 2\zeta\lambda s + 1} \quad \text{με } \lambda = \sqrt{\tau_I \left( \frac{T}{KK_C} - 0.5d \right)}, \quad \zeta = \frac{\tau_I - 0.5d - \frac{\tau_I}{KK_C}}{2\sqrt{\tau_I \left( \frac{T}{KK_C} - 0.5d \right)}} \quad (4)$$

ενώ, η συνάρτηση μεταφοράς βρόχου είναι [10]



Σχήμα 1. Η προτεινόμενη δομή ελέγχου βασισμένη σε φίλτρα εισόδου.



$$G_{L,2}(s) = \frac{KK_c(1+0.5ds)(\tau_1s+1)}{\tau_1s(Ts-1)} \exp(-ds) \quad (5)$$

Στη συνέχεια, προτείνεται μία μέθοδος βαθμονόμησης ΠΙ ελεγκτών με πρώτης τάξης φίλτρο εισόδου, βασισμένη στην ταυτόχρονη ικανοποίηση επιθυμητών περιθωρίων ενίσχυσης  $G_M$  και φάσης  $P_M$  [7]. Με κατάλληλους αλγεβρικούς χειρισμούς της σχέσης (3), οι προτεινόμενες παράμετροι του ΠΙ ελεγκτή που εξασφαλίζουν τα επιθυμητά περιθώρια ενίσχυσης και φάσης είναι (βλ. λεπτομέρειες στην εργασία [10])

$$\tau_1 = \frac{2\pi T}{3T \left( \frac{2P_M G_M + \pi G_M (G_M - 1)}{2d(G_M^2 - 1)} \right) \left( \pi - \frac{2P_M G_M + \pi G_M (G_M - 1)}{(G_M^2 - 1)} \right) - 2\pi} \quad (6)$$

$$K_c = \frac{T[2P_M + \pi(G_M - 1)]}{2Kd(G_M^2 - 1)} \quad (7)$$

Στην περίπτωση φίλτρου εισόδου τέταρτης τάξης, προτείνονται οι ακόλουθοι δύο αλγόριθμοι βαθμονόμησης:

**Αλγόριθμος 1.** Αρχικά υποθέτουμε μία μεγάλη τιμή του  $\tau_1$ , έστω  $\tau_1 = 100T$ . Εν συνεχεία, υπολογίζουμε τις ποσότητες

$$\hat{\omega}_{\min} = \sqrt{\frac{\pi}{3(T-0.5d)\tau_1}}, \quad \hat{\omega}_{\max} = \frac{\pi}{2d} \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{8d(T+\tau_1)}{3\pi T\tau_1}} \right] \quad (8)$$

$$\hat{K}_{c,\min} = \frac{1}{K} \frac{\sqrt{1+(T\hat{\omega}_{\min})^2}}{\sqrt{1+(\tau_1\hat{\omega}_{\min})^2}} \frac{\tau_1\hat{\omega}_{\min}}{\sqrt{1+(0.5d\hat{\omega}_{\min})^2}}, \quad \hat{K}_{c,\max} = \frac{1}{K} \frac{\sqrt{1+(T\hat{\omega}_{\max})^2}}{\sqrt{1+(\tau_1\hat{\omega}_{\max})^2}} \frac{\tau_1\hat{\omega}_{\max}}{\sqrt{1+(0.5d\hat{\omega}_{\max})^2}} \quad (9)$$

Τότε, εκλέγουμε

$$K_c = \sqrt{\hat{K}_{c,\min} \hat{K}_{c,\max}}, \quad \tau_1 = \hat{\tau}_{1,\max} / \gamma_1 \quad (10)$$

όπου  $\hat{\tau}_{1,\max} = \left( \frac{3\pi}{8d} \left[ 1 - \left( \frac{2d\hat{\omega}_F}{\pi} - 1 \right)^2 \right] - \frac{1}{T} \right)^{-1}$  και  $\hat{\omega}_F$  είναι η μέγιστη θετική πραγματική ρίζα της εξίσωσης

$$(g_1 T^2 - \frac{g_2 \tau_1^2 d^2}{4}) \hat{\omega}_F^4 + \left[ g_1 - g_2 \left( \tau_1^2 + \frac{d^2}{4} \right) \right] \hat{\omega}_F^2 - g_2 = 0 \quad (11)$$

με

$$g_1 = \sqrt{1 + \frac{d^2}{4} (\hat{\omega}_{\min}^2 + \hat{\omega}_{\max}^2) + \frac{d^4}{16} (\hat{\omega}_{\min} \hat{\omega}_{\max})^2} \sqrt{1 + \tau_1^2 (\hat{\omega}_{\min}^2 + \hat{\omega}_{\max}^2) + \tau_1^4 (\hat{\omega}_{\min} \hat{\omega}_{\max})^2}$$

$$g_2 = \hat{\omega}_{\min} \hat{\omega}_{\max} \sqrt{1 + T^2 (\hat{\omega}_{\min}^2 + \hat{\omega}_{\max}^2) + T^4 (\hat{\omega}_{\min} \hat{\omega}_{\max})^2}$$

ενώ  $\gamma_1$  είναι προσαρμοζόμενη παράμετρος.

Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία μέχρι την επίτευξη σύγκλισης.

**Αλγόριθμος 2.** Επαναλαμβάνουμε τα βήματα του Αλγορίθμου 1 μέχρι και τον υπολογισμό του  $K_c$ , μέσω της πρώτης των εξισώσεων (10). Εν συνεχεία θέτουμε

$$\tau_1 = \hat{\tau}_{1,\min} / \gamma_2, \quad \hat{\tau}_{1,\min} = \pi \left( 3(T - 0.5d) \hat{\omega}_F^2 \right)^{-1}$$

όπου  $\hat{\omega}_F$  είναι η μέγιστη θετική πραγματική ρίζα της εξίσωσης (11), ενώ  $\gamma_2$  είναι προσαρμοζόμενη παράμετρος. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία μέχρι την επίτευξη σύγκλισης.

Ο υπολογισμός των προσαρμοζόμενων παραμέτρων  $\gamma_i$ ,  $i=1,2$ , γίνεται είτε με βάση τις σχέσεις

$$\frac{d^2}{4} \gamma_1^2 - \left[ d \left( 1 - \frac{1}{KK_c} \right) + 4 \left( \frac{T}{KK_c} - \frac{d}{2} \right) \right] \hat{\tau}_{1,\max} \gamma_1 + \left( 1 - \frac{1}{KK_c} \right)^2 \hat{\tau}_{1,\max}^2 = 0 \quad (12)$$

$$\frac{d^2}{4} \gamma_2^2 - \left[ d \left( 1 - \frac{1}{KK_c} \right) + 4 \left( \frac{T}{KK_c} - \frac{d}{2} \right) \right] \hat{\tau}_{1,\min} \gamma_2 + \left( 1 - \frac{1}{KK_c} \right)^2 \hat{\tau}_{1,\min}^2 = 0$$

με σκοπό την επίτευξη κρίσιμης απόκρισης ( $\zeta = 1$ , στη σχέση (4)) [10] είτε με βάση την ελαχιστοποίηση του κριτηρίου κόστους [9]

$$J_{\text{ISENSCOD}} = \int_0^{\infty} \left[ y(t) - r(t) \right]^2 + K^2 \left[ u(t) - u_x \right]^2 dt$$

μέσω προσομοίωσης. Εκτεταμένες προσομοιώσεις αποφέρουν τις τιμές των προσαρμοζόμενων παραμέτρων ως συναρτήσεις της ποσότητας  $d/T$ . Επί παραδείγματι για την παράμετρο  $\gamma_2$ , λαμβάνουμε [10]

$$\gamma_2 = \frac{-0.00296 + 0.84111 \left( \frac{d}{T} \right) - 2.77972 \left( \frac{d}{T} \right)^2 + 2.47645 \left( \frac{d}{T} \right)^3}{1 + 0.10985 \left( \frac{d}{T} \right) - 9.47509 \left( \frac{d}{T} \right)^2 + 12.44899 \left( \frac{d}{T} \right)^3}$$

Στην περίπτωση, ενός PID ελεγκτή με συνάρτηση μεταφοράς

$$G_C(s) = K_C (1 + 1/(\tau_I s) + \tau_D s) \quad \text{ή} \quad G_C(s) = \tilde{K}_C (1 + 1/(\tau_A s)) (1 + \tau_B s)$$

όπου

$$K_C = \tilde{K}_C \left( \frac{\tau_A + \tau_B}{\tau_A} \right), \quad \tau_I = \tau_A + \tau_B, \quad \tau_D = \frac{\tau_A \tau_B}{\tau_A + \tau_B} \quad (13)$$

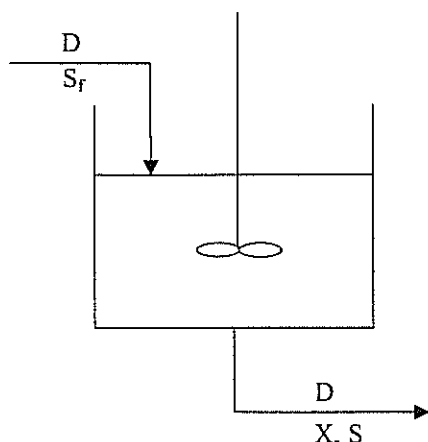
το φίλτρο εισόδου λαμβάνει τη μορφή

$$G_{\text{SPF},3}(s) = \frac{1}{(\tau_A s + 1)(\tau_B s + 1)}$$

Τότε  $\tau_B = 0.5d$ , ενώ οι παράμετροι  $\tilde{K}_C$  και  $\tau_A$  υπολογίζονται με βάση τους Αλγορίθμους 1 ή 2. Με βάση τις ποσότητες  $\tilde{K}_C$ ,  $\tau_A$  και  $\tau_B$ , οι παράμετροι του PID ελεγκτή υπολογίζονται πλέον μέσω των σχέσεων (13).

### 3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΑΣΤΑΘΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Μία σχηματική αναπαράσταση ενός βιολογικού αντιδραστήρα επεξεργασίας βιομάζας δίνεται στο Σχήμα 2. Υποθέτουμε ότι ο αντιδραστήρας είναι σταθερού όγκου, ότι τα συστατικά της αντίδρασης είναι καλά αναμεμειγμένα και ότι η τροφοδοσία είναι αποστειρωμένη. Ο ρυθμός διάλυσης  $D$  είναι διαθέσιμος ως υπό χειρισμό είσοδος, ενώ  $S_f$  είναι η συγκέντρωση του υποστρώματος τροφοδοσίας (feed substrate



Σχήμα 2. Σχηματικό διάγραμμα βιολογικού αντιδραστήρα επεξεργασία βιομάζας

concentration). Επιπλέον,  $X$  είναι η συγκέντρωση της εκρέουσας βιομάζας και  $S$  είναι η συγκέντρωση υποστρώματος. Στην παραγωγή αιθανόλης, για παράδειγμα, τα  $X$  και  $S$  αναπαριστούν τις συγκεντρώσεις μαγιάς και γλυκόζης, αντίστοιχα.

Μία πληθώρα μοντέλων έχουν προταθεί για τέτοιου είδους διεργασίες. Δομημένα μοντέλα επιχειρούν να περιγράψουν λεπτομερειακά τους ανεξάρτητους οργανισμούς, οι οποίοι εμπλέκονται στις πραγματοποιούμενες χημικές αντιδράσεις, αλλά συνήθως είναι ιδιαίτερα πεπλεγμένα από μαθηματικής άποψης για να είναι χρήσιμα για τη σχεδίαση ελεγκτών. Αρκετά απλούστερα, μη δομημένα μοντέλα είναι δυνατόν να ληφθούν υποθέτοντας ότι η καλλιέργεια του αντιδραστήρα αποτελείται από ένα ομογενώς αναπτυσσόμενο είδος οργανισμού. Τα μοντέλα αυτά αποτελούνται συνήθως από λίγες μη γραμμικές κανονικές διαφορικές εξισώσεις και είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για την εφαρμογή μη γραμμικών στρατηγικών ελέγχου. Η συμπεριφορά ανοικτού βρόχου ενός βιολογικού αντιδραστήρα, σταθερού όγκου και αποστειρωμένης τροφοδοσίας είναι δυνατόν να περιγραφεί από το ακόλουθο μη δομημένο μοντέλο [11]

$$\frac{dX}{dt} = (\mu(S) - D)X \quad , \quad \frac{dS}{dt} = D(S_f - S) - \frac{\mu(S)X}{Y_{X/S}} \quad , \quad \mu(S) = \frac{\mu_m S}{K_m + S + \frac{S^2}{K_1}} \quad (14)$$

όπου,  $\mu(S)$  είναι ο ειδικός ρυθμός ανάπτυξης,  $Y_{X/S}$  είναι ο συντελεστής απόδοσης βιομάζας,  $\mu_m$  είναι ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης,  $K_m$  είναι η σταθερά ρυθμού ανάπτυξης και  $K_1$  είναι η σταθερά αναστολής του υποστρώματος. Ορισμένες τυπικές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου είναι  $Y_{X/S} = 0.4\%/g$ ,  $S_f = 4\%/g$ ,  $D = 0.36h^{-1}$ ,  $\mu_m = 0.53h^{-1}$ ,  $K_m = 0.12\%/g$ ,  $K_1 = 0.4545\%/g$  [11].

Η λύση μόνιμης κατάστασης των εξισώσεων (14) εμφανίζει πολλαπλές μόνιμες καταστάσεις. Μία τετριμμένη κατάσταση (συνθήκη αχρηστίας) στο  $[X, S]_1 = [0, 4]$ , μία ασταθής μόνιμη κατάσταση στο  $[X, S]_2 = [0.9951, 1.5122]$ , όπως επίσης και μία ευσταθής μόνιμη κατάσταση στο  $[X, S]_3 = [1.5301, 0.1746]$  είναι δυνατόν να προβλεφθούν για το προαναφερθέν μοντέλο.

Στην παρούσα μελέτη είναι επιθυμητό, η λειτουργία και ο έλεγχος του αντιδραστήρα να λαμβάνει χώρα στην ασταθή μόνιμη κατάσταση  $[X, S]_2$ . Η συγκέντρωση βιομάζας  $X$  είναι η υπό έλεγχο μεταβλητή. Οι περιορισμοί της υπό χειρισμό

μεταβλητής είναι  $D_I=0.25 \text{ h}^{-1}$  και  $D^U=0.40 \text{ h}^{-1}$ . Στη μέτρηση του  $X$  λαμβάνεται υπόψη μία χρονική καθυστέρηση της τάξης της μίας ώρας. Η συμπεριφορά του ανοικτού συστήματος στο ασταθές σημείο εναρμονίζεται με τοπική γραμμικοποίηση με αυτή ενός συστήματος πρώτης τάξης με νεκρό χρόνο της μορφής

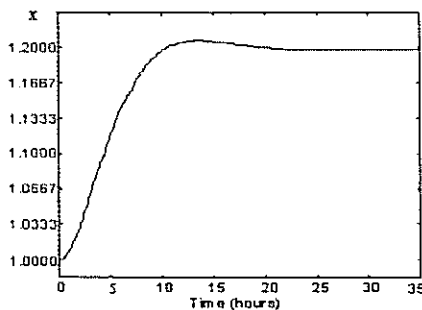
$$G_p(s) = \frac{-5.89}{5.86s-1} \exp(-s) \quad (15)$$

Στο προαναφερθέν μοντέλο βιολογικού αντιδραστήρα, εφαρμόζουμε αρχικά τον Αλγόριθμο 2, με την προσαρμοζόμενη παράμετρο  $\gamma_2$  επιλεγμένη, σε τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το  $J_{\text{ISENSCOD}}$ . Αφού  $d/T=0.1706$ , λαμβάνουμε  $\gamma_{2,\text{opt}} = 0.0894$ . Εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου αποφέρει  $K_C = -0.5436$ ,  $\tau_I = 6.9600$ . Η απόκριση κλειστού συστήματος του αντιδραστήρα, για μία βηματική μεταβολή του επιθυμητού σημείου λειτουργίας από 0.9951 σε 1.1941, δίδεται στο Σχήμα 3.

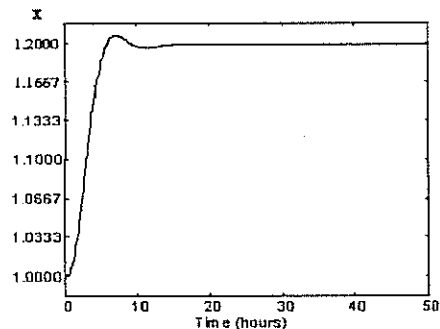
Εν συνεχεία, εφαρμόζουμε τη μέθοδο, η οποία βασίζεται στην ταυτόχρονη ικανοποίηση επιθυμητών περιθωρίων ενίσχυσης και φάσης, με στόχο τη σχεδίαση ενός PI ελεγκτή, ο οποίος εξασφαλίζει στο σύστημα κλειστού βρόχου, περιθώριο ενίσχυσης 2 dB και περιθώριο φάσης  $20^\circ$ . Εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου αποφέρει τις παραμέτρους του PI ελεγκτή,  $K_C = -0.6367$  και  $\tau_I = 5.4095$ . Η απόκριση κλειστού βρόχου του αντιδραστήρα, η οποία λαμβάνεται σε αυτή την περίπτωση, για μία βηματική μεταβολή του επιθυμητού σημείου λειτουργίας, από 0.9951 σε 1.1941, δίδεται στο Σχήμα 4.

Τέλος, εφαρμόζουμε στο μοντέλο του αντιδραστήρα, την προτεινόμενη μέθοδο σχεδίασης PID ελεγκτών. Για την ακρίβεια, εφαρμόζουμε τον Αλγόριθμο 1 (με την παράμετρο  $\gamma_1$  να δίδεται από την εξίσωση (12)), ώστε να αποτιμήσουμε τις παραμέτρους  $\tilde{K}_C$  και  $\tau_A$ . Τότε λαμβάνουμε  $\tilde{K}_C = -0.5404$  και  $\tau_A = 12.8190$ . Ακολούθως, παρατηρούμε ότι  $\tau_B = 0.5$ . Τέλος, αποτιμώντας τις εξισώσεις (13) λαμβάνουμε  $K_C = -0.5615$ ,  $\tau_I = 13.3190$  και  $\tau_D = 0.4812$ . Η απόκριση κλειστού συστήματος σε αυτή την περίπτωση, για μία βηματική μεταβολή του επιθυμητού σημείου λειτουργίας, από 0.9951 σε 1.1941, δίδεται στο Σχήμα 5.

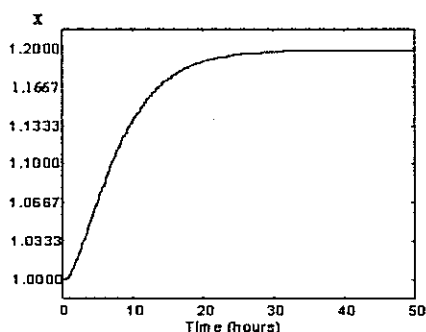
Λαμβάνοντας υπόψη τη δυσκολία του προβλήματος, οι λαμβανόμενες αποκρίσεις, σε όλες τις περιπτώσεις οι οποίες διερευνήθηκαν είναι πολύ ικανοποιητικές.



Σχήμα 3. Απόκριση κλειστού βρόχου υπό PI έλεγχο με βάση τον Αλγόριθμο 2.



Σχήμα 4. Απόκριση κλειστού βρόχου υπό PI έλεγχο με βάση περιθώρια ευστάθειας.



Σχήμα 5. Απόκριση κλειστού βρόχου υπό PID έλεγχο.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάστηκαν διάφορες νέες μέθοδοι βασισμένες σε φίλτρα εισόδου και σε ορισμένες ακριβείς προσεγγίσεις των συχνοτήτων τομής, για τη βαθμονόμηση PID ελεγκτών για ασταθή συστήματα. Οι προτεινόμενες μέθοδοι απαιτούν μικρό υπολογιστικό φόρτο και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για εν γραμμή εφαρμογές. Επιπλέον διασφαλίζουν ομαλή απόκριση, ταχεία ρύθμιση και σημαντική ευρωστία. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης, τα ληφθέντα από την εφαρμογή τους σε ένα μοντέλο βιολογικού αντιδραστήρα, καταδεικνύουν ότι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές στον έλεγχο τέτοιων ασταθών διεργασιών επεξεργασίας βιομάζας.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Rotstein, G.E. and Lewin, D.R., 1991. Simple PI and PID tuning for open-loop unstable systems. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 30, 1864-1869.
2. Kavdia, M. and Chidambaram, M., 1996. On-line controller tuning for unstable systems. *Comp. & Chem. Eng.*, 20, 301-305.
3. De Paor, A.M. and O'Malley, M., 1989. Controllers of Ziegler-Nichols type for unstable process with time delay. *Int. J. Control*, 49, 1273-1284.
4. Morari, M. and Zafiriou, E., 1989. *Robust Process Control*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
5. Calvet, J.P. and Arkun, Y., 1990. Design of P and PI stabilizing controllers for quasi-linear systems. *Comp. & Chem. Eng.*, 14, 415-426.
6. Venkatasankar, V. and Chidambaram, M., 1994. Design of P and PI controllers for unstable first-order plus time delay systems, *Int. J. Control*, 60, 137-144.
7. Astrom, K.J. and Hagglund, T., 1995. *PID Controllers*, 2<sup>nd</sup> ed., ISA, Research Triangle Park, N.C.
8. Jacob, E.F. and Chidambaram, M., 1996. Design of controllers for unstable first-order plus time delay systems. *Comp. & Chem. Eng.*, 20, 579-584.
9. Wilton, S.R., 1999. Controller tuning, *ISA Trans.*, 38, 157-170.
10. Arvanitis, K.G., Sigrimis, N., Pasgianos, G.D. and Kalogeropoulos, G., 2000. New PI controller tuning formulas for unstable first order plus dead time processes. *8<sup>th</sup> IEEE Mediter. Conf Control & Autom.*, Patras, July 17-19, 2000, to appear.
11. Agarwal P. and Lim, H.C., 1986. Analysis of various control schemes for continuous bioreactors, *Adv. Biochem Biotechnology*, 30, 61-90.

# **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΟΥΡΤΙΝΑΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ**

**Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας, Π. Γιαγλάρας,  
Μ. Καραμάνης, Χρ. Λύκας**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής  
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος  
Πεδίον Άρεως, 38334, Βόλος

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η επίδραση της θερμοκουρτίνας, στην ενεργειακή συμπεριφορά του θερμοκηπίου μελετήθηκε πειραματικά σε γυάλινο θερμοκήπιο. Η χρήση θερμοκουρτίνας στο θερμοκήπιο περιόρισε σημαντικά τις απώλειες ενέργειας. Η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα ήταν 3-5 °C μεγαλύτερη σε σχέση με την θερμοκρασία του μάρτυρα, ενώ η σχετική υγρασία ήταν καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος χαμηλότερη. Με τη χρήση της θερμοκουρτίνας, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτεύχθηκε ήταν της τάξης του 25 %, ενώ βρέθηκε ότι ο συντελεστής αποτελεσματικότητας της θερμοκουρτίνας συνδέεται με την εξωτερική θερμοκρασία και την ταχύτητα του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος με αρνητική συσχέτιση.

## **THE INFLUENCE OF A THERMAL SCREEN ON GREENHOUSE ENERGY BEHAVIOR**

**C. Kittas, N. Katsoulas, Th. Bartzanas, P. Giaglaras,  
M. Karamanis, Ch. Lykas**

University of Thessaly, School of Agriculture, Crop and Animal Production  
Laboratory of Agriculture Constructions and Environmental Control  
Pedion Areos, 38334, Volos, Greece

## **ABSTRACT**

The influence of a thermal screen on the energy behavior of a greenhouse was examined experimentally. The use of a thermal screen reduced significantly energy losses. The air in the greenhouse with the screen was always by 3-5 °C hotter and had lower relative humidity values compared to the air in a greenhouse without screen. The energy saving by the use of screen was about 25 %. The coefficient of air tightness efficiency of the screen is related to the temperature and speed of the outside air.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην προσπάθεια για μείωση των εισροών ενέργειας για θέρμανση των θερμοκηπίων, η οποία θα οδηγήσει σε άμεση μείωση του κόστους παραγωγής και σε «καθαρότερο» περιβάλλον, λόγω μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων, υιοθετήθηκαν απλές τεχνικές (ψεκασμός νερού στην οροφή του θερμοκηπίου, μόνωση βορινής πλευράς, χρήση θερμοκουρτίνας, χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων), με κύριο σκοπό την αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Η χρήση θερμοκουρτίνας μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή συμπεριφορά του θερμοκηπίου, τροποποιώντας τα ισοζύγια ακτινοβολίας, αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας του θερμοκηπίου και να οδηγήσει είτε σε μείωση του κόστους θέρμανσης στα θερμαινόμενα θερμοκήπια είτε σε επιμήκυνση της καλλιεργητικής περιόδου στα μη θερμαινόμενα. Έτσι είναι εφικτή η παραγωγή πρωιμότερων και ποιοτικά καλύτερων προϊόντων αλλά ταυτόχρονα είναι δυνατή η υποκατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών με θερμικά απαιτητικότερες. Η θερμοκουρτίνα παρεμβαίνει στις ανταλλαγές ενέργειας με ακτινοβολία καθώς απορροφά, επανακπέμπει και ανακλά προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου μέρος της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που προέρχεται από το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Επίσης περιορίζει τον όγκο του αέρα που πρέπει να θερμανθεί και δημιουργώντας μια νέα επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας με ακτινοβολία, αγωγή και συναγωγή, μειώνει τον ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας του θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια μειώνει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας και τους εκπεμπόμενους ρύπους.

Κατά την δεκαετία του 70 έγιναν πολλές προσπάθειες για την ανάπτυξη τεχνολογιών για εξοικονόμηση ενέργειας. Στον τομέα των θερμοκηπίων οι πρώτες προσπάθειες για την εφαρμογή των θερμοκουρτίνων έγιναν στην Ιαπωνία [1] ενώ στο Institute of Agricultural Engineering της Αγγλίας, η ομάδα του Bailey, μελέτησε διεξοδικά την εφαρμογή διαφόρων τύπων θερμοκουρτίνων με επένδυση από λεπτά φύλλα (λουρίδες) αλουμινίου [2] και υπολόγισε την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί.

Ο Von Zabelitz (1988) παρουσίασε ερευνητική εργασία σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή διαφόρων τύπων θερμοκουρτινών, όπως φύλλα πολυαιθυλενίου, πολυεστερικά φύλλα, ακρυλικά υλικά, αλλά και σύνθετα υλικά με ταινίες από αλουμίνιο κ.λ.π. Ο ίδιος ερευνητής όρισε έναν αδιάστατο συντελεστή ( $f$ ) για την αξιολόγηση της αεροστεγανότητας της θερμοκουρτίνας [3]. Η αεροστεγανότητα μεταξύ του θερμαινόμενου και μη τμήματος του θερμοκηπίου, τα οποία χωρίζονται με τη θερμοκουρτίνα, παίζει σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας. Αν η θερμοκουρτίνα δεν απομονώνει καλά τους δύο χώρους, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να μειωθεί σημαντικά.

Παράλληλα, έγιναν προσπάθειες για την μελέτη της εφαρμογής των θερμοκουρτινών με την βοήθεια μαθηματικών προσομοιωμάτων του μικροκλίματος του θερμοκηπίου [4, 5, 6, 7, 8]. Επίσης έγιναν αρκετές προσπάθειες για την ανάπτυξη προσομοιωμάτων για τον προσδιορισμό των ανταλλαγών θερμικής ακτινοβολίας μεταξύ των διαφόρων εγκλείστων που δημιουργούνται με την τοποθέτηση θερμοκουρτίνας σε θερμοκήπιο [9, 10]. Διάφορα μοντέλα αναπτύχθηκαν για τον υπολογισμό της νυχτερινής καθαρής θερμικής ακτινοβολίας με στόχο να χρησιμοποιηθούν οι θερμοκουρτίνες και για αντιπαγετική προστασία, [11, 12].

Όλες οι προσπάθειες που αναφέρθησαν παραπάνω έγιναν σε συστηματικά θερμαινόμενα γυάλινα θερμοκήπια σε περιοχές με κρύο χειμώνα. Δεν υπάρχουν

δεδομένα για τη χρήση θερμοκουρτινών σε συστηματικά θερμαινόμενα θερμοκήπια σε κλίματα με ήπιους χειμώνες, ενώ παντελής είναι η έλλειψη γνώσης για τις δυνατότητες εφαρμογής θερμοκουρτινών σε ψυχροκήπια (θερμοκήπια χωρίς θέρμανση).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του θερμοκηπίου με τη χρήση της θερμοκουρτίνας στην περιοχή του Βόλου, περιοχή με ήπιους χειμώνες.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς της θερμοκουρτίνας στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου έγινε συστηματική καταγραφή των παραγόντων του μικροκλίματος, για μια καλλιεργητική περίοδο στα γυάλινα πειραματικά θερμοκήπια του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Οι μετρήσεις έγιναν σε δύο θερμοκήπια με κατεύθυνση Β-Ν, έκτασης 200 m<sup>2</sup> το καθένα το χειμώνα του 1998. Στο ένα υπήρχε θερμοκουρτίνα, διπλά επιμεταλλωμένη, καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας ενώ το άλλο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Στα θερμοκήπια υπήρχε καλλιέργεια γαρδένιας.

Τα θερμοκήπια θερμαίνονταν με σύστημα κυκλοφορίας ζεστού νερού σε μεταλλικούς σωλήνες τοποθετημένους στα πλάγια και στην οροφή του θερμοκηπίου, πάνω από την καλλιέργεια. Η θερμοκρασία του θερμοστάτη ήταν 18 °C.

Οι κλιματικοί παράγοντες που καταγράφονταν ήταν:

- Θερμοκρασία, υγρασία πάνω και κάτω από την θερμοκουρτίνα και στο μάρτυρα, η θερμοκρασία του κελύφους του θερμοκηπίου και η θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης και στα δύο θερμοκήπια.
- Ολική και καθαρή ακτινοβολία πάνω και κάτω από την θερμοκουρτίνα, και στο μάρτυρα.
- Θερμοκρασία, υγρασία, ακτινοβολία και ταχύτητα του ανέμου του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Οι μετρήσεις όλων των παραμέτρων γίνονταν κάθε 1 λεπτό και καταγραφόταν ο μέσος όρος κάθε 10 λεπτά σε σύστημα συλλογής δεδομένων (Data Logger, DL 3000).

Για την αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του θερμοκηπίου υπολογίστηκαν οι παρακάτω συντελεστές:

Α) Ο αδιάστατος συντελεστής αεροστεγανότητας,  $fa$  της θερμοκουρτίνας ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$fa = \frac{T_a - T_{out}}{T_{in} - T_{out}} \quad (1)$$

όπου:  $T_a$ ,  $T_{in}$  και  $T_{out}$  είναι η θερμοκρασία του αέρα, στο χώρο πάνω και κάτω από την θερμοκουρτίνα και έξω από το θερμοκήπιο αντίστοιχα.

Ο παραπάνω συντελεστής μας δείχνει την μείωση της θερμοκρασίας πάνω από την θερμοκουρτίνα σε σχέση με την θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα. Όσο χαμηλότερες είναι οι τιμές του παραπάνω συντελεστή τόσο αποτελεσματικότερη είναι η θερμοκουρτίνα. Η τιμή του παραπάνω συντελεστή εξαρτάται και από τον τύπο της θερμοκουρτίνας και η τιμή του κυμαίνεται από 0.27 – 0.70 (Zabeltitz, 1988). Υψηλότερες τιμές μπορεί να παρατηρηθούν σε περιπτώσεις μη καλής στεγανότητας του



θερμοκηπίου, λόγω κενών μεταξύ του χώρου που απομονώνει η θερμοκουρτίνα και λόγω υψηλών ταχυτήτων του εξωτερικού αέρα.

**B)** Το ενεργειακό κέρδος από τη χρήση της θερμοκουρτίνας δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{U_{ns} - U_s}{U_{ns}} \quad (2)$$

όπου:  $U$  ( $W m^{-2} K^{-1}$ ) είναι ο ολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας. Οι δείκτες «ns» και «s» υποδηλώνουν τη χρήση ή μη της θερμοκουρτίνας στο θερμοκήπιο.

Αν  $Q$  ( $W m^{-2}$ ) είναι οι ανάγκες θέρμανσης και  $\Delta T$  (K) είναι η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, ο συντελεστής  $U$  δίνεται από τη σχέση:

$$U = \frac{Q}{\Delta T} \quad (3)$$

Οι ανάγκες θέρμανσης,  $Q$ , ισούνται με την αποδιδόμενη ενέργεια από το σύστημα θέρμανσης και δίνονται από τη σχέση:

$$Q = h * \Delta T_p \quad (4)$$

όπου  $h$  ( $W m^{-2} K^{-1}$ ) είναι ένας ολικός συντελεστής μεταφοράς ενέργειας από τους σωλήνες στον αέρα και  $\Delta T_p$  η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σωλήνων και του αέρα του θερμοκηπίου.

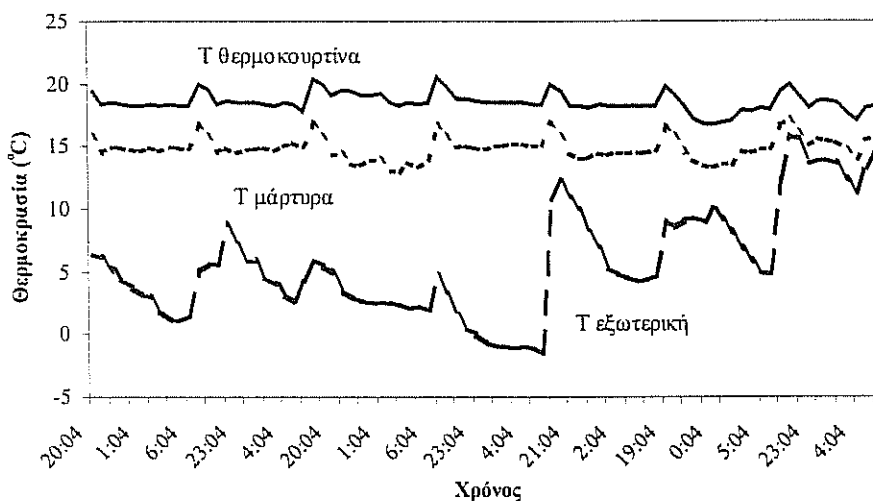
Από τις σχέσεις (2), (3) και (4) υπολογίζεται ο συντελεστής  $K$  σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$K = \frac{\Delta T_s * \Delta T_{p, ns} - \Delta T_{ns} * \Delta T_{p, s}}{\Delta T_{p, ns} * \Delta T_s} \quad (5)$$

Ο συντελεστής  $K$  παίρνει τιμές από 0 έως 1 και όταν οι τιμή του είναι 1 το κέρδος από τη χρήση της θερμοκουρτίνας είναι 100%.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

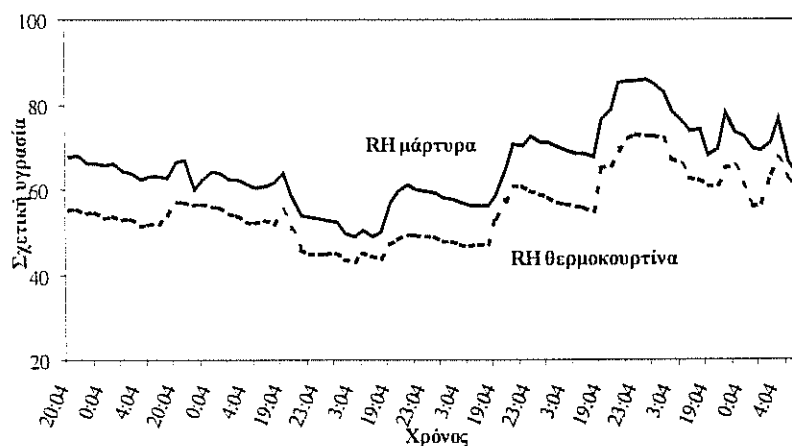
Η μεταβολή της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα και στο μάρτυρα σε σχέση με την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος παρουσιάζεται στο Σχ. 1. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα είναι υψηλότερη από το μάρτυρα, κάτι που άλλωστε αναμενόταν. Η διαφορά σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει τους 5 °C.



**Σχήμα 1.** Μεταβολή των θερμοκρασιών στα δύο θερμοκήπια (θερμοκουρτίνα και μάρτυρα) σε σχέση με την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας στο θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα ήταν μικρότερα σε σχέση με αυτά του μάρτυρα, (Σχήμα 2) κάτι που ερμηνεύεται λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του αέρα στο θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα.

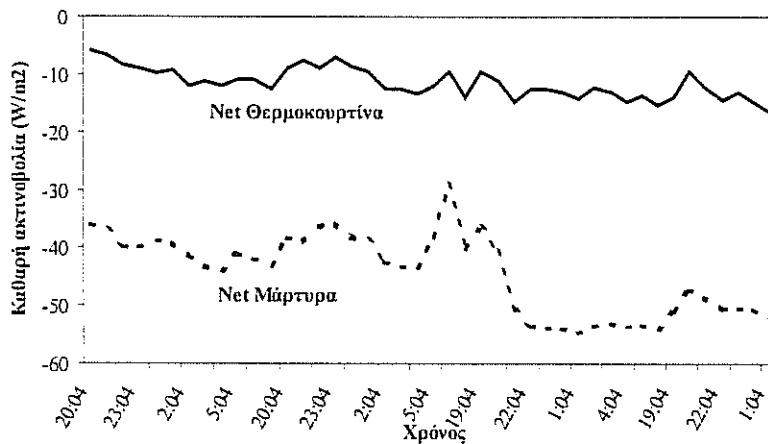
Είναι γνωστό, ότι υψηλά επίπεδα υγρασίας επηρεάζουν την ποιότητα και ποσότητα των παραγομένων προϊόντων καθώς οδηγούν σε φυσιολογικές ανωμαλίες και αυξημένες παρασιτικές και μυκητολογικές ασθένειες.



**Σχήμα 2.** Διαφορά σχετικής υγρασίας στο θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα σε σχέση με το μάρτυρα.

Η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (net radiation) ενώ είχε θετικές τιμές κατά την διάρκεια της ημέρας γινόταν αρνητική την νύχτα. Οι αρνητικές τιμές αναμένονταν αφού κατά την διάρκεια της νύχτας η θερμοκρασία του εδάφους είναι υψηλότερη από

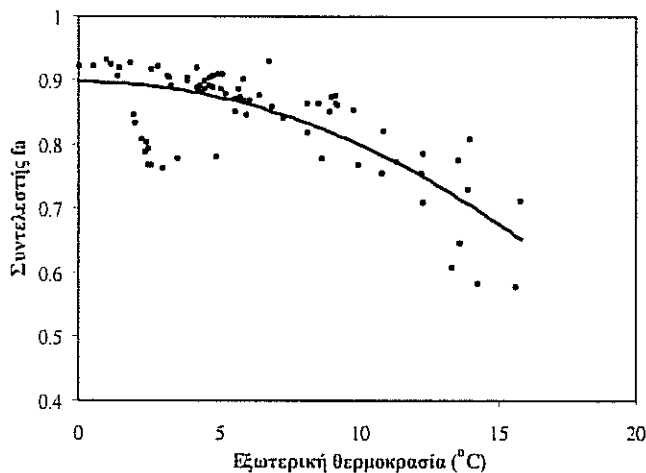
αυτή του ουρανού με αποτέλεσμα να υπάρχει μετάδοση θερμικής ακτινοβολίας από τη γη στον ουρανό.



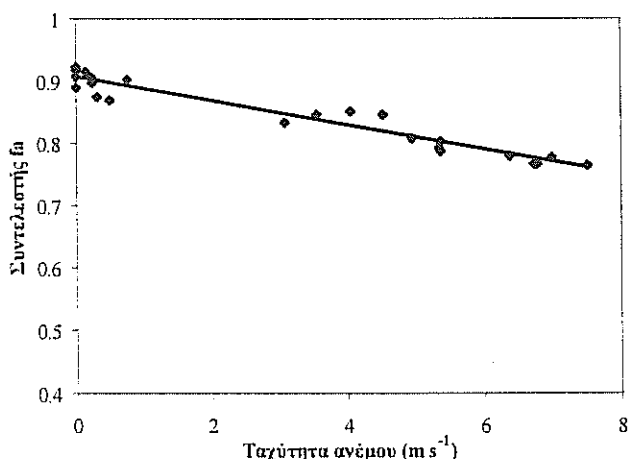
Σχήμα 3. Διαφορά της καθαρής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της νύχτας για τα δύο θερμοκήπια..

Όμως οι απόλυτες τιμές των νυχτερινών τιμών της καθαρής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα ήταν χαμηλότερες από αυτές του μάρτυρα. Κατά συνέπεια οι απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία περιορίζονται σημαντικά όταν υπάρχει εγκατεστημένη θερμοκουρτίνα στο θερμοκήπιο. Σύμφωνα με τον Teitel (1996) οι απώλειες της θερμικής ακτινοβολίας εξαρτώνται και από τον τύπο της θερμοκουρτίνας και οι τιμές τους μεταβάλλονται έως και 20%. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι διαφορές στην καθνή ακτινοβολία για το θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα και για το μάρτυρα (οι τιμές είναι αρνητικές γιατί αναφερόμαστε σε νυχτερινές τιμές).

Ο υπολογισμός του συντελεστή  $f_a$  από τη σχέση (1) έδωσε τα δύο παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 4 και 5) όπου παρουσιάζεται η σχέση του παραπάνω συντελεστή με την εξωτερική θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου αντίστοιχα.



Σχήμα 4. Σχέση του αδιάστατου συντελεστή  $f_a$  και της εξωτερική θερμοκρασίας



Σχήμα 5. Σχέση του αδιάστατου συντελεστή  $f_a$  με την ταχύτητα του ανέμου.

Από τα σχήματα 4 και 5 φαίνεται ότι ο συντελεστής μειώνεται όσο αυξάνουν η εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου και η ταχύτητα του ανέμου.

Η μέση τιμή του αδιάστατου συντελεστή  $f_a$ , η οποία υπολογίστηκε σύμφωνα με τη σχέση (1), ήταν 0.8, τιμή αρκετά μεγαλύτερη από αυτές που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία. Η υψηλή τιμή του  $f_a$  δείχνει ότι το σύστημα της χρησιμοποιηθείσας θερμοκουρτίνας δεν είναι αποτελεσματικό όσον αφορά τη μείωση των απωλειών θερμότητας με συναγωγή από την οροφή του θερμοκηπίου. Η κακή αεροστεγανότητα της κουρτίνας ενδεχόμενα να οφείλεται στα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των τμημάτων της κουρτίνας λόγω κακής ρύθμισης του μηχανισμού ανοίγματος της κουρτίνας.

Τέλος, όσον αφορά το συντελεστή εξοικονόμησης ενέργειας,  $K$ , η μέση τιμή του, η οποία υπολογίστηκε σύμφωνα με τη σχέση (5), βρέθηκε ίση με 0.25. Αυτό σημαίνει πως με τη χρήση της θερμοκουρτίνας επιτεύχθηκε εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 25 %.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρουσία της θερμοκουρτίνας στο θερμοκήπιο τροποποιεί τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Από την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

- Η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο με θερμοκουρτίνα ήταν 3-5 °C μεγαλύτερη σε σχέση με την θερμοκρασία του μάρτυρα.
- Τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας του θερμοκηπίου με θερμοκουρτίνα ήταν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος χαμηλότερα από αυτά του μάρτυρα.
- Η χρήση θερμοκουρτίνας στο θερμοκήπιο περιορίζει σημαντικά τις απώλειες με θερμική ακτινοβολία από το έδαφος του θερμοκηπίου προς το εξωτερικό περιβάλλον.
- Ο αδιάστατος συντελεστής  $f$  συνδέεται με την εξωτερική θερμοκρασία και την ταχύτητα του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος με αρνητική συσχέτιση.
- Η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας που επιτεύχθηκε με τη χρήση της θερμοκουρτίνας κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν της τάξης του 25 %.

Ενδιαφέροντα σημεία συνέχισης της έρευνας για την διερεύνηση των επιδράσεων της θερμοκουρτίνας στην ενεργειακή συμπεριφορά του θερμοκηπίου θα ήταν:

- Η περαιτέρω μελέτη, εργαστηριακά των ακτινομετρικών ιδιοτήτων των συνηθέστερων τύπων θερμοκουρτινών του εμπορίου για αξιολόγηση της μείωσης των απωλειών ενέργειας με ακτινοβολία.
- Η μελέτη της δυνατότητας αντιπαγετικής προστασίας με χρήση θερμοκουρτίνας με την μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς της θερμοκουρτίνας σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο (ψυχροκήπιο).
- Η περαιτέρω μελέτη της επίδρασης της θερμοκουρτίνας στον ολικό συντελεστή απωλειών του θερμοκηπίου.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Okada, M., Hayashim, K., 1978. Reducing Heat Consumption by Curtain Insulating Systems, 76: 103-110.
2. Bailey, B.G., 1978. Heat Conservation in Glasshouses with Aluminised Thermal Screens. *Acta Horticulturae*, 76: 275-278.
3. Von Zabeltitz, C., 1988. Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating. FAO - CNRE REUR Technical Series 3: 67-69.
4. Chandra, P., Albright, L.D., 1980. Analytical determination of the effect on greenhouse heating requirements of using night curtains. *Transactions of the ASAE*: 994-1000.
5. Seginer, I., Albright, L.D., 1980. Rational operation of greenhouse thermal-curtains. *Transactions of the ASAE*: 1240-1245.
6. Baille, A., Aries, F., Baille, M., Laury, J.C., 1985. Influence of thermal screen optical properties on heat losses and microclimate of greenhouses. *Acta Horticulturae* 174: 111-118.
7. Steinbuch, F., 1985. A strategy to control greenhouse thermal screens based on theoretical plant responses. *Acta Horticulturae* 174: 327-329.
8. Rosa, R., 1988. Solar and Thermal Radiation inside a Multispan Glasshouse with Thermal Screen. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 40: 285-290.
9. Silva, A. M., Rosa, R., 1987. Radiative heat loss inside a greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research* 37: 155-162.
10. Papadakis, G., Frangoudakis, A., Kyritsis, S., 1989. Theoretical and Experimental Investigation of thermal Radiation transfer in Polyethylene Covered Greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 44: 97-111.
11. Teitel, M., Peiper, U. M., Zvieli, Y., 1996. Shading Screens for Frost Protection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 81: 273-286.
12. Teitel, M., Segal, I., 1995. Net Thermal Radiation Under Shading Screens. *Journal of Agricultural Engineering Research* 61: 19-26.

# ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ ΜΕ 4 ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΛΔΑΦΟΥΣ

**Χ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος, Ι. Παπαθανασίου, Χ. Καραμούτης,  
Χ. Γούλας**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Τεχνολογικών Επιστημών. Τμήμα Φυτικής κ' Ζωικής Παραγωγής. Πεδίο Αρεως, Βόλος, Τ.Κ. 38334.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Προκειμένου να εκτιμηθεί η μείωση του κόστους παραγωγής των ζαχαροτεύτλων, μελετήθηκαν 4 μέθοδοι μειωμένων εισροών για την κατεργασία του εδάφους σε σύγκριση με τη συμβατική κατεργασία (Σ). Οι μέθοδοι ήταν: Κατεργασία, 1) με βαρύ καλλιεργητή (BK), 2) με περιστροφικό καλλιεργητή (ΠΚ), 3) με δισκοσβάρνα (Δ) και 4) ακαλλιέργεια (Α). Για κάθε μέθοδο εκτιμήθηκαν οι ενεργειακές εισροές κατά την κατεργασία του εδάφους, τη χημική ζιζανιοκτονία και τα σκαλίσματα. Η ενεργειακή παραγωγικότητα (kg βάρους ριζών / MJ εισροών) ήταν για την (Σ) 10,8, για τη (BK) 13,2 για την (ΠΚ) 9,4, για τη (Δ) 10,9 και για την (Α) 6,4.

## SUGAR BEET CROP ENERGY INPUTS WITH FOUR REDUCED SOIL TILLAGE METHODS

**C. Cavalaris, T.A. Gemtos, J. Papathanasiou, C. Karamoutis,  
and C. Goulas**

University of Thessaly. School of technological science. Faculty of Agriculture. Pedio Aeeos, Volos 38334.

## ABSTRACT

In order to reduce production costs in the sugar beet crop, an experiment was established in which four soil tillage methods were compared with a conventional one (CO) using moldboard plough. The reduced tillage methods were with: 1) heavy cultivator (HC), 2) rotary cultivator (RC), 3) disk harrow (DH) and 4) no-tillage (NT). For each method the energy inputs from tillage, chemical and mechanical weed control was measured. Energy productivity as the ratio of sugar beet yield to input energy (kg/MJ), were for the (CO) 10,8, for the (HC) 12,8, for (RC) 9,4 for (DH) 11,2 and for (NT) 6,4.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τα πρώτα στάδια εκμηχάνισης της γεωργίας, η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή της απαραίτητης ισχύος δεν αποτελούσε σημαντική οικονομική επιβάρυνση στο συνολικό κόστος της παραγωγής. Συνέπεια του γεγονότος αυτού ήταν ο γεωργικός τομέας να αναπτυχθεί στηριζόμενος στην εξέλιξη ιδιαίτερα ενεργοβόρων τεχνολογιών όπως οι μεγάλοι γεωργικοί ελκυστήρες. Ωστόσο, από τη δεκαετία του 70 και έπειτα, οι πρώτες ενεργειακές κρίσεις πετρελαίου, προκάλεσαν μια γενικότερη ανησυχία για το μέλλον και τη βιωσιμότητα των τομέων παραγωγής που βασίζονταν στη χρήση ορυκτής ενέργειας, μεταξύ δε αυτών και η γεωργία. Προέκυψε λοιπόν μια γενική αναθεώρηση των απόψεων σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει η ενέργεια να αξιοποιείται στην παραγωγή και έννοιες όπως η μείωση των εισροών και η ορθολογική χρήση των συντελεστών της παραγωγής εισήλθαν για πρώτη φορά στο προσκήνιο.

Από τη συνολική ενέργεια που εισρέει στην ευρύτερη γεωργική παραγωγή, το 33,7% προστίθεται με τα λιπάσματα, το 18,4% με την κατεργασία, το 9,7% με τις αρδεύσεις και το 38,2% με τις υπόλοιπες καλλιεργητικές επεμβάσεις[2]. Η υιοθέτηση συστημάτων διατήρησης (*conservation tillage*) υπόσχεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Ως σύστημα διατήρησης ορίζεται οποιοδήποτε σύστημα κατεργασίας και σποράς κατά την εφαρμογή του οποίου διατηρείται τουλάχιστον το 30% της εδαφικής επιφάνειας καλυμμένο με φυτικά υπολείμματα. Στα συστήματα αυτά περιλαμβάνονται τεχνικές όπως η μειωμένη κατεργασία, η κατεργασία σε λωρίδες ή αναχώματα και η ακαλλιέργεια. Σε εδάφη φτωχής δομής, τα μηχανήματα κατεργασίας που ισχυοδοτούνται από το δυναμοδότη είναι τα πιο αποτελεσματικά για την προετοιμασία της σποροκλίνης με ένα ελάχιστο αριθμό επεμβάσεων. Σε εδάφη καλής δομής ωστόσο, μη ισχυοδοτούμενα από το δυναμοδότη μηχανήματα κατεργασίας όπως δισκοσβάρνες και ελαφρείς καλλιεργητές, μπορούν να είναι το ίδιο αποτελεσματικά [7]. Με τον περιορισμό της κατεργασίας του εδάφους δεν φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά η απόδοση των ζαχαροτεύτλων. Η απόδοση (βάρος ριζών) όταν δεν εφαρμόζεται όργωμα μπορεί να είναι ισοδύναμη με αυτή σε οργωμένο έδαφος, με την προϋπόθεση αυξημένης αζωτού-χου λίπανσης [6]. Προκαταρκτικά δεδομένα από την μελέτη διαφόρων μεθόδων μειω-μένων εισροών για τις Ελληνικές συνθήκες έδειξαν ότι το φύτερωμα και η εξέλιξη της καλλιέργειας μέχρι την συγκομιδή, ακολουθεί την εντατικότητα της κατεργασίας [5].

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ποσοτική εκτίμηση των εισροών κατά την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας. Για την απόκτηση μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας, συνεκτιμήθηκαν οι ενεργειακές εισροές για άλλους δυο τομείς στους οποίους υπήρξε διαφοροποίηση μεταξύ των μεταχειρίσεων, τη χημική ζιζανιοκτονία και τα σκαλίσματα.

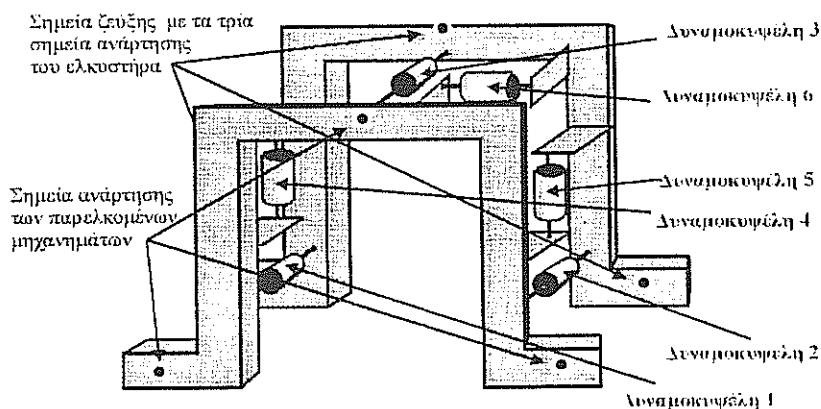
## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι πέντε μέθοδοι κατεργασίας του εδάφους που μελετήθηκαν ήταν:

1. Συμβατική κατεργασία (Σ): Όργωμα στα 25-30cm και 2 περάσματα με δισκοσβάρνα.
2. Μειωμένη κατεργασία (BK): Πέρασμα με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20-25 cm και ένα πέρασμα με δισκοσβάρνα.
3. Μειωμένη κατεργασία (ΠΚ): Πέρασμα με περιστροφικό καλλιεργητή στα 10-12 cm.
4. Μειωμένη κατεργασία (Δ): Δύο περάσματα με δισκοσβάρνα σε βάθος 6-8 cm.
5. Ακαλλιέργεια (Α): Απ' ευθείας σπορά σε ακατέργαστο έδαφος και καταστροφή της υπάρχουσας βλάστησης με *glyphosate* πριν το φύτερωμα της καλλιέργειας.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν διαιρεμένες ομάδες (split block) με 5 κύρια τεμάχια (6x10m) όπου τοποθετήθηκαν οι μέθοδοι κατεργασίας και 2 υπο-τεμάχια (3x10m) στα οποία σάρφηκαν δυο από τις καλλιεργούμενες ποικιλίες τεύτλων, η *RIHZOR* και η *TURBO*. Το πείραμα περιελάμβανε 4 επαναλήψεις και διενεργήθηκε σε δυο πειραματικούς αγρούς, ο 1ος με έδαφος ιλλο-αργιλώδες και ο 2ος με αργιλώδες.

Οι πρωτογενείς κατεργασίες πραγματοποιήθηκαν στις 26/3/98 με μέση εδαφική υγρασία 18% ενώ η προετοιμασία της σποροκλίνης ολοκληρώθηκε μια εβδομάδα αργότερα. Στα τεμάχια της ακαλλιέργειας έγινε στις 8/4 ψεκάσμος με 800 g/στρ. glyphosate. Η σπορά έγινε στις 6/4 τοποθετώντας 30.000 σπ/στρ σε βάθος 2-3 cm ενώ ο πληθυσμός ρυθμίστηκε στα 10.000 φ/στρ. με αραιώμα που έγινε στις 15/5. Πριν τη σπορά, έγινε ενσωμάτωση 14-10-8 μονάδων N-P-K. Για τα πλατύφυλλα έγιναν 3 ψεκάσμοι με το μείγμα: (*BETANAL PROGRESS* 50 g/στρ., *GOLTIX* 50 g/στρ. και *SUNOIL* 50 g/στρ) στις 27/4, 4/5 και 1/6. Για τα αργωστώδη ψεκάστηκαν στις 28/4 και 6/5 80g/στρ. *GALLAND'S*. Επιπλέον έγιναν δυο σκαλίσματα με το χέρι. Το πρώτο στις 15/5 και το δεύτερο στις 12/6. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 7 ποτίσματα με δόση άρδευσης 80 m<sup>3</sup>/στρ. Η συγκομιδή των τεύτλων έγινε με το χέρι στις 19/10/98 και μετρήθηκε η απόδοση σε νωπό βάρος ριζών.



Σχήμα 1. Η διάταξη δυναμομέτρησης

Η ενέργεια που καταναλώνεται για την μηχανική κατεργασία του εδάφους ισούται με το άθροισμα της ενέργειας που καταναλώνεται για την έλξη του μηχανήματος κατεργασίας και της ενέργειας που μεταδίδεται μέσω του δυναμοδότη. Για την εκτίμηση αυτών των ποσοτήτων, κατά τη διάρκεια της κατεργασίας του εδάφους μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και των μηχανημάτων κατεργασίας, παρεμβλήθηκε ένα σύστημα δυναμομέτρησης του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Παν. Θεσσαλίας [9]. Το σύστημα περιελάμβανε δυο Π, αρθρωτά συνδεδεμένα με έξι δυναμοκυψέλες, με τις οποίες ήταν δυνατή η μέτρηση των ασκούμενων στο χώρο δυνάμεων (Σχήμα 1). Τρεις δυναμοκυψέλες, δυο κάτω (1, 2) και μια επάνω (3), παράλληλες με την διεύθυνση κίνησης του ελκυστήρα μετρούσαν δυνάμεις έλξης. Η συνισταμένη τους αντιπροσώπευε την ελκτική δύναμη του ελκυστήρα. Επιπλέον, μεταξύ του δυναμοδότη και του τηλεσκοπικού άξονα μετάδοσης της κίνησης παρεμβλήθηκε ένα όργανο μέτρησης της ροπής και της γωνιακής ταχύτητας κατά την μετάδοση κίνησης σε παρελκόμενα μηχανήματα. Τα δεδομένα των μετρήσεων καταγράφονταν στη μνήμη ενός φορητού Η/Υ.



Για κάθε μηχανήμα κατεργασίας, με βάση την μέση ελκτική δύναμη και την μέση ταχύτητα εργασίας υπολογίζεται η ελκτική ισχύς. Η ισχύς στο δυναμοδότη, για όσα μηχανήματα παίρνουν κίνηση από αυτόν, υπολογίζεται ως το γινόμενο της μέσης ροπής με την γωνιακή ταχύτητα. Η θεωρητική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη συνολική ισχύ (έλξης και δυναμοδότη) με το χρόνο που απαιτείται με κάθε μηχανήμα για την κατεργασία μιας ορισμένης έκτασης. Κατά την μετάδοση όμως της κίνησης από τον κινητήρα του ελκυστήρα στα παρελκόμενα μηχανήματα συμβαίνει απώλεια ισχύος η οποία οφείλεται στην αντίσταση κύλισης και στην ολίσθηση των τροχών του ελκυστήρα καθώς και σε τριβές μεταξύ των κινούμενων μηχανικών τμημάτων. Ο συντελεστής μετάδοσης της ισχύος στο δυναμοδότη κυμαίνεται μεταξύ 0,87 - 0,90 [4]. Ο συντελεστής μετάδοσης στην έλξη, για συμπαγές έδαφος είναι 62,5% του συντελεστή μετάδοσης στο ΡΤΟ, δηλαδή 0,54, ενώ για καλλιεργημένο έδαφος, 55% του συντελεστή ΡΤΟ, δηλαδή 0,48 [10]. Για την ισχύ που αξιοποιείται στην έλξη, επιλέχθηκε, με βάση την κατάσταση του εδάφους, (καλλιεργημένο ή μη), ο ανάλογος συντελεστής μετάδοσης, ενώ για την ισχύ που αξιοποιείται στο δυναμοδότη, επιλέχθηκε ο συντελεστής 0,87. Ένα άλλο στάδιο κατά το οποίο υπάρχει σημαντική απώλεια ενέργειας είναι κατά την μετατροπή της ενέργειας του καυσίμου σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Ο συντελεστής απόδοσης ( $\Sigma A_K$ ) για έναν ντίζελ κινητήρα είναι περίπου 0,25 [2]. Ωστόσο για να παραχθεί το εν λόγω καύσιμο και να μεταφερθεί στον τόπο κατανάλωσής του απαιτείται και πάλι η κατανάλωση ενέργειας. Ο συντελεστής απόδοσης για την άντληση, την επεξεργασία και τη διανομή του πετρελαίου είναι  $\Sigma A_{\Pi} = 0,85$  [2]. Λαμβάνοντας υπόψη τους τρεις πιο πάνω συντελεστές ο συνολικός συντελεστής απόδοσης της ενέργειας σε ένα παρελκόμενο μηχανήμα είναι:  $\Sigma A_{O\Lambda} = \Sigma A_M \times \Sigma A_K \times \Sigma A_{\Pi}$ . Η ενέργεια του καταναλισκόμενου καυσίμου λοιπόν ισούται με το γινόμενο της ενέργειας που εκτιμάται με τις δυναμομετρήσεις και του συντελεστή  $\Sigma A_{O\Lambda}$ . Επιπλέον, για την ομαλή λειτουργία του κινητήρα του ελκυστήρα απαιτείται και μια ποσότητα λιπαντικού η ενέργεια του οποίου εκτιμάται στο 4% της ενέργειας του καταναλισκόμενου καυσίμου [2]. Τέλος, ένας άλλος παράγοντας ο οποίος συνεισφέρει ενέργεια για την λειτουργία των γεωργικών μηχανημάτων είναι ο ίδιος ο άνθρωπος ως χειριστής. Η ενεργειακή αξία της ανθρώπινης εργασίας υπολογίζεται εκτιμώντας την μεταβολική ενέργεια για την παραγωγή μυϊκού έργου και προσθέτοντας σε αυτή, την ενέργεια που καταναλώνει ο άνθρωπος όταν δεν εργάζεται και την ενέργεια που απαιτείται για να εξασφαλίσει ένα μέσο επίπεδο διαβίωσης. Η τιμή που υπολογίζεται με τον τρόπο αυτό είναι για έναν εργάτη 13 MJ/h [3]. Επιπλέον, κατά τη χρήση γεωργικών μηχανημάτων υπάρχει και μια έμμεση κατανάλωση ενέργειας που σχετίζεται με την απόσβεση της ενέργειας των σταθερών στοιχείων των μηχανημάτων, δηλαδή της ενέργειας που καταναλώθηκε για την κατασκευή τους, την μεταφορά και διανομή τους στον παραγωγό και της ενέργειας που προστίθεται σε αυτά για τις επισκευές. Έχει βρεθεί ότι για την κατασκευή των γεωργικών μηχανημάτων απαιτούνται 86,77 MJ/kg προϊόντος ενώ για τη διανομή τους χρειάζονται άλλα 8,8 MJ/kg [2]. Ακόμη, για κάθε μηχανήμα προτείνεται ένας συντελεστής (a) (Πίνακας 3), ο οποίος πολλαπλασιάζεται με την αρχική ενέργεια κατασκευής δίνει το ενεργειακό ισοδύναμο των επισκευών και συντήρησης για όλη την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του μηχανήματος [1].

Τέλος, για την εκτίμηση της ενεργειακής αξίας των σκευασμάτων ζιζανιοκτονίας λαμβάνεται υπόψη ότι η μέση ενέργεια παραγωγής, μορφοποίησης, συσκευασίας και μεταφοράς που για τα υδατοδιαλυτά έλαια είναι 418,3 MJ/kg δ.ο. για τις βρέξιμες σκόνες 262,8 MJ/kg δ.ο. και για τα προσκολλητικά έλαια 179,6 MJ/kg σκευάσματος [8].

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1. Κατανάλωση ενέργειας για τη κατεργασία του εδάφους.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται χαρακτηριστικά των μηχανημάτων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και αποτελέσματα από τις δυναμομετρήσεις. Την μεγαλύτερη ισχύ στην έλξη απαιτεί ο βαρύς καλλιεργητής και τη μικρότερη η δισκοσβάρνα. Αν όμως συνεκτιμήσουμε και την ισχύ στον δυναμοδότη, τότε αποδεικνύεται ότι η χρήση του περιστροφικού καλλιεργητή επιβάλλει την χρήση μεγάλης ισχύος γεωργικό ελκυστήρα.

Πίνακας 1. Στοιχεία μηχανημάτων κατεργασίας του εδάφους και δυναμομέτρησης.

	ταχύ- τητα (km/h)	πλάτος εργασίας (m)	Θεωρ. από- δοση (στρ/h)	Αντίσ- ταση έλξη (kN)	Ροπή στο PTO (kN m)	Ισχύς στην έλξη (kW)	Ισχύς στο PTO (kW)
Άροτρο	2,88	1,2	3,46	27,42		21,94	
Βαρ. Καλλιεργητής	4,32	2	8,64	28,91		34,7	
Περ. Καλλιεργητής	3,52	2,5	8,81	5,13	0,77	4,93	43,32
Δισκοσβάρνα (1η)	9	3	27	6,61		16,53	
Δισκοσβάρνα (2η)	9,54	3	28,62	5,85		15,52	
Δισκ. μετά από άροτρο (1η)	7,42	3	22,25	7,12		14,67	
Δισκ. μετά από άροτρο (2η)	8,5	3	25,49	6,11		14,42	
Δισκ. μετά από ΒΚ (1η)	7,96	3	23,87	6,06		13,4	
Ψεκαστικό	10,8	12	129,6	0	0,07		3,96

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η θεωρητική ενέργεια που μέσω των μετρήσεων στην έλξη και στο PTO εκτιμάται ότι απαιτείται για την λειτουργία των μηχανημάτων. Στην συνέχεια, με βάση τους συντελεστές (ΣΑ<sub>Μ</sub>), (ΣΑ<sub>Κ</sub>), και (ΣΑ<sub>Π</sub>), υπολογίζεται η ενέργεια του καταναλισκόμενου καυσίμου και η οποία είναι περίπου 10πλάσια της θεωρητικής ενέργειας. Στον ίδιο πίνακα, υπολογίζεται η ενέργεια των λιπαντικών και με βάση τη θεωρητική απόδοση κάθε μηχανήματος, το έργο που αντιστοιχεί στον χειριστή.

Πίνακας 2. Άμεσες εισροές ενέργειας κατά την χρήση γεωργικών μηχανημάτων.

	Ενέργεια (MJ/στρ)	έλξης	PTO	καυσίμου	λιπαν- τικών	ανθρώπ. εργασίας	Σύνολο
Άροτρο	22.85			199.1	7.97	3.71	210.8
Βαρ. Καλλιεργητής	14.45			126.0	5.04	1.51	132.6
Περ. Καλλιεργητής	2.05	18.03		115.4	4.62	1.44	121.5
Δισκοσβάρνα (1η)	2.2			19.2	0.77	0.48	20.4
Δισκοσβάρνα (2η)	1.9			19.1	0.76	0.45	20.3
Δισκ. μετά από άροτρο (1)	2.37			23.2	0.93	0.58	24.7
Δισκ. μετά από άροτρο (2)	2.04			20.0	0.80	0.51	21.3
Δισκ. μετά από ΒΚ (1η)	2.02			19.8	0.79	0.54	21.1
Ψεκαστικό			0.66	0.6	0.02	0.10	0.7

Στον Πίνακα 3, με βάση την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής κάθε μηχανήματος [4], υπολογίζεται η απόσβεση της ενέργειας των σταθερών στοιχείων ανά ώρα λειτουργίας. Στην τελευταία στήλη, προσθέτοντας την απόσβεση της ενέργειας ανά ώρα λειτουργίας κάθε μηχανήματος με αυτή του ελκυστήρα και διαιρώντας το άθροισμα με την αντίστοιχη θεωρητική απόδοση, υπολογίζεται η ενέργεια, όλων των σταθερών στοιχείων, που εισρέει με κάθε καλλιεργητική επέμβαση.

Πίνακας 3. Ενέργεια σταθερών στοιχείων των γεωργικών μηχανημάτων.

	Βάρος (kg)	Ενέργεια		a*	Ενέργεια επισ- κευών (MJ)	Διάρ- κεια ζωής (h)	Αποσβ. ενέργειας	
		κατασ- κευής (MJ)	μετα- φοράς (MJ)				μηχανή- ματος (MJ/h)	μηχάν + ελκυστήρ (MJ/στρ)
Ελκυστήρας	5000	433.850	44.000	0,49	212.587	12.000	57,54	
Αροτρο	300	26.031	2.640	0,97	25.250	2.000	26,96	24,42
Βαρ. Καλλιεργητής	250	21.693	2.200	0,51	11.063	2.000	17,48	8,68
Περ. Καλλιεργητής	150	13.016	1.320	0,59	7.679	1.500	14,68	8,2
Δισκοσβάρνα	200	17.354	1.760	0,61	10.586	2.000	14,85	2,85
Ψεκαστικό	80	6.942	704	0,37	2.568	1.500	6,81	0,5

\*a = συντελεστής εκτίμησης ενέργειας επισκευών και συντήρησης [1]

### 3.2. Ενέργεια ψεκασμών

Στον Πίνακα 4, με βάση τον τύπο του κάθε σκευάσματος, την περιεκτικότητα σε δ.ο., την δόση εφαρμογής και το πλήθος των ψεκασμών, εκτιμάται η ενέργεια που εισρέει με την εφαρμογή του. Επιπλέον, από τις δυναμομετρήσεις (Πίνακες 1 και 2) εκτιμάται ότι η ενέργεια για την λειτουργία του ψεκαστικού, συμπεριλαμβανοντας την ενέργεια της ανθρώπινης εργασίας, είναι 0,7 MJ/στρ. Η απόσβεση της ενέργειας των σταθερών στοιχείων (Πίνακας 3) του ψεκαστικού και του ελκυστήρα είναι 0,5 MJ/στρ. Συνολικά, για τη λειτουργία του ψεκαστικού απαιτούνται  $0,7 + 0,5 = 1,2$  MJ/στρ.

Πίνακας 4. Ενέργεια σκευασμάτων ζιζανιοκτονίας

Εμπορική ονομασία	Δραστική ουσία	Ενέργεια	Περιεκτ δ.ο. (%)	Δόση εφαρ- μογής kg/στρ	Αριθμ. ψεκασ- μών	Ενέργεια MJ/στρ
		σκευάσ- ματος (MJ/kg δ.ο.)				
BETANAL PROGRESS	Desmedipham	418,24	6	0,05	3	11,4
	Phenmedipham	418,24	6			
	Ethofusanate	418,24	6			
GOLTIX	WP Metamitron	262,84	70	0,05	3	27,6
SUNOIL	O Parafinic Oil	179,6	100	0,05	3	27
GALLAND'S S	MO Haloxyfop	418,24	10,8	0,08	2	7,3
ROUNDAP	WP Glyphosate	478,2	42	0,8	1	160,7

\* MO = υδατοδιαλυτό έλαιο, WP = βρέξιμη σκόνη, O = προσκολλητικό έλαιο

### 3.3 Ενέργεια σκαλισμάτων.

Για τον έλεγχο των ζιζανίων χρειάστηκαν δύο σκαλίσματα που πραγματοποιήθηκαν με το χέρι. Ο διαφορετικός πληθυσμός ωστόσο των ζιζανίων στα πειραματικά τεμάχια, ανάλογα με την εντατικότητα της μεθόδου κατεργασίας, είχε σαν συνέπεια την διαφοροποίηση της στρεμματικής απόδοσης των εργατών. Η μέση απόδοση ενός εργάτη για την μέθοδο της (ΣΚ) ήταν 0,11 στρ/η, για το (ΒΚ) 0,10 στρ/η, για τις (ΠΚ) και (Δ) 0,08 στρ/η, ενώ για την (Α) όπου τα ζιζάνια αποτελούσαν έντονο πρόβλημα, μόλις 0,05 στρ/η. Αποτέλεσμα της διαφοροποίησης αυτής ήταν η διαφορετική εισροή ανθρώπινης ενέργειας σε κάθε μέθοδο. Λαμβάνοντας υπόψη το ενεργειακό ισοδύναμο των 13 MJ/h/εργάτη [3], η ενέργεια που εισέρει μέσω της ανθρώπινης εργασίας κατά τα σκαλίσματα είναι για την (ΣΚ) 244,7 MJ/στρ., για την (ΒΚ) 260 MJ/στρ., για τις (ΠΚ) και (Δ) 346,7 MJ/στρ. και τέλος για την (Α) 520 MJ/στρ.

### 3.4. Ενεργειακή παραγωγικότητα

Στον Πίνακα 5 συνοψίζονται οι εισροές ενέργειας κατά την κατεργασία του εδάφους, τους ψεκασμούς και τα σκαλίσματα. Στον ίδιο πίνακα συμπεριλαμβάνεται η απόδοση των τεύτλων. Με βάση τα στοιχεία αυτά υπολογίζεται η ενεργειακή παραγωγικότητα των εισροών ως ο λόγος: (μονάδα παραγόμενου προϊόντος) / (μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας). Παρότι η απόδοση στην μέθοδο (ΒΚ) είναι, σε σχέση με τη (Σ), ελαφρώς πιο χαμηλή, εν τούτοις, η παραγωγικότητα της καταναλισκόμενης ενέργειας αποδεικνύεται πολύ αποτελεσματικότερη εξαιτίας της σημαντικής μείωσης των εισροών κατά την κατεργασία του εδάφους. Το ίδιο συμβαίνει με τη (Δ) όπου η ενεργειακή παραγωγικότητα αποδεικνύεται ίδια με της (Σ).

Πίνακας 5. Ενεργειακές εισροές και απόδοση τεύτλων.

		Συστήματα κατεργασίας:	Σ	ΒΚ	ΠΚ	Δ	Α	
Εισροές ενέργειας (MJ/στρ)	1	Καλλιεργητικές επεμβάσεις	Όργωμα	234,9				
			Βαρ. Καλλιεργητής		131,1			
			Περ. Καλλιεργητής			129,5		
			Δισκοσβάρνα (1η)	28,0	24,2		23,1	
			Δισκοσβάρνα (2η)	24,2			22,9	
			ΣΥΝΟΛΟ	287,1	155,3	129,5	46	0
	2	Ψεκασμοί	Betanal, Goltix, Sunoil, Galland;s	81,4	81,4	81,4	81,4	81,4
			Glyphosate					164,86
	3	Σκαλίσματα		244,7	260,0	346,7	346,7	520,0
			ΣΥΝΟΛΟ (1), (2), (3)	613,2	496,7	557,5	474,0	766,2
	Απόδοση τεύτλων (ρίζες, kg/στρ)			6.619	6.542	5.225	5.158	4.889
	Ενεργειακή παραγωγικότητα (kg/MJ)			10,8	13,2	9,4	10,9	6,4

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η πιο ενεργοβόρος μέθοδος για την κατεργασία του εδάφους αποδεικνύεται η συμβατική. Με τη μέθοδο του (BK) υπάρχει μια σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 46%, με τη μέθοδο του (ΠΚ) εξοικονόμηση 55%, με τη (Δ) εξοικονόμηση 84% ενώ με την (Α) φυσικά, εξοικονόμηση 100%.
- Για τη χημική ζιζανιοκτονία, η (Α) παρουσιάζει κατά 202% αυξημένη εισροή ενέργειας σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους, εξαιτίας της εφαρμογής του glyphosate.
- Εξετάζοντας το σύνολο των ενεργειακών εισροών και για τους τρεις τομείς, διαπιστώνεται ότι η μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση υφίσταται στη μέθοδο της (Δ), ενώ η μέθοδος της (Α) εμφανίζει απροσδόκητα υψηλή κατανάλωση ενέργειας κυρίως εξαιτίας των πιο εντατικών σκαλισμάτων.
- Εξαιτίας της υψηλής ενεργειακής αξίας της ανθρώπινης εργασίας η εξοικονόμηση ενέργειας από την κατεργασία μπορεί πολύ εύκολα να αντισταθμιστεί με ενέργεια που εισρέει κατά τα σκαλίσματα, όταν η χημική ζιζανιοκτονία δεν είναι αποτελεσματική.
- Η εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας επιφέρει μια σαφή μείωση της απόδοσης. Η μείωση αυτή ακολουθεί την εντατικότητα της κατεργασίας.
- Υπολογίζοντας την παραγωγικότητα των ενεργειακών εισροών διαπιστώνουμε ότι η μεγαλύτερη παραγωγικότητα παρουσιάζουν με φθίνουσα σειρά οι μέθοδοι: (BK) → (Δ) = (Σ) → (ΠΚ) → (Α).

#### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fluck, R.C. (1985). Energy sequestered in repairs and maintenance of agricultural machinery. *Trans. ASAE*, 28: 738-744.
2. Fluck R.C. (1992). Energy in world agriculture. Vol 6, Energy in farm production. *Elsevier Science Publishers. Amsterdam, The Netherlands*.
3. Freedman, S.M., (1982). Human labor as an energy source for rice production in the developing world. *Agro-Ecosystems*, 8: 125-136.
4. Hunt, D., (1995). Cost Determination. In: *Farm Power and Machinery Management*. Iowa State University Press
5. Kavalaris, C., and Gemtos, T.A. (1998) Soil tillage and rotation effect in sugar beet crop. *Proc. of the International Conference on Agricultural Engineering. Oslo 98*.
6. Koch, H.J. and Marlander, B. (1994). Wetchen Beitrag Kann die Bodenbearbeitung zum integrierten Anbau von Zuckerruben leisten? *Proc. 57th Winter Congr. Int. Inst. S. Beet Res.* pp.1-22.
7. Larney, F.J., Fortune, R.A. and Collins, J.F. (1988). Intrinsic soil physical parameters influencing intensity of cultivation procedures for sugar beet seedbed preparation. *Soil and Tillage Research*. 12. pp.253-67.
8. Pimentel, D., (1980). Energy inputs for the production, formulation, packaging and transport of various pesticides. In: *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, 45 pp.
9. Γέμτος, Α.Θ. και Τσιρίκογλου, Ι.Θ. (1994). Ο σχεδιασμός και η διαμόρφωση ενός συστήματος μέτρησης και καταγραφής των εξασκούμενων δυνάμεων από γεωργικό ελκυστήρα σε αναρτημένα γεωργικά μηχανήματα. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα* 4, (89-96).
10. Τσατασαρέλης, Α. Κ. (1995). Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης. Υπηρεσία δημοσιευμάτων* (σ. 134).

# **ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

**Δ. Ντόντορος, Γρ. Λαμπρινός**  
Γ.Π.Α - Τμήμα ΑΦΠ & ΓΜ, Ιερά Οδός 75 - 11855 Αθήνα

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η συνεχής αύξηση της τιμής της ενέργειας μας υποχρεώνει να σχεδιάσουμε προσεκτικά μια ψυκτική μονάδα. Η σωστή επιλογή της μεθόδου και ο καλός σχεδιασμός του ψυκτικού κύκλου μπορεί να οδηγήσει σε 30% και 18% εξοικονόμηση ενέργειας αντίστοιχα. Η καλή εκλογή της μόνωσης και η προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση έως 10% της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ο αναλυτικός και ακριβής υπολογισμός των φορτίων μπορεί να μας γλιτώσει από υπερβάλλουσα εγκατεστημένη ισχύ της τάξεως ακόμη και του 100%. Για την επιλογή του ψυκτικού ρευστού πρέπει σήμερα να ληφθούν υπ' όψη και οικολογικά κριτήρια, ενώ μια αλλαγή του αυθεντικού ψ. ρευστού με υποκατάστατο νέας γενιάς μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ψυκτικής ικανότητας μέχρι και 25%. Φυσικά κατά τον σχεδιασμό δεν πρέπει να αμεληθούν τα συστήματα ελέγχου και αποπάγωσης.

## **PLANING A REFRIGERATING UNIT AND ENERGY SAVING**

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

## **ABSTRACT**

The ever increasing cost of energy has led to the need to plan carefully the refrigerating unit. A good design of the refrigerating cycle, can save up to 18%, while the choice of the processing leads up to 30% of energy saving. A proper choice of insulating material, vapour barriers and paints can lead to an energy saving of 10%. An analytical and precise calculation of the cold store plant loads will keep us away from even 100% power excess. The choice of the refrigerant must be not only on the basis of

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις απορροφούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Σε λίγες χώρες διατίθενται αναλυτικά σχετικά στοιχεία, κυρίως στις Σκανδιναβικές. Από κάποιες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς [5], το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από τα ψυκτικά συγκροτήματα μπορεί να κυμαίνεται, ανάλογα με την χώρα, από 2,5% έως 20%. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι μόνο το 20-30% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για ψύξη αντιπροσωπεύει τα ψυκτικά συγκροτήματα βιομηχανικού και εμπορικού τύπου. Αξιοσημείωτο είναι ακόμη το γεγονός ότι η εγκαταστημένη ψυκτική ισχύς σε θαλάμους μεγαλύτερους από 2000 m<sup>3</sup> κυμαίνεται μεταξύ 10 και 35 W/m<sup>3</sup>. Οι πληροφορίες αυτές δείχνουν πόσο επιτακτική γίνεται η ανάγκη εξεύρεσης οικονομικών ενεργειακών λύσεων, που θα χαρακτηρίζονται όμως και από ευαισθησία όσον αφορά τα οικολογικά ζητήματα.

Σε μια ψυκτική εγκατάσταση είναι πολλά τα σημεία στα οποία έχουμε ενεργειακές απώλειες άξιες λόγου, αλλά και οι τρόποι που βοηθούν στην εξοικονόμηση ενέργειας υπάρχουν και πρέπει να τους αναζητήσουμε. Τα μέτρα που μπορούμε να λάβουμε για την ενεργειακά αποδοτικότερη λειτουργία ενός ψυκτικού συγκροτήματος αναφέρονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- α) Το σχεδιασμό και τη μελέτη της ψυκτικής μονάδας
- β) Τη κατασκευή της μονάδας
- γ) Τη χρήση και τη συντήρησή της

Όταν αναφερόμαστε στην κατασκευή εννοούμε τόσο τη σωστή κατασκευή των μονάσεων όσο και την ορθή επιλογή του εξοπλισμού της εγκατάστασης. Η κατηγορία αυτή μπορεί να βοηθήσει μέχρι 25 % την εξοικονόμηση ενέργειας [3], [4].

Η εκμετάλλευση και η συντήρηση της μονάδας μπορούν να οδηγήσουν σε λιγότερο ή περισσότερο αποδοτικά ενεργειακά αποτελέσματα. Η εκμετάλλευση αφορά στη ρύθμιση και στο προγραμματισμό λειτουργίας, ενώ η συντήρηση αφορά στη πρόληψη τυχόν προβλημάτων, στην επέμβαση για την επίλωσή τους καθώς και στον τακτικό έλεγχο λειτουργίας. Μια ορθολογική εκμετάλλευση και μια καλή συντήρηση μπορούν να οδηγήσουν σε οικονομία μέχρι 25 % [3], [4].

Φυσικά ο σχεδιασμός και η μελέτη της ψυκτικής μονάδας που έχουν και τις μεγαλύτερες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας προηγείται της κατασκευής, της εκμετάλλευσης και της συντήρησης. Στη συνέχεια, χωρίς να υπεισέλθουμε σε πολύπλοκους μηχανισμούς βελτιστοποίησης, θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα με το σχεδιασμό και τη μελέτη μιας ψυκτικής μονάδας, προσπαθώντας ν' αναδείξουμε τα κυριότερα σημεία από τα οποία αναμένεται να εξοικονομηθεί ενέργεια.

## 2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

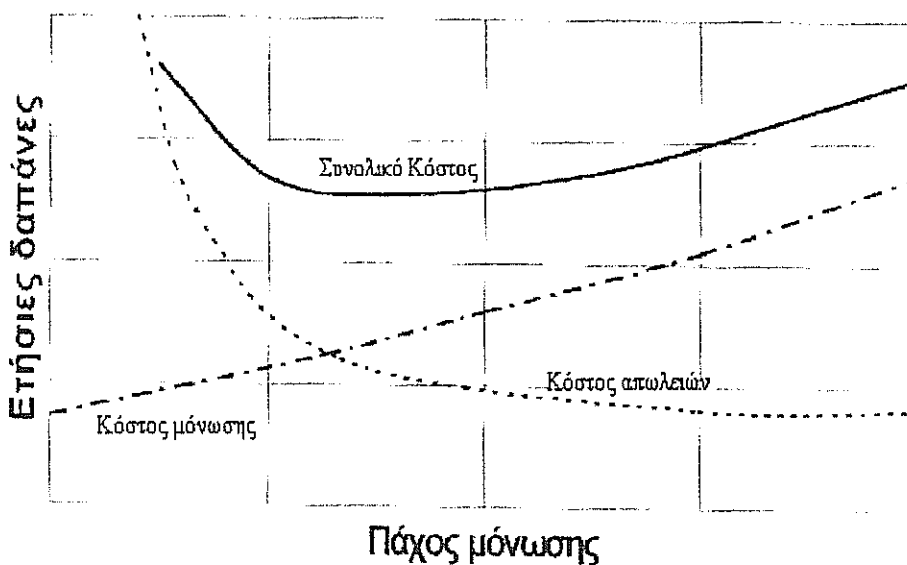
Βασικό μέλημα κατά τη σύνταξη της μελέτης μιας ψυκτικής μονάδας είναι η σωστή επιλογή της μεθόδου και ο ακριβής υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων. Αυτά τα δύο και μόνο στοιχεία μπορούν να οδηγήσουν σε οικονομία τουλάχιστον της τάξεως του 30 % [9]. Η επιλογή ή όχι της χρήσης πρόψυξης μεταβάλλει και την κατανάλωση ενέργειας. Η ανάλυση του θερμοδυναμικού κύκλου και η επιλογή του ψυκτικού ρευστού και των συνθηκών λειτουργίας οδηγούν σε διαφορετικές αποδόσεις και συνεπώς σε λιγότερο ή περισσότερο οικονομικές λύσεις. Φυσικά άξια μελέτης είναι και η πιθανότητα χρήσης στο κύκλωμα συστήματος ανάκτησης θερμότητας ή κάποιας αποθήκης ενέργειας. Ιδιαίτερη βαρύτητα πρέπει να δίνεται τέλος στην επιλογή των

συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμού, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στην πλέον εύρυθμη, ευκολότερη και οικονομικότερη λειτουργία της εγκατάστασης.

## 2.1 Κτίριο – Ψυκτικοί θάλαμοι – Μονώσεις

Ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα του κτιρίου και για την αντιμετώπιση των ποικίλων θερμομονωτικών και τεχνικών προβλημάτων θα πρέπει απ' την αρχή να αποφασισθεί εάν η μόνωση σε σχέση με το σκελετό του κτιρίου θα είναι εσωτερική ή εξωτερική.

Η τεχνικοοικονομική συγκριτική μελέτη μεταξύ κόστους μόνωσης και αντιστοίχου κόστους θερμικών απωλειών (Σχήμα 1) θα οδηγήσει στο οικονομικό πάχος μόνωσης για το οποίο το σύνολο ανά έτος των δαπανών ενέργειας και κτιριακών εγκαταστάσεων παίρνει την ελάχιστη τιμή.



Σχήμα 1. Υπολογισμός οικονομικού πάχους μόνωσης

Ο καλύτερος δυνατός προσανατολισμός σε συνδυασμό με μια ανακλαστική βαφή των εξωτερικών παρειών θα βοηθήσουν στην μικρότερη είσοδο θερμότητας λόγω ηλιακής ακτινοβολίας.

Η σωστή διαστασιοποίηση των θαλάμων, ο καλός σχεδιασμός των προθαλάμων και η πρόβλεψη κλιματισμού των διαδρόμων θα περιορίσουν τις απώλειες ενέργειας.

## 2.2 Σύστημα και διαδικασία

Μετά την εξέταση των παραγόντων και των στοιχείων που συναινούν στην σκοπιμότητα κατασκευής της ψυκτικής μονάδας, πρέπει να εξετασθεί το ενεργειακό πρόβλημα. Έτσι πρέπει να επιλεγεί το σύστημα ψύξης ( ψυκτική μηχανή συμπίεσης, ψυκτική μηχανή απορρόφησης κλπ), το επί μέρους είδος συμπίεσης (π.χ. ψυκτική μηχανή δυο επιπέδων συμπίεσης) και να εξεταστεί αν υπάρχει παράλληλη ανάγκη ψύξης και θέρμανσης (θερμοψυκτική αντλία), ανάγκη αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (π.χ. παραγωγή πάγου σε γαλακτοβιομηχανία) ή ανάγκη ανάκτησης θερμότητας (π.χ. για ζεστό νερό σε γαλακτοβιομηχανία, βιομηχανία αλλαντικών ή σφαγείο).

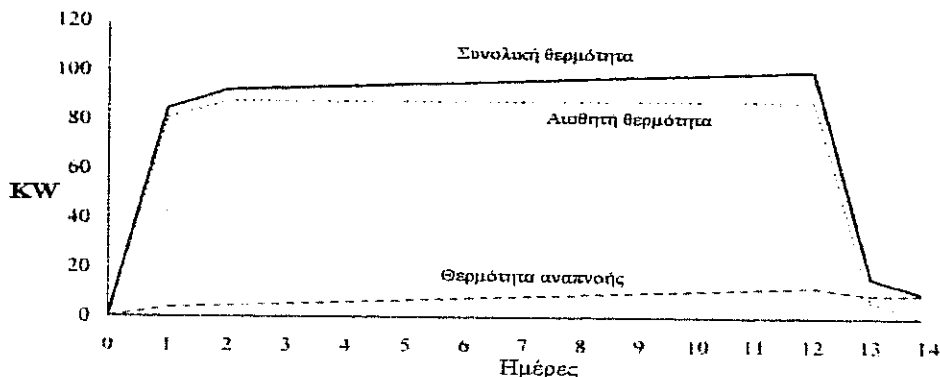


Πολλές φορές η αλλαγή ή προσαρμογή μιας βιομηχανικής διαδικασίας οδηγεί σε σημαντική οικονομία ενέργειας. Έτσι η αποστέωση του κρέατος πριν την ψύξη οδηγεί σε εξοικονόμηση 25-30% ενέργειας και 50-70% ψυκτικών χώρων [9], αρκεί βεβαίως να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για να αποφευχθεί η σκλήρυνση του κρέατος. Σε μια μονάδα συντήρησης κατεψυγμένων, για τα προϊόντα που δεν διατρέχουν ιδιαίτερο κίνδυνο (οξειδωσης) μπορούν να συντηρούνται σε θερμοκρασίες  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  και μόνο τα παχιά κρέατα και ψάρια ν' απαιτούν μονίμως θερμοκρασίες  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Έτσι είναι εύκολη μια οικονομία της τάξης του 8-10% [9].

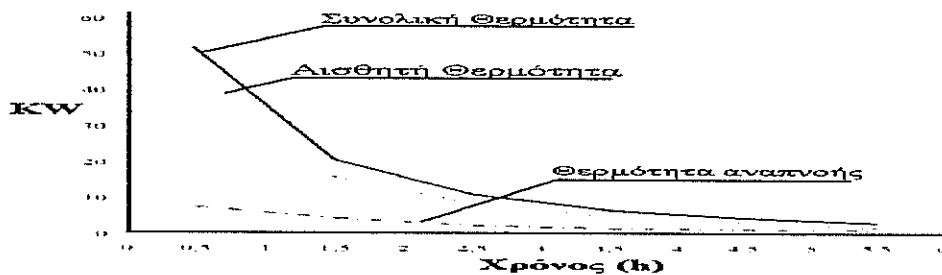
### 2.3 Ανάλυση και έλεγχος θερμικών φορτίων

Σημαντικότερη σημασία στη μελέτη κατέχει ο υπολογισμός των φορτίων. Στην περίπτωση των νωπών φυτικών προϊόντων, το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι "τι πρέπει να υιοθετηθεί η πρόψυξη ή η ψύξη στους θαλάμους". Πριν απ' όλα πάντως πρέπει να γίνει ανάλυση και ακριβής υπολογισμός των φορτίων, πράγμα που στην καθημερινή πρακτική δεν γίνεται, με αποτέλεσμα την χρήση μηχανημάτων μεγαλύτερης ισχύος και την άσκοπη συχνά κατανάλωση ενέργειας.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των φορτίων το κατέχει η αισθητή θερμότητα κατά κύριο λόγο και η θερμότητα αναπνοής δευτερευόντως [7].



Σχήμα 2. Μεταβολή των φορτίων αισθητής θερμότητας και αναπνοής



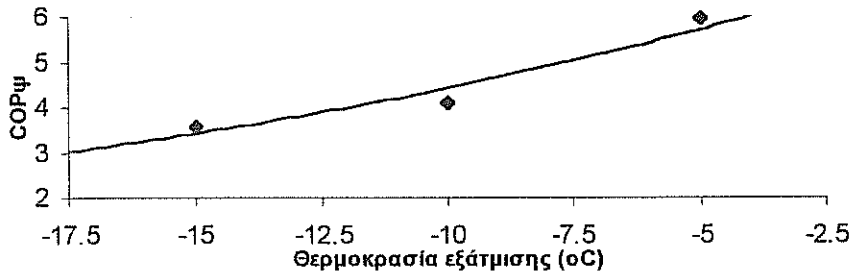
Σχήμα 3. Μεταβολή της ισχύος αισθητής θερμότητας και αναπνοής στο προψυκτήριο για μια παρτίδα προψυχομένων προϊόντων

Κατά την ημέρα της μεγάλης ζήτησης, που συνήθως είναι η τελευταία ημέρα πλήρωσης του ψυκτικού θαλάμου, η αισθητή θερμότητα μαζί με την θερμότητα αναπνοής αντιπροσωπεύουν μαζί το 65 έως 85% του συνόλου των φορτίων [7], (Σχήμα 2) ενώ

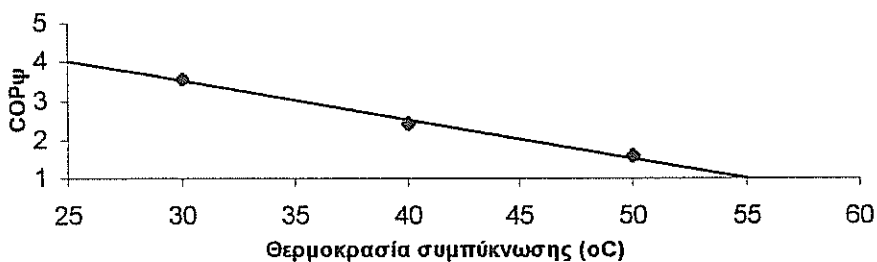
στην περίπτωση ενός προψυκτηρίου οι δυο αυτές κατηγορίες θερμότητας μαζί, αντιπροσωπεύουν το 92-98% του όλου φορτίου [7] (Σχήμα 3). Η ύπαρξη προψυκτηρίου καθιστά την εγκατάσταση ακριβότερη και το κόστος λειτουργίας της μεγαλύτερο.

#### 2.4 Ανάλυση του ψυκτικού κύκλου

Οι σημαντικότερες παράμετροι που επηρεάζουν άμεσα τη συμπεριφορά μιας ψυκτικής μηχανής ξηράς εκτόνωσης είναι: η θερμοκρασία και πίεση εξάτμισης, η θερμοκρασία και πίεση συμπύκνωσης, η υπόψυξη του ψυκτικού υγρού, η υπερθέρμανση των ατμών και τέλος οι απώλειες κατά τον στραγγαλισμό της πίεσης.



Σχήμα 4. Μεταβολή του ψυκτικού COP με την θερμοκρασία εξάτμισης.

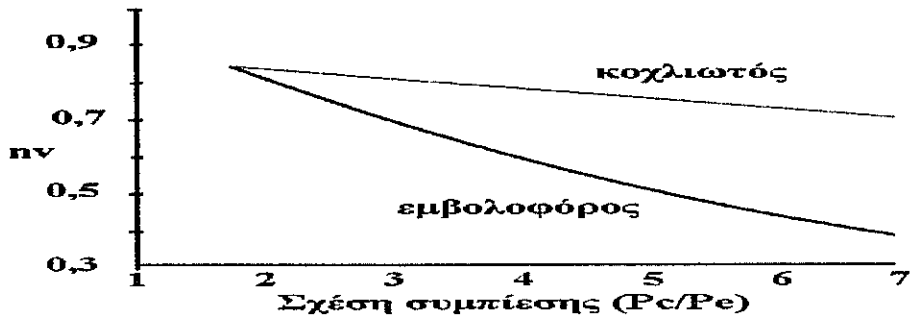


Σχήμα 5. Μεταβολή του ψυκτικού COP με την θερμοκρασία συμπύκνωσης

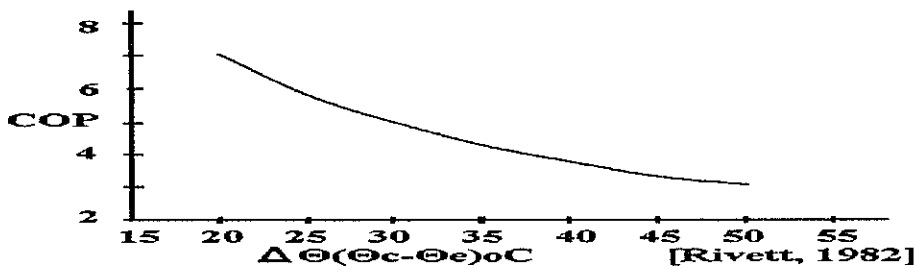
Η μείωση της θερμοκρασίας εξάτμισης οδηγεί σε περιορισμό της ψυκτικής ισχύος, αύξηση της απορροφούμενης μηχανικής ισχύος και τελικά σε πτώση του συντελεστή ψυκτικής συμπεριφοράς (Σχήμα 4), ενώ παράλληλα η αύξηση του τίτλου του μίγματος ατμού - υγρού δεν ευνοεί την καλύτερη εκμετάλλευση του ειδικού ψυκτικού έργου. Σε παρόμοια αποτελέσματα οδηγούν και οι υψηλές θερμοκρασίες συμπύκνωσης ( Σχήμα 5), ενώ τόσο η μείωση της θερμοκρασίας εξάτμισης όσο και η αύξηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης έχουν σαν συνέπεια την αύξηση της σχέσης συμπίεσης η οποία ποτέ δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5:1, διότι επηρεάζει αρνητικά τον ογκομετρικό (Σχήμα 6) και τον ενδεικνυμένο βαθμό απόδοσης. Ίσως μια συσχέτιση του COP με τη διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών συμπύκνωσης και εξάτμισης (Σχήμα 7) είναι πιο χρήσιμη για εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την απόδοση, την οικονομικότητα λειτουργίας και ως προς το εάν η εγκατάσταση θα είναι μονοβάθμια ή διβάθμια.

Η αύξηση της υπόψυξης οδηγεί σε αύξηση της ψυκτικής ισχύος και του ψυκτικού συντελεστή συμπεριφοράς (Σχήμα 8) ενώ η υπερθέρμανση των ατμών μειώνει ελαφρώς τον συντελεστή συμπεριφοράς. Μεγάλες υπερθερμάνσεις γενικώς αποφεύγονται όταν

πρόκειται για ψυκτικά ρευστά με υψηλό  $\gamma = C_p / C_v$  όπως συμβαίνει π.χ. με την αμμωνία. Τέλος οι ενεργειακές απώλειες κατά τον στραγγαλισμό, που μπορεί να υπερβαίνουν το 30% σε μοντέρνα ψυκτικά συγκροτήματα με κοχλιωτούς συμπιεστές μπορούν και πρέπει να περιορίζονται με ανάκτηση του έργου εκτόνωσης, με υπόψυξη του υγρού πριν την εκτόνωση ή με σταδιακό στραγγαλισμό και επανασυμπίεση.



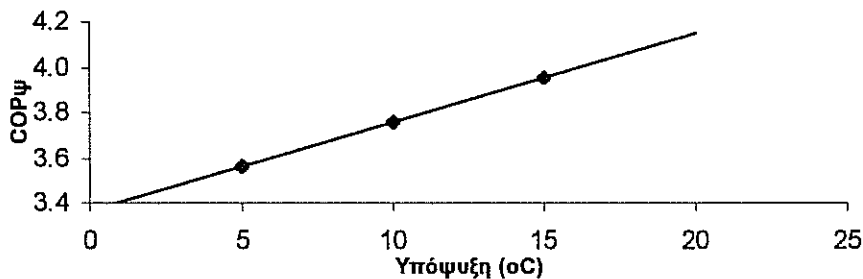
Σχήμα 6. Μεταβολή του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης με την σχέση συμπίεσης, για κοχλιωτό και εμβολοφόρο συμπίεστή



Σχήμα 7. Μεταβολή του ψυκτικού COP με την διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών συμπύκνωσης και εξάτμισης [Rivett, 1982]

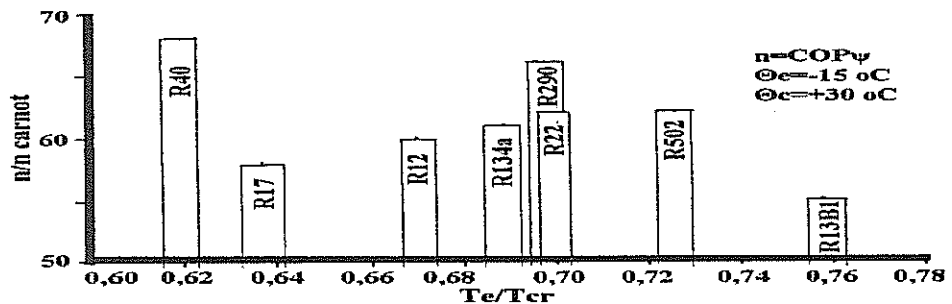
### 2.5 Επιλογή ψυκτικού ρευστού.

Για την επιλογή ενός ψυκτικού ρευστού για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, θα ληφθούν υπ' όψη ορισμένα κριτήρια όπως θερμοδυναμικά, οικολογικά, κριτήρια ασφαλείας, φυσικά και τεχνικά κριτήρια και τέλος οικονομικά κριτήρια.



Σχήμα 8. Μεταβολή του ψυκτικού COP με την θερμοκρασία υπόψυξης

Στην επιλογή του κατάλληλου ψυκτικού ρευστού θα βοηθήσει η συγκριτική κατάταξη των υποψηφίων ψ. ρευστών (Σχήμα 9) με κύρια κριτήρια το σχετικό συντελεστή συμπεριφοράς  $\eta / \eta_{\text{COPn}}$  και την απόσταση του κύκλου από την κρίσιμη περιοχή.



Σχήμα 9. Επιλογή ψυκτικού ρευστού με βάση την σχετική απόδοση για κάθε ψυκτικό ρευστό και την σχετική θερμοκρασιακή διαφορά της εφαρμογής από την κρίσιμη θερμοκρασία.

Στο σχήμα 10, όσο ψηλότερα βρίσκεται ένα ψυκτικό ρευστό, τόσο μεγαλύτερη είναι η ψυκτική του παραγωγή ανά μονάδα αναρροφούμενου όγκου αερίου, ενώ όσο δεξιότερα είναι τοποθετημένο το ρευστό τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση στην αναρρόφηση [1]. Τα δύο τελευταία σχήματα βοηθούν στην επιλογή του καταλληλότερου ψυκτικού ρευστού με βάση θερμοδυναμικά κριτήρια.

Στη περίπτωση αλλαγής ψυκτικού ρευστού σε παλαιά εγκατάσταση, η μείωση της ψυκτικής ικανότητας μπορεί να φθάσει το 25% της αρχικής [2].

## 2.6 Αποπάγωση και σύστημα ελέγχου

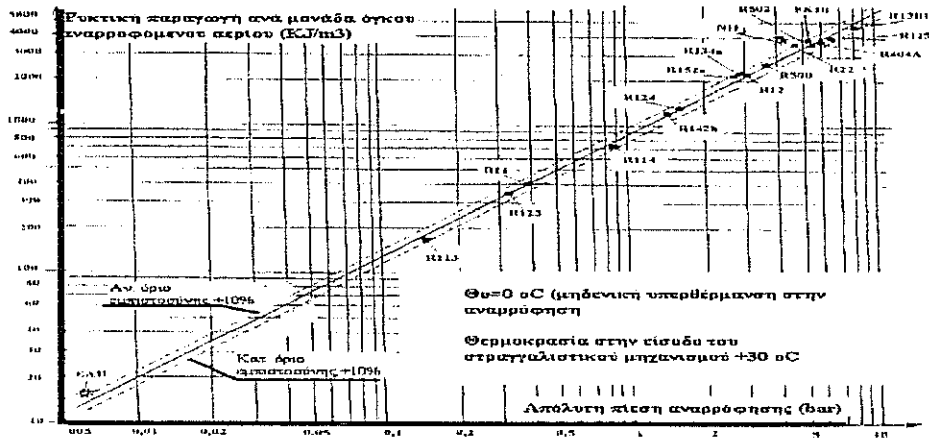
Το πόσο συχνά πρέπει να αποπαγώνεται ένας εξατμιστής εξαρτάται από τον τύπο του, τη φύση της εγκατάστασης, τις συνθήκες λειτουργίας και τη μέθοδο αποπάγωσης. Ένας μεγάλος γυμνού τύπου εξατμιστής (οροφής) αποπαγώνεται 1-2 φορές το μήνα, ενώ ένας πτερυγοφόρος αεροψυκτήρας ψυκτικού θαλάμου συνήθως αποπαγώνεται 1-2 φορές την ημέρα. Το ενεργειακό κόστος αποπάγωσης παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, πολλές δε φορές είναι δεκάδες έως εκατοντάδες φορές μεγαλύτερο από το κόστος της θεωρητικά απαραίτητης θερμαντικής ενέργειας αποπάγωσης [6], προς τη τιμή της οποίας πρέπει να τείνει ένας ορθολογικός σχεδιασμός αποπάγωσης.

Το σύστημα ελέγχου που θα σχεδιασθεί (και στη συνέχεια θα εγκατασταθεί) πρέπει να είναι ικανό να εκκινήσει, να διακόψει, να ρυθμίσει και να προστατέψει την ψυκτική εγκατάσταση όποτε πρέπει. Ένας καλός προγραμματισμός, σε συνδυασμό με τη σωστή επιλογή του πεδίου λειτουργίας και την ικανοποιητική ευαισθησία λειτουργίας της κάθε διάταξης μπορεί να διευκολύνει αλλά και να καταστήσει οικονομικότερη τη λειτουργία της μονάδας.

## 3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως έχει ήδη διαφανεί, τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας κατά τον σχεδιασμό μιας ψυκτικής εγκατάστασης είναι σημαντικά. Η σωστή επιλογή της μόνωσης και η προστασία από τα ηλιακά φορτία μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση έως 10% της καταναλισκόμενης ενέργειας. Η ορθή επιλογή των συνθηκών συντήρησης / λειτουργίας

και η σωστή μελέτη του ψυκτικού κύκλου μπορεί να οδηγήσουν σε ενεργειακά κέρδη της τάξεως του 18%, ενώ η επιλογή του συστήματος ή της διαδικασίας σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να εξοικονομήσει μέχρι και 30 %. Η ανάλυση και ο έλεγχος των θερμικών φορτίων μιας μονάδας οδηγεί στη σωστή διαστασιοποίηση της ψυκτικής εγκατάστασης που πολλές φορές έχει διπλάσια ισχύ της απαιτούμενης. Η εκλογή του ψυκτικού ρευστού πρέπει να γίνει σήμερα όχι μόνο με θερμοδυναμικά, τεχνικά και οικονομικά αλλά και με οικολογικά κριτήρια, ενώ δεν θα πρέπει να αμεληθεί το σύστημα ελέγχου και αποπάγωσης.



Σχήμα 10. Μεταβολή, σε συνάρτηση με την πίεση αναρρόφησης, της ψυκτικής παραγωγής ανά μονάδα όγκου αναρροφόμενου αερίου διαφόρων ψυκτικών ρευστών

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Duminil M. 1994. Criteres objectifs de choix d' un frigorigene. *Revue Pratique du Froid*. 808. 18-24.
2. Kitchener A. 1996. Advances in refrigeration machinery, *Proc. of IIR Com. E2, E1, B1, B2*, Melbourne. IIR Bulletin 1996/1. 121-135.
3. Λαμπρινός Γρ.. 1986. Οικονομία ενέργειας στους ψυχόμενους και κλιματιζόμενους χώρους. *Πρακτικά ημερίδας του ΕΛΚΕΠΑ με θέμα: Ηλιακή ενέργεια και εξοικονόμηση ενέργειας*. Ιωάννινα. 13-26.
4. Λαμπρινός Γρ.. 1993. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της ψυκτικής

# *Εδαφικοί Πόροι*



## ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Σ. Π. Θεοχαρόπουλου<sup>1</sup>, Ε. Φλώρου<sup>2</sup>, Φ. Τσουλουχά<sup>1</sup>, Μ. Καραγιάννη-Χρήστου<sup>1</sup>, Π. Κουλουμπής<sup>1</sup>, Σ. Χρηστίδου<sup>1</sup>.

1. ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Εδαφολογίας Αθηνών, 14123 Αθήνα.
2. Ε.Κ.Φ.Ε. "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ", Εργαστήριο Ελέγχου Ραδιενεργείας, 15319 Αθήνα.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετάται η διάβρωση των εδαφών του Ν. Βοιωτίας με τη χρήση φορητού προσομοιωτή βροχόπτωσης, με εγκατάσταση μόνιμου πειραματικού διάβρωσης και μέσω μετρήσεων της κατανομής του Καισίου-137 (Cs-137). Ο χρόνος έναρξης της απορροής του νερού βροχής, η ολική απορροή, η διάβρωση και τα φορτία NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P, και K στο νερό απορροής διέφεραν από έδαφος σε έδαφος και μεταβάλλονταν διαχρονικά. Παρατηρήθηκε παραλλακτικότητα τόσο στην απορροή όσο και στη διάβρωση μεταξύ των μεταχειρήσεων και διαχρονικά στον μόνιμο πειραματικό. Οι ρυθμοί διάβρωσης και απόθεσης, με τη μέθοδο του Καισίου-137, εξαρτήθηκαν από την τοποθεσία της εδαφοτομής, τη δομή, το βάθος αρόσεως και το χρησιμοποιούμενο μοντέλο.

## SOIL EROSION STUDIES IN CENTRAL GREECE

S. P. Theocharopoulos<sup>1</sup>, E. Florou<sup>2</sup>, F. Tsouloucha<sup>1</sup>, M. Karayianni-Christou<sup>1</sup>, P. Kouloumbis<sup>1</sup>, S. Christidou<sup>1</sup>.

1. NAGREF, Soil Science Institute of Athens, 14123 Athens, Greece.
2. N.C.S.R. "Democritos", Environmental Radioactivity Lab., 15139 Athens, Greece.

### ABSTRACT

Soil erosion is studied in the Viotia prefecture using portable rainfall simulator, with permanent field erosion plots and using the Cs-137 technique. The runoff initiation time, the total runoff, the erosion, the nitrates, the P and the K charges in the runoff water varied from soil to soil and during the rainfall event. Variability both between treatments and with time was observed in the permanent erosion plots. The long term erosion and deposition rates estimation using the Cs-137 technique depended on the location of the profile in the landscape, the soil structure, the plough depth and the calibration model used.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάβρωση των ελληνικών εδαφών συνιστά μία, από τις σημαντικότερες διεργασίες υποβάθμισης των εδαφών της χώρας μας {9}. Αποτέλεσμα αυτής είναι η απομάκρυνση του επιφανειακού εδαφικού (A) ορίζοντα των περισσότερων επικλινών ελληνικών εδαφών.

Η διάβρωση των εδαφών είναι μία πολύπλοκη διεργασία καθόσον επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι στις περισσότερες φορές αλληλεπιδρούν ενώ χαρακτηρίζονται από χρονική και χωροταξική παραλλακτικότητα. Η ανάγκη να κατανοηθεί, να περιγραφεί, να προβλεφθεί και να μετρηθεί το φαινόμενο της διάβρωσης στη χώρα μας είναι σημαντική και απολύτως απαραίτητη για την υιοθέτηση της κατάλληλης σε κάθε περίπτωση δέσμης αντιδιαβρωτικών μέτρων. Επιβάλλεται επίσης να υπολογισθούν οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις που προκαλούνται από την απώλεια θρεπτικών στοιχείων μέσω διάβρωσης από τα εδάφη και η προσθήκη ρύπων στα κατάντη επιφανειακά και υπόγεια νερά.

Οι διεργασίες της διάβρωσης μελετώνται διεθνώς {5, 6} με τη βοήθεια των εξής τεχνικών σε διάφορες κλίμακες μελέτης: με προσομοιωτή βροχόπτωσης, με πειραματικά τεμάχια (plot), με χαρτογράφηση (surveys) και με τη βοήθεια ανιχνευτών (tracers).

Με την παρούσα εργασία παρουσιάζονται η μεθοδολογία και τα πρώτα αποτελέσματα από δύο ερευνητικά προγράμματα, ήτοι ένα χρηματοδοτούμενο από το ΕΘΙΑΓΕ στα πλαίσια του προγράμματος «ΔΗΜΗΤΡΑ» και ένα από τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Δ.Ε.Α.Ε.).

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός προσομοιωτής βροχόπτωσης (Portable Rainfall Simulator){3} σύμφωνα με την περιγραφή των Bowyer-Bower and Burt (1989){1}. Η επιφάνεια διαβροχής είναι 50cm X 100cm, ενώ η ένταση της βροχόπτωσης μπορεί να ρυθμιστεί από 10 mm/h μέχρι 100 mm/h.

Επελέγησαν με βάση τον εδαφολογικό χάρτη της περιοχής {2} οκτώ αντιπροσωπευτικές χαρτογραφικές μονάδες που περιέχουν εδάφη που υπόκεινται σε διάβρωση. Επελέγη ένας αγρός σε κάθε μία χαρτογραφική μονάδα, και μελετήθηκε η διάβρωση για ένταση βροχόπτωσης 80mm/h και για χρόνο 30 λεπτών μετά την έναρξη της απορροής και σε τρεις επαναλήψεις. Ο χρόνος έναρξης της απορροής, ο όγκος απορροής και η διάβρωση καταγράφηκαν κάθε πέντε λεπτά. Το νερό απορροής και το διαβρωμένο υλικό αναλύονται για N, P και K.

Εγκαταστάθηκε ένας μόνιμος πειραματικός αγρός διάβρωσης σε ένα έδαφος TYPIC XERORTHENT της περιοχής Θηβών, με εννέα πειραματικά τεμάχια με (standard) μήκος 22m {5,6} και πλάτος 2m και κλίση περίπου 7°. Μελετήθηκαν σε τρεις επαναλήψεις συνολικά τρεις μεταχειρήσεις δηλαδή σιτάρι, αγρανάπανση (fallow land) και έδαφος με περιοδική ζιζανιοκτονία (bare land). Η βροχόπτωση καταγραφόταν με τη βοήθεια βροχογράφου, ενώ το νερό απορροής και το εδαφικό υλικό διάβρωσης συλλεγόταν σε ειδικά κατασκευασμένους συλλεκτήρες {4}. Το νερό απορροής και το εδαφικό υλικό συλλεγόταν περιοδικά μετά από έντονες βροχοπτώσεις. Σπάρθηκε σκληρό σιτάρι σε αυλάκια που απείχαν μεταξύ τους 25cm

και σε κατεύθυνση παράλληλη προς την ισοϋψή ενώ ακολουθήθηκαν οι συνήθειες καλλιεργητικές πρακτικές της περιοχής όσον αφορά στη λίπανση.

Αναπτύχθηκε μία τεχνική για τον υπολογισμό της μακροχρόνιας διάβρωσης (της ολικής διάβρωσης συμπεριλαμβανομένης) και εναπόθεσης, βασισμένη στη κατανομή του Cs-137 {8} στις διάφορες εδαφοτομές με βάση την ολική τοπική επίπτωση βασισμένη στη μεθοδολογία των Quine and Walling ( 1991) {7}, και στις εξισώσεις των Walling and He ( 1997) {10}.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 3.1. Φορητός προσομοιωτής βροχόπτωσης

Στό Σχήμα 1 παρουσιάζονται η απορροή σε εκατοστιαία αναλογία της ολικής βροχόπτωσης, η διάβρωση (t/ha) και ο χρόνος έναρξης της απορροής στους οκτώ αντιπροσωπευτικούς αγρούς RS1-RS8, μετά την εφαρμογή έντασης βροχόπτωσης 80 mm/h και για 30 λεπτά μετά την έναρξη της απορροής και της διάβρωσης (μέσος όρος τριών επαναλήψεων). Στο Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι ολικές ποσότητες νιτρικών, φωσφόρου και καλίου στο νερό απορροής από τους ίδιους αγρούς.

Πίνακας 1. Νιτρικά, P και K που απομακρύνθηκαν με το νερό απορροής

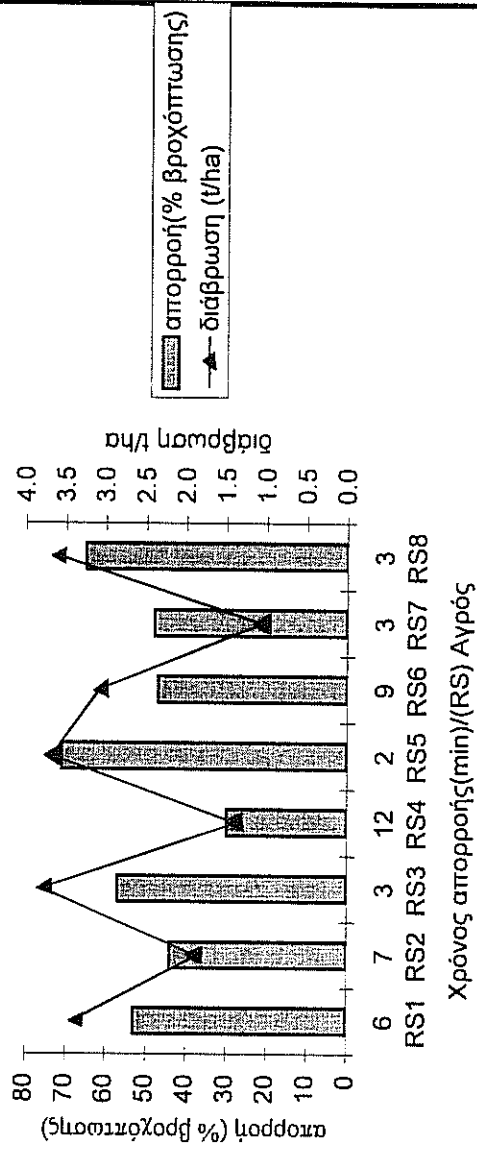
Αγρός	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
RS1	6.24	0.000	1.17
RS2	3.22	0.010	1.05
RS3	7.80	0.014	1.28
RS4	1.74	0.009	0.63
RS5	19.53	0.005	1.47
RS6	12.72	0.069	1.00
RS7	2.64	0.044	1.98
RS8	5.33	0.017	1.60

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 1, ο χρόνος έναρξης απορροής ποικίλει από 2 μέχρι 12 λεπτά, ενώ υπάρχει μία μικρή συσχέτιση ( $R=0.72$ ) μεταξύ χρόνου έναρξης της απορροής και της ολικής απορροής. Το ποσοστό απορροής ποικίλει από 30% έως 71% της εφαρμοζόμενης βροχόπτωσης, ενώ οι ρυθμοί διάβρωσης κυμαίνονται από 1.1 έως 3.8 t/ha.

Όσον αφορά στις ποσότητες νιτρικών, φωσφόρου και καλίου οι οποίες απομακρύνθηκαν με το νερό απορροής (Πίνακας 1) παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση μεταξύ των αγρών. Έτσι οι απώλειες μέσω του νερού απορροής στα οκτώ μελετηθέντα εδάφη ποικίλουν από 1.74 έως 19.53 kg/ha σε νιτρικά, από ίχνη μέχρι 69g/ha σε φωσφόρο και από 0.63 έως 1.98 kg/ha σε κάλιο.

Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν ότι η διάβρωση, η επιφανειακή απορροή, ο χρόνος έναρξης της διάβρωσης και της απορροής, καθώς επίσης και οι απώλειες μέσω της απορροής σε NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P, και K ποικίλουν από έδαφος σε έδαφος και ότι η διάβρωση και η απορροή είναι μία διεργασία, η οποία, αν δεν αντιμετωπιστεί εγκαίρως μπορεί να προκαλέσει μεγάλες απώλειες θρεπτικών στοιχείων και μεγάλες οικολογικές επιπτώσεις στα κατάντη επιφανειακά και υπόγεια νερά.

Σχήμα 1. Μέση ολική απορροή (% της βροχόπτωσης), διάβρωση και χρόνοι έναρξης της απορροής στους αγρούς RS1-8 για 30 λεπτά μετά την έναρξη της απορροής με ένταση βροχής 80mm/h.



Στους Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται οι μέσες (τρεις επαναλήψεις) μετρηθείσες τιμές της απορροής και της διάβρωσης για κάθε 5 λεπτά μέχρι τα 30 λεπτά μετά την έναρξη της επιφανειακής απορροής, όταν εφαρμόστηκε βροχόπτωση έντασης 80 mm/h.

Πίνακας 2. Χρόνος έναρξης της απορροής, μέση απορροή (ml) κάθε 5 λεπτά μετά την έναρξη της απορροής στους αγρούς RS1-RS8, με ένταση βροχόπτωσης 80mm/h.

χρόνος μέτρησης μετά την έναρξη απορροής (min)	RS1/ 6	RS2/ 7	RS3/ 3	RS4/ 12	RS5/ 2	RS6/ 9	RS7/ 3	RS8/ 3
5	1058	637	1635	800	1470	1262	1055	1140
10	1709	1341	2165	1287	2472	1647	1527	1807
15	2348	2033	2112	1338	2803	1937	1834	2525
20	2525	2032	2255	1555	2619	2066	1854	2872
25	2523	2418	2066	1599	2807	2615	2021	2794
30	2576	2261	2196	1943	2852	2718	2295	3108

Πίνακας 3. Κλίση των αγρών RS1-RS8, και μέση διάβρωση (g) κάθε πέντε λεπτά μετά την έναρξη της απορροής με ένταση βροχόπτωσης 80mm/h.

χρόνος μέτρησης μετά την έναρξη απορροής (min)	RS1/ 6ο	RS2/ 3ο	RS3/ 9ο	RS4/ 5ο	RS5/ 8ο	RS6/ 9ο	RS7/ 6ο	RS8/ 5ο
5	13.4	5.0	32.6	10.8	22.2	13.8	9.4	26.5
10	22.9	7.9	33.0	11.6	35.5	18.9	8.8	33.0
15	30.5	13.2	31.4	10.9	43.2	24.5	9.6	29.2
20	35.0	16.5	30.8	12.2	27.6	25.6	7.1	31.2
25	33.4	23.9	36.1	10.1	30.4	36.9	7.9	30.2
30	33.4	27.6	25.0	13.9	25.0	34.2	9.7	30.9

Στους παραπάνω πίνακες παρατηρείται ότι τόσο η επιφανειακή απορροή, όσο και η διάβρωση μεταβάλλονταν από αγρό σε αγρό και υφίσταντο διακύμανση κατά την διάρκεια του πειράματος, ενώ παρουσιάζεται μία τάση αύξησης με το χρόνο διάρκειας της βροχόπτωσης προφανώς λόγω καταστροφής της δομής του επιφανειακού εδάφους και μείωσης της διηθητικότητας. Το ποσοστό βροχόπτωσης που απορρέει επιφανειακά, για 5 λεπτά βροχόπτωσης των 80mm/h, για τις συνθήκες του πειράματος, κυμαίνονταν από 19% έως 93%. Ενώ οι ρυθμοί διάβρωσης κυμαίνονταν για τον ίδιο χρόνο (5 λεπτά) και τις ίδιες συνθήκες του πειράματος από 99.2 έως 864.4 Kg/ha.

### 3.2. Μόνιμος πειραματικός αγρός

Στους Πίνακες 4 και 5 παρουσιάζονται η απορροή και η διάβρωση μέσω φυλλοειδούς διάβρωσης (sheet erosion) απο τον πειραματικό αγρό κατά το Α΄ έτος του πειραματισμού (1998-1999) καθώς επίσης και η μετρηθείσα βροχόπτωση.

Πίνακας 4. Μέσες ποσότητες νερού απορροής (l/ha) στα πειραματικά τεμάχια του μόνιμου πειραματικού διάβρωσης.

ημερομηνία	7.1.99	8.2.99	12.2.99	18.2.99	22.3.99	30.3.99	7.4.99
σιτάρι	185	457	145	3	942	438	21
ακαλλιέργητο	110	106	195	24	695	437	59
ζιζανιοκτονία	305	61	506	4	1439	893	33
βροχόπτωση (mm)	22	57	12	6	120	69	17

Πίνακας 5. Μέσες ποσότητες διαβρωμένου υλικού (g/ha) στα πειραματικά τεμάχια του μόνιμου πειραματικού διάβρωσης.

ημερομηνία	7.1.99	8.2.99	12.2.99	18.2.99	22.3.99	30.3.99	7.4.99
σιτάρι	159	432	386	23	4727	318	182
ακαλλιέργητο	295	159	4273	68	1327	250	318
ζιζανιοκτονία	250	136	3205	55	2000	432	341

Παρατηρήθηκε μεγάλη παραλλακτικότητα τόσο, στην απορροή όσο και στη διάβρωση διαχρονικά, αλλά και μεταξύ των μεταχειρήσεων. Επίσης βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ της βροχόπτωσης και της απορροής ( $R=0.83-0.98$ ) και μεταξύ της βροχόπτωσης και της διάβρωσης ( $R=0.84$ ) για το σιτάρι. Η συνολική μετρηθείσα απορροή είναι μεγαλύτερη για το έδαφος που υφίσταντο ζιζανιοκτονία (14264 ml), ακολουθούν οι μεταχειρήσεις με σιτάρι (9635 ml) ενώ την μικρότερη απορροή δίνουν οι μεταχειρήσεις με φυσική βλάστηση (7152 ml). Η συνολική μετρηθείσα διάβρωση είναι σχεδόν η ίδια και για τις τρεις μεταχειρήσεις 6.69 kg/ha για τη φυσική βλάστηση, 6.41 kg/ha για τα τεμάχια που υφίσταντο ζιζανιοκτονία, και 6.23 kg/ha για το σιτάρι. Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να εξηγηθούν συνεκτιμώντας την επίδραση στη διεργασία της διάβρωσης του σταδίου ανάπτυξης του σιταριού, της φυσικής βλάστησης, της εποχής ζιζανιοκτονίας, τις καλλιεργητικές πρακτικές με το μικροανάλυφο το οποίο δημιουργούν σε συνδιασμό με τα χαρακτηριστικά (ένταση, διάρκεια, συχνότητα) των βροχοπτώσεων.

### 3.3. Η τεχνική του Cs-137

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι υπολογισθείσες τιμές διάβρωσης και απόθεσης που προσδιορίστηκαν σε μία τομή κατά μήκος της μεγάλης κλίσης στη περιοχή Μουρικίου Θηβών.

Με βάση τον Πίνακα 6 οι ρυθμοί διάβρωσης που προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο του Καισίου-137 (Cs-137) για την περιοχή του Μουρικίου Θηβών ποικίλουν από 16.62 έως 102.56 t/ha/y για τα εδάφη στη κορυφή της πλαγιάς και από 5.37 έως 25.68 t/ha/y

για τα εδάφη στο μέσο της πλαγιάς. Οι ρυθμοί απόθεσης ποικίλουν από 7.26 έως 42.95 t/ha/y για τη βάση της πλαγιάς.

Από τον Πίνακα 6 συμπεραίνεται ότι μεταξύ των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διάβρωση του εδάφους συμπεριλαμβάνονται και οι εξής: θέση στη πλαγιά, βάθος αρόσεως, δομή του εδάφους, και το μοντέλο που χρησιμοποιείται.

Πίνακας 6. Υπολογισθείσες τιμές διάβρωσης (-) και εναπόθεσης (+) (t/ha/y) για διάφορα βάθη αρόσεως στη κορυφή (α,δ), στο μέσον (β,ε) και στη βάση (γ,ζ) της πλαγιάς με τη χρήση του αναλογικού μοντέλου (proportional model) (α,β,γ) και του ισοζυγίου μάζας (mass balance) (δ,ε,ζ,) των Walling and He (1997) {9}.

βάθος άρσεως	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm
α	-16.62	-24.93	-33.24	-41.55	-49.86	-58.18
β	-5.37	-8.05	-10.73	-13.41	-16.10	-18.78
γ	+7.26	+10.89	+14.52	+18.15	+21.78	+25.41
δ	-29.30	-43.95	-58.60	-73.26	-87.91	-102.56
ε	-7.34	-11.01	-14.67	-18.34	-22.01	-25.68
ζ	+12.27	+18.41	+24.54	+30.68	+36.82	+42.95

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μεταξύ των κυριότερων συμπερασμάτων τα οποία εξάγονται από τα παραπάνω δεδομένα μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

1. Τα μελετηθέντα εδάφη της Κεντρικής Ελλάδας (Νομός Βοιωτίας) είναι ευπαθή στη διάβρωση.
2. Στις συνθήκες μέτρησης της διάβρωσης και των πειραμάτων οι ρυθμοί διάβρωσης ποικίλουν από αγρό σε αγρό και μεταξύ των μεταχειρήσεων.
3. Η διάβρωση εκτός από την απώλεια εδαφικού υλικού και θρεπτικών στοιχείων μπορεί να έχει και γενικότερες οικολογικές επιπτώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια κατάντη νερά.
4. Ο φορητός προσομοιωτής βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τη μελέτη των παραγόντων διάβρωσης και των ρυπαντικών φορτίων σε επίπεδο αγρού και μίας ή περισσότερων βροχοπτώσεων.
5. Η τεχνική μελέτης της διάβρωσης με τη χρήση της κατανομής του Cs-137 συνιστά πολλά υποσχόμενη μέθοδο για τις ελληνικές συνθήκες.

#### 5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Εκφράζονται ευχαριστίες στη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας που χρηματοδότησε τη τεχνική του Cs-137. Ευχαριστίες εκφράζονται επίσης στο προσωπικό του Ινστιτούτου Εδαφολογίας Αθηνών και ειδικότερα στους συναδέλφους Δρ. Ε. Βαβουλίδου, Α. Δημήτρου, Π. Τούντα, Β. Καραμάδο, Δ. Μπέλη για την βοήθεια που προσέφεραν σε αυτή την εργασία.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bowyer-Bower T.A.S & Burt T.P., 1989. Rainfall Simulator for investigating soil response to rainfall. *Soil Technology* 2: 1-16.
2. Θεοχαρόπουλος, Σ. Π. 1992, (Συντάξας). Εδαφολογική μελέτη Νομού Βοιωτίας. Ινστιτούτο Εδαφολογίας Αθηνών. Κλίμακα 1:100.000, έκταση 1.419.741 στρέμματα.
3. Θεοχαρόπουλος, Σ. Π., 1998. Α' ετήσια έκθεση προόδου του ερευνητικού έργου «Δημιουργία μοντέλου περιγραφής και πρόβλεψης της διάβρωσης στη χώρα μας «Δ.95.VII/15», ΕΘΙΑΓΕ, Ι.Ε.Α. Αθήνα.
4. Θεοχαρόπουλος, Σ. Π., 1999. Β' ετήσια έκθεση προόδου του ερευνητικού έργου «Δημιουργία μοντέλου περιγραφής και πρόβλεψης της διάβρωσης στη χώρα μας «Δ.95.VII/15», ΕΘΙΑΓΕ, Ι.Ε.Α. Αθήνα.
5. Lal, R., (ed) 1994. Soil erosion research methods, 2nd edition, SWCS, St Lucie Press.
6. Morgan, R.P.C., 1979. Soil erosion. Longman Group Lmt, London.
7. Quine, T.A., & Walling, D. E., 1991. Rates of soil erosion on arable fields in Britain: Quantitative data from caesium-137 measurements. *Soil use and management* 7:169-176
8. Theocharopoulos, S. P., Florou, H., Kritidis, P., Belis, D., Tsouloucha, F., Christou, M., Kouloumbis, P., Nikolaou, T., 2000. Use of Cs-137 isotopic technique in soil erosion studies in central Greece, *Acta Geologica Hispanica*, (accepted-in press).
9. Yassoglou, N., 1999. Land, desertification vulnerability and management in Mediterranean landscapes. In Balabanis, P., Peter, D., Chazi, A., and Tsogas, M., (eds) *Mediterranean desertification research results and policy implications. Proceedings of the International Conference 29 October to 1 November 1996, Crete, Greece.*
10. Walling D. E. and He Q., 1997. Models for converting  $^{137}\text{Cs}$  measurements to estimates of soils redistribution rates on cultivated and uncultivated soils (including software for model implementation).

# **ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΣΤΗΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ**

**Χρ. Β. Τερζούδη και Θ.Α. Γέμτος**

Χρυσ. Β. Τερζούδη, Υποψήφια διδάκτορας Εργαστήριο Γεωργικής  
Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίο Άρεως, 38334 Βόλος  
Θ.Α. Γέμτος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αντικείμενο της εργασίας είναι η ανακοίνωση των αποτελεσμάτων ενός πειράματος διαβρώσεως σε επικλινή εδάφη με βαμβάκι και η δυνατότητα περιορισμού της με εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας εδάφους, κατεργασίας και σποράς κατά τις ισοϋψείς και με χρήση φυτοκάλυψης του εδάφους τον χειμώνα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μειωμένη κατεργασία (δισκοσβάρνα) εμφανίζει τις μικρότερες απώλειες εδάφους κατά 21% έναντι 33% για τον καλλιεργητή και 46% για το όργωμα, η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς κατά 45% έναντι 55% της καλλιέργειας κατά την κλίση και η χειμερινή με τη μη χειμερινή φυτοκάλυψη κατά 45% και 55% αντίστοιχα.

## **EFFECT OF CULTIVATION TECHNIQUES OF COTTON TO SOIL EROSION**

**Chr. B. Terzudi and Th. Gemtos**

Terzudi Chr., doctor candidate, Lab. Agricultural Mechanization,  
University of Thessaly  
Gemtos Th., Assoc. Professor, University of Thessaly

## **ABSTRACT**

This research investigates the effect of reduced tillage systems, winter cover crop, tillage and planting direction of cotton to soil erosion in a slopy field of Thessaly, Greece. During the experiment a system to measure and record runoff as well as soil sediment during rainy periods was installed. During the second year of the experiment the data collection was continued. The results of the experiment indicate that the reduced tillage system (disk harrow), winter cover crop and tillage and planting to the contour had the fewer soil sediment.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάβρωση αποτελεί το σοβαρότερο παράγοντα που επιδρά αρνητικά στο φυσικό περιβάλλον, διαταράσσοντας τη βιολογική ισορροπία του οικοσυστήματος. Το πρόβλημα της διάβρωσης των εδαφών στην Ελλάδα είναι πολύ σημαντικό. Οι φυσικές, εδαφικές, γεωλογικές, γεωμορφολογικές, τοπογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες της χώρας ευνοούν την ανάπτυξη όλων των μορφών διάβρωσης [1].

Η καλλιέργεια που σήμερα εκτιμάται ως επικίνδυνη για την επιταχυνόμενη διάβρωση των εδαφών είναι εκείνη του βαμβακιού. Χάρη στην μεγάλη επιδότηση που δέχεται τείνει να καταλάβει κάθε έκταση στην Θεσσαλία που είναι δυνατό να αρδευτεί. Οι γεωργοί καλλιεργούν σήμερα εδάφη με κλίσεις που υπερβαίνουν το 10% και επί πολλά συνεχή έτη χωρίς αμειψοπορά. Το πρόβλημα γίνεται ακόμη πιο σοβαρό λόγω του ότι η άρδευση αυτών των επικλινών εδαφών που κυριαρχούν στην Θεσσαλία γίνεται με αυτοπροωθούμενους εκτοξευτήρες ή αυτοπροωθούμενη ράμπα (πολυμπέκ).

Συνήθως οι γεωργοί μετά την συγκομιδή του βαμβακιού προβαίνουν στην στελεχοκοπή και όργωμα των εδαφών. Έτσι μεγάλες εκτάσεις παραμένουν ακάλυπτες κατά την διάρκεια του χειμώνα που έχουμε τις περισσότερες βροχοπτώσεις. Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της δυνατότητας μείωσης της διάβρωσης στην περίπτωση κατά την οποία επικλινείς εκτάσεις καλύπτονται κατά την διάρκεια του χειμώνα και μέχρι την σπορά του βαμβακιού από καλλιέργεια κάλυψης (cover crop), ενώ οι επεμβάσεις θα γίνονται σε εδαφικές επιφάνειες που θα καλλιεργούνται κατά τις ισοψείς και με συστήματα μειωμένης κατεργασίας. Η σύγκριση αυτή των τεχνικών θα γίνεται με την συμβατική καλλιέργεια που ακολουθείται σήμερα και η οποία πιστεύεται ότι παρέχει την ελάχιστη δυνατή προστασία τόσο κατά την διάρκεια του χειμώνα μέχρι την σπορά των εαρινών καλλιεργειών όσο και κατά την εξέλιξη της φυτείας.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μεταχειρίσεις του πειράματος ήταν τρεις μέθοδοι κατεργασίας του εδάφους (όργωμα το Φθινόπωρο και την Άνοιξη προετοιμασία της σποροκλίνης με χρήση δισκοσβάρνας, μειωμένη κατεργασία με χρήση βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20cm το Φθινόπωρο και την Άνοιξη προετοιμασία της σποροκλίνης με δισκοσβάρνα και τέλος μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα και προετοιμασία με δισκοσβάρνα), δύο μεταχειρίσεις κατεύθυνσης κατεργασίας και σποράς (έγινε η κατεργασία του εδάφους και η σπορά του βαμβακιού κατά την κλίση ή κατά τις ισοψείς) και δύο μεταχειρίσεις φυτοκάλυψης του εδάφους κατά τον χειμώνα (το έδαφος καλλιεργήθηκε το Φθινόπωρο και παρέμεινε ακάλυπτο τον χειμώνα ή σπάρθηκε με χειμερινή καλλιέργεια φυτοκάλυψης [2]). Οι επαναλήψεις ήταν τρεις για κάθε μεταχείριση. Κατά το πρώτο έτος της έρευνας (1997) έγινε τυχαιοποίηση των 36 τεμαχίων (δώδεκα μεταχειρίσεις επί τρεις επαναλήψεις). Πραγματοποιήθηκε η χάραξη του πειράματος σε έκταση πέντε στρεμμάτων στην Λάρισα με κλίση 5° περίπου. Το μήκος κλίσης των πειραματικών τεμαχίων είναι 22 m, που θεωρείται ικανοποιητική για πειράματα διάβρωσης [3] και πλάτος τριών μέτρων για τις μεταχειρίσεις με σπορά και κατεργασία κατά τις κλίσεις και πέντε μέτρων για τις μεταχειρίσεις με σπορά και κατεργασία κατά τις ισοψείς. Δημιουργήθηκαν μικρά αναχώματα στα οποία ενσωματώθηκε φύλλο πλαστικού για να εξασφαλιστεί διαχωρισμός της απορροής του κάθε τεμαχίου [2].

Η άρδευση έγινε με τεχνητή βροχή (χρήση σπρέι) για δημιουργία απορροών κατά την καλλιεργητική περίοδο του βαμβακιού σε χρονικές περιόδους που επιθυμούμε. Διαφορετική ένταση βροχής και διαφορετικό μέγεθος σταγόνας βροχής επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας την πίεση εκτόξευσης. Η τεχνητή βροχή εφαρμόστηκε κατά την καλλιεργητική περίοδο, για διάφορες χρονικές στιγμές και σε διάφορες φάσεις της κύριας καλλιέργειας.

Έγιναν μετρήσεις των φυσικών ιδιοτήτων όπως υγρασίας, ξηρής φαινομενικής πυκνότητας, αντίστασης στη διείσδυση (μετρήθηκε με ηλεκτρονικό διεισδυσιόμετρο), διήθησης και σταθερότητας συσσωματωμάτων.

Η διηθητικότητα του εδάφους μετρήθηκε με την συσκευή ενός κυλίνδρου[4]. Η σταθερότητα συσσωματωμάτων μετρήθηκε με την μέθοδο υγρής κοσκίνησης με την χρήση μηχανικού κόσκινου. Ψεκαζόταν με νερό η επιφάνεια του κόσκινου με το δείγμα εδάφους για χρονικό διάστημα 3 λεπτών και στην συνέχεια έγινε μηχανική ανατάραξη του δείγματος στο νερό με ύψος ταλαντώσεων 3mm, σε συχνότητα 16 Hz για 4 λεπτά (το ύψος ταλαντώσεων και η συχνότητα προέκυψε ύστερα από ενεργειακή εξίσωση της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε με την μέθοδο των Βάλμη κ.α [5]).

Καταγράφηκαν ορισμένα μετεωρολογικά στοιχεία, όπως η ένταση της βροχής, η ολική βροχόπτωση και η θερμοκρασία του αέρα. Έγινε καταμέτρηση της βιομάζας και φυτοκάλυψης του εδάφους με την μέθοδο του σκονιού με κόμπους [6] για να μελετηθεί η επίδραση της κατεργασίας του εδάφους στην φυτοκάλυψη. Τέλος, εκτός από την μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και της φυτοκάλυψης του εδάφους, έγιναν και μετρήσεις της απορροής καθώς και των φερτών υλικών. Οι απορροές μετρήθηκαν με tipping buckets (μετρητές απορροές ύδατος), ενώ στην συνέχεια μεταφέρονταν σε εγκατεστημένα βαρέλια από τα οποία λαμβάνονταν δείγματα για εκτίμηση των φερτών υλικών.

### **3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

#### **3.1 Μετεωρολογικά στοιχεία**

Κατά το δεύτερο έτος του πειράματος η συνολική βροχόπτωση που καταγράφηκε ήταν 674mm φυσικής και 994mm τεχνητής βροχής (εφαρμόστηκε κατά την καλλιεργητική περίοδο του βαμβακιού).

#### **3.2. Φυσικές ιδιότητες εδάφους**

Παρατηρείται ότι τα εδάφη που έχουν υποστεί την μικρότερη κατεργασία (δισκοσβάρνα) έχουν αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα, τόσο πριν την πρωτογενή κατεργασία εδάφους όσο και μετά την κατεργασία, ενώ είναι χαμηλότερη στα τεμάχια με την μεταχείριση φυτοκάλυψη, πιθανόν λόγω του ότι τα απομείνοντα φυτικά υπολείμματα υποβοηθούν στην διόγκωση του εδάφους με την αύξηση της εδαφικής υγρασίας που οφείλεται στην ύπαρξη των φυτικών υπολειμμάτων.

Μεγαλύτερη διήθηση παρουσιάζει η δισκοσβάρνα και κατά δεύτερο λόγο ο βαρύς καλλιεργητής μεταξύ των τριών συστημάτων της εδαφοκατεργασίας διότι τα εδαφοτεμάχια με όργωμα είχαν λιγότερο σταθερά συσσωματώματα από ότι αυτά με τον βαρύ καλλιεργητή και πολύ περισσότερο με την μεταχείριση δισκοσβάρνα όπως φαίνεται στον Πίνακα 1. Παρόμοια συμπεράσματα βρήκαν και οι Potter et al [7]. Μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάστηκαν στα συστήματα της εδαφοκατεργασίας όταν η περιεκτικότητα σε νερό των αγροτεμαχίων ήταν χαμηλή, σε σύγκριση με την

υψηλότερη κατάσταση εδαφικής υγρασίας και παρατηρήθηκαν μικρές σχισμές στα τεμάχια με δισκοσβάρνα ενώ στα άλλα δύο καλλιεργητικά συστήματα, όργωμα και βαρύς καλλιεργητής, τόσο ο αριθμός όσο και το εύρος των σχισμών ήταν μικρότερος. Η παρατηρούμενη αύξηση της ταχύτητας διηθήσεως του νερού, όταν η κατάσταση του εδάφους ήταν σχετικά ξηρή (11-17 % υγρασία), πιθανό να οφειλόταν σ' αυτή την εμφάνιση των σχισμών. Η χειμερινή φυτοκάλυψη παρουσίασε μεγαλύτερη διήθηση σε σχέση με τα τεμάχια χωρίς χειμερινή φυτοκάλυψη. Παρόμοια συμπεράσματα έχει και ο Lal [8]. Σ' αυτή την περίπτωση, με την παρουσία φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος η επιφάνεια του εδάφους χαλαρώνει, η επιφανειακή κρούστα καταστρέφεται και το πορώδες του εδάφους αυξάνει [9]. Ο ρυθμός διήθησης αυξάνει, ενώ παράλληλα μειώνεται η επιφανειακή απορροή.

Η κατεργασία όργωμα παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές δείκτη αστάθειας των συσσωματωμάτων, τόσο πριν τις κατεργασίες εδάφους όσο και μετά. Ακολουθεί η κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (Πίνακας 1). Γνωρίζουμε ότι με το άροτρο γίνεται αναμόλυνση του εδάφους και διάσπασή του σε μεγάλους σβόλους, η οποία επιτρέπει με τη δράση των καιρικών συνθηκών τη χαλάρωσή του, επειδή το νερό που υπάρχει στα συσσωματώματά του διαστέλλεται καθώς παγώνει, με συνέπεια να μειώνεται η σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους.

Επίσης, παρατηρείται ότι η μεταχείριση κατά την οποία υπάρχει καλλιέργεια φυτοκάλυψης κατά τον χειμώνα να παρουσιάζει μεγαλύτερη σταθερότητα συσσωματωμάτων. Αυτό πιθανόν να οφείλεται από το γεγονός ότι τα αποσυντιθέμενα ενσωματωμένα φυτικά υπολείμματα μπορούν να σταθεροποιούν τα συσσωματώματα. Επιπλέον η διατήρηση φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια αυξάνει την οργανική ουσία του εδάφους. Παρόμοια συμπεράσματα βρήκε και ο Anger [10]. Τα σταθερά συσσωματώματα ελαττώνουν την αποκόλληση από την επίδραση των σταγόνων της βροχής, και την μεταφορά από την επιφανειακή ροή και επίσης, ελαττώνουν τον σχηματισμό της επιφανειακής κρούστας και στεγανοποίησης, συνηθισμένη διαδικασία στις αρδευόμενες περιοχές, όπως στην περίπτωση της καλλιέργειας του βαμβακιού.

Πίνακας 1. Παρουσίαση αποτελεσμάτων δείκτη αστάθειας του εδάφους σε διάφορες φάσεις κατεργασίας εδάφους κατά το δεύτερο έτος του πειράματος.

Φάση Δειγματοληψίας	Βάθος δειγματοληψίας (cm)	Όργωμα	Καλ/της	Δισκοσβ	Φυτικά λυψη	Χωρίς φυτοκάλυ
πριν κατεργασίας χειμώνα	0-5	0,385	0,27	0,11	0,07	0,24
πριν κατεργασίας άνοιξη	0-5	0,478	0,336	0,17	0,09	0,36
μετά κατεργασίας	0-5	0,677	0,428	0,258	0,13	0,64
μετά κατεργασίας	20	0,622	0,323	0,059	0,04	0,58

### 3.3 Φυτοκάλυψη κατά την διάρκεια του χειμώνα

Τα εδάφη δεν εκτίθενται στην διάβρωση τόσο στην καλλιεργητική περίοδο, όσο κατά την διάρκεια του φθινοπώρου και χειμώνα, διότι στην καλλιεργητική περίοδο καλύπτονται από το θόλωμα της καλλιέργειας. Δεν είναι ασυνήθιστο φαινόμενο για χωράφια να μένουν γυμνά πάνω από τον μισό χρόνο. Η ύπαρξη όμως καλλιέργειας φυτοκάλυψης κατά την διάρκεια του χειμώνα βελτιώνει την κατάσταση. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι στα πειραματικά τεμάχια με χειμερινή καλλιέργεια το όργωμα παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό φυτοκάλυψης και κατά δεύτερο λόγο ο

καλλιεργητής. Αυτό γιατί με το όργωμα γίνεται καλύτερη αναμόχλευση του εδάφους, βελτίωση της δομής του εδάφους και προετοιμασία κατάλληλης σποροκλίνης που πετυχαίνει καλύτερο και ομοιόμορφο φύτευμα του σπόρου.

#### 3.4. Απορροές

Οι απορροές από τις τρεις κατεργασίες εδάφους κατά το δεύτερο έτος του πειράματος (1998-1999) φαίνονται στον Πίνακα 2. Το όργωμα και κατά δεύτερο λόγο ο καλλιεργητής εμφανίζουν μεγαλύτερες απορροές από ότι η δισκοσβάρνα. Τον Ιανουάριο, εμφανίζει ο καλλιεργητής την μεγαλύτερη τιμή απορροών έναντι των δύο άλλων κατεργασιών εδάφους, ενώ στη συνέχεια το όργωμα παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απορροές και ακολουθεί ο βαρύς καλλιεργητής. Αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι οι πρωτογενείς κατεργασίες έγιναν αρχές Ιανουαρίου, ενώ η βροχή σημειώθηκε μέσα Ιανουαρίου. Το όργωμα πιθανόν στην αρχική φυσική βροχοπτώση μετά τις πρωτογενείς κατεργασίες εδάφους δυσκολεύει την δημιουργία μεγάλης απορροής, ενώ με συνεχιζόμενες βροχοπτώσεις δημιουργεί αύξηση της επιφανειακής απορροής.

Στην πραγματικότητα με την εφαρμογή της κατεργασίας, δημιουργείται μία ανώμαλη επιφάνεια εδάφους η οποία στα αρχικά στάδια της βροχής είναι αποτελεσματική στη συγκράτηση του νερού των βροχοπτώσεων. Όσο πιο βαθιά είναι αυτή η κατεργασία, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η συγκράτηση του νερού. Για αυτό και η συμβατική κατεργασία (όργωμα) αρχικά παρουσιάζει και μικρές απορροές. Με την πάροδο όμως του χρόνου, και καθώς η επιφάνεια είναι γυμνή από φυτικά υπολείμματα, παραμένει απροστάτευτη από τις δυσμενείς επιδράσεις των σταγόνων της βροχής. Οι σταγόνες αυτές πέφτουν με δύναμη στο έδαφος και κτυπούν τα επιφανειακά συσσωματώματα προκαλώντας τον θρυμματισμό τους και την αποκοπή λεπτών εδαφικών τεμαχιδίων. Τα τεμαχίδια αυτά συσσωρεύονται σε χαμηλότερα σημεία της επιφάνειας όπου βρίσκονται τα ανοίγματα των εδαφικών πόρων προκαλώντας τελικά το φραγμό τους. Συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι η περαιτέρω μείωση της διήθησης του νερού της βροχής και η δραματική αύξηση της επιφανειακής απορροής.

Τα τεμάχια στα οποία γίνεται φυτοκάλυψη του εδάφους κατά τον χειμώνα έχουν τις μικρότερες απορροές σε σχέση με τα τεμάχια χωρίς χειμερινή φυτοκάλυψη [Πίνακας 2]. Τέλος, οι δύο κατευθύνσεις κατεργασίας του εδάφους και σποράς καταδεικνύουν ότι η κατεύθυνση κατά την κλίση παρουσιάζει γενικά τις μεγαλύτερες απορροές, εκτός από τον Μάρτιο η κατεύθυνση σποράς και κατεργασίας κατά τις ισοϋψείς εμφανίζει μεγαλύτερες απορροές από ότι κατά την κλίση [Πίνακας 2], χωρίς όμως οι τιμές των απορροών τους να παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά.

Συμπερασματικά οι ρυθμοί απορροής που καταγράφηκαν στα τεμάχια με χειμερινή φυτοκάλυψη είναι μικρότεροι από ότι στα τεμάχια χωρίς φυτοκάλυψη κατά την διάρκεια του χειμώνα. Το όργωμα φαίνεται να έχει και τον μεγαλύτερο ρυθμό απορροής και κατά δεύτερο λόγο ο βαρύς καλλιεργητής. Ο ρυθμός απορροής κατά την κλίση παρουσιάζεται κατά πολύ μεγαλύτερος από ότι στην μεταχείριση κατεργασία εδάφους κατά τις ισοϋψείς.

#### 3.5. Απώλειες εδάφους

Οι συνολικές απώλειες εδάφους που μετριόταν από την συγκέντρωση ιζήματος στο αώρημα της απορροής παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 3. Όπως φαίνεται το όργωμα παρουσιάζει την μεγαλύτερη απώλεια εδάφους, και κατά δεύτερο λόγο ο

Πίνακας 2. Μηνιαίες απορροφές σε m<sup>3</sup>/στρέμμα κατά το δεύτερο έτος του πειράματος

ΜΕΤΑΞΕΙΡΙΞΕΙΣ	ΝΟΕ	ΔΕΚΕ	ΙΑΝΟ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΣΥΝΟΛΟ
	(m <sup>3</sup> /στρ)											
Οργωμα χωρίς φυτοκάλυψη και κλίση	1,8	3,39	0,67	1	1,64	1,3	0,88	2,1	4,7	1	1,7	20,1
Οργωμα χωρίς φυτοκάλυψη και ισούψεις	1,5	3,51	0,36	0,9	2,06	1	0,74	0,6	1,4	0,9	1,4	14,4
Οργωμα με φυτοκάλυψη και κλίση	1,2	3,6	0,38	0,8	1,11	1,1	0,61	1,8	4	0,9	1,4	16,9
Οργωμα με φυτοκάλυψη και ισούψεις	1,1	1,9	0,23	0,7	1,7	0,9	0,56	0,4	0,6	0,8	1,2	10,2
Μέσος όρος	1,4	3,1	0,41	0,9	1,63	1,1	0,7	1,2	2,7	0,9	1,4	15,4
Τυπική απόκλιση	0,3	1,05	0,31	0,2	0,04	0,3	0,22	1,2	2,9	0,1	0,3	6,9
Καλλιερητής χωρίς φυτοκάλυψη και κλίση	1,6	3,11	0,87	0,9	1,52	1,3	0,82	1,2	3,7	0,9	1,3	17,2
Καλλιερητής χωρίς φυτοκάλυψη και ισούψεις	1,1	3,16	0,43	0,5	1,89	1,1	0,57	0,3	3	0,7	1,2	14,1
Καλλιερητής με φυτοκάλυψη και κλίση	0,9	2,27	0,42	0,4	0,59	0,5	0,43	0,5	2	0,4	1,2	9,54
Καλλιερητής με φυτοκάλυψη και ισούψεις	0,7	1,19	0,29	0,4	0,55	0,5	0,33	0,3	1,4	0,4	1,1	7,03
Μέσος όρος	1,1	2,43	0,5	0,5	1,14	0,8	0,54	0,6	2,5	0,6	1,2	12
Τυπική απόκλιση	0,7	1,35	0,41	0,3	0,68	0,6	0,35	0,7	1,6	0,4	0,2	7,18
Δισκοβάθρα χωρίς φυτοκάλυψη και κλίση	1,2	1,16	0,39	0,7	0,73	0,7	0,6	1,3	1,6	0,4	1	9,74
Δισκοβάθρα χωρίς φυτοκάλυψη και ισούψεις	1	0,95	0,35	0,3	0,33	0,3	0,51	0,2	1	0,4	0,8	6,19
Δισκοβάθρα με φυτοκάλυψη και κλίση	0,7	1,03	0,17	0,3	0,32	0,5	0,37	0,2	0,6	0,3	0,7	5,31
Δισκοβάθρα με φυτοκάλυψη και ισούψεις	0,4	0,54	0,09	0,2	0,18	0,2	0,21	0,3	0,5	0,3	0,7	3,65
Μέσος όρος	0,8	0,92	0,25	0,4	0,39	0,5	0,42	0,5	0,9	0,3	0,8	6,22
Τυπική απόκλιση	0,6	0,44	0,22	0,3	0,39	0,3	0,28	0,7	0,8	0,1	0,2	4,31
Φυσική βροχόπτωση (mm)	42	149	105	94	162	73	3	24	0	22	0	674
Τεχνητή βροχόπτωση (mm)	0	0	0	0	0	0	14	836	68	44	32	994
Σύνολο βροχόπτωσης (mm)	42	149	105	94	162	73	17	860	68	66	32	1668

καλλιεργητής. Όσον αφορά την μεταχείριση φυτοκάλυψη κατά την διάρκεια του χειμώνα, η μεταχείριση καλλιέργεια φυτοκάλυψης έχει την μικρότερη τιμή σε απώλεια εδάφους. Τέλος, σχετικά με την κατεύθυνση κατεργασίας και σποράς της καλλιέργειας βαμβακιού, η μεταχείριση κατεύθυνση κατεργασίας κατά την κλίση έχει και την μεγαλύτερη τιμή απώλειας εδάφους, σε σχέση με την κατεύθυνση κατεργασίας κατά τις ισοψείς.

Πίνακας 3. Απώλειες εδάφους σε Kg/στρέμμα, κατά τα δύο πρώτα έτη του πειράματος

ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΞΕΙΣ	97-98	98-99	ΜΟ
Όργωμα χωρίς φυτοκάλυψη και κλίση	37,42	71,12	54,27a
Όργωμα χωρίς φυτοκάλυψη και ισοψείς	31,83	56,3	44,07ac
Όργωμα με φυτοκάλυψη και κλίση	34,74	66,74	50,74ace
Όργωμα με φυτοκάλυψη και ισοψείς	25,3	50,44	37,87aceg
Καλλιεργητής χωρίς φυτοκάλυψη και κλίση	33,7	49	41,35acégk
Καλλιεργητής χωρίς φυτοκάλυψη και ισοψείς	21,91	46,93	34,42acégk
Καλλιεργητής με φυτοκάλυψη και κλίση	23,37	39,55	31,46bcégk
Καλλιεργητής με φυτοκάλυψη και ισοψείς	19,79	37,3	28,55bcfgk
Δισκοσβάρνα χωρίς φυτοκάλυψη και κλίση	30,71	23,15	26,93bcfgk
Δισκοσβάρνα χωρίς φυτοκάλυψη και ισοψείς	27,85	19,95	23,9bdfgk
Δισκοσβάρνα με φυτοκάλυψη και κλίση	19,99	19,7	19,85bdfgl
Δισκοσβάρνα με φυτοκάλυψη και ισοψείς	16,32	14,2	15,26bdfhl

Οι τιμές που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για  $p > 0,05$ .

Από την μηχανική ανάλυση των υλικών διάβρωσης (φερτά υλικά) φαίνεται ότι με την επιφανειακή διάβρωση τα υλικά που χάνονται είναι κύρια η άργιλος (46%), λιγότερο η ιλύς (32%) και ακόμα λιγότερο η άμμος (22%). Το στοιχείο αυτό, της απώλειας της άργιλου, δίνει στη διάβρωση το χαρακτήρα της μόνιμης καταστροφής του εδάφους και όχι της απλής αντιστρεπτής υποβάθμισής του. Γιατί η άργιλος είναι από τα σημαντικότερα συστατικά των εδαφών που καθορίζουν την παραγωγικότητά τους με φυσικές διαδικασίες (εδαφογένεση) και είναι αδύνατη η αναπλήρωσή της μέσα σε ορατά χρονικά πλαίσια.

Οι παρατηρήσεις αυτές αιτιολογούνται από το γεγονός ότι καθώς μεταφέρεται το έδαφος λόγω απορροής, η άμμος και κατά δεύτερο λόγο η ιλύς, έχουν την τάση να

καθιζάνουν κατά την διάρκεια της μεταφοράς τους, ενώ η άργιλος για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, βρίσκεται εν αωρήσει μέσα στο νερό, οπότε και απομακρύνεται πρώτη με τα νερά της επιφανειακής απορροής.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι:

- Η συμβατική κατεργασία τον χειμώνα στις αρχικές μικρές βροχοπτώσεις μετά την κατεργασία εδάφους, δυσκολεύει την δημιουργία μεγάλης απορροής ενώ με συνεχιζόμενες βροχοπτώσεις δημιουργεί αύξηση της επιφανειακής απορροής και αύξηση των απωλειών εδάφους.
- Τις μικρότερες τιμές απωλειών εδάφους παρουσιάζει η μεταχείριση που γίνεται η κατεργασία εδάφους με δισκοσβάρνα και παράλληλα κατά τον χειμώνα υπάρχει καλλιέργεια φυτοκάλυψης.
- Με διαδοχικές βροχές μεγάλων εντάσεων η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς χωρίς φυτοκάλυψη πιθανό να είναι αναποτελεσματική για ορισμένα διαστήματα, όσον αφορά την ποσότητα των υλικών απορροής.
- Με την επιφανειακή διάβρωση χάνεται κυρίως η άργιλος και κατά δεύτερο λόγο η ιλύς.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μήτσιος Ιωαν., Πασχαλίδης Χρ. και Παγανιάς Κων. Διάβρωση των εδαφών-Αντιδιαβρωτικά μέτρα προστασίας. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα 1995, σελ. 7,8.
- [2] Τερζούδη Χρ., Γέμτος Θ.Α. Εκτίμηση της επίδρασης των μεθόδων κατεργασίας του εδάφους, της φυτοκάλυψης και της κατεύθυνσης σποράς του βαμβακιού, στην διάβρωση του εδάφους. 1<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Εκδόσεις ΑΘΩΣ, 1998, σελ. 357-366.
- [3] Morgan R.C. 1985. Soil erosion and conservation, Longman Scientific and Technical, England, pp. 143-155.
- [4] Τζιμόπουλος Χρ. 1979. Γεωργική Υδραυλική, Εξαμνημοδιαπνοή-Διηθητικότητα-Ατομικά Δίκτυα. Τόμος Ι, σελ. 59-71.
- [5] Valmis S., Kerkides P., and Aggelides S. 1988. Soil aggregate instability index and statistical determination of oscillation time in water. Soil Science Society of America Journal Volume 52.
- [6] Chaplin F.Li.J.1995. Analysis of random and systematic sampling methods for residue cover measurement. Transactions of the ASAE. Vol 38 (5): 1353-1361.
- [7] Potter K.N., Torbert H.A., Morrison J.E. 1995. Tillage and residue effects on infiltration and sediments losses on Vertisols. Transactions of the ASAE. Vol.38 (5): 1413-1419.
- [8] Lal R., 1979. Influence of tillage methods and residue mulches on soil structure and infiltration rate. In Lal R.: Modification of soil Structure. Section 4, J. Wiley, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, pp. 393-402.
- [9] Jones O.R., Hauser V.L., Popham T.W. 1994. No- Tillage effects on infiltration, runoff, and water conservation on dryland. Transactions of the ASAE. Vol.37(2): 473-479.
- [10] Anger Denis. 1998. Water - stable aggregation of Quebec silty clay soils: Some factors controlling its dynamics. Soil and Tillage Research 47 (1998) 91-96.

# ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΒΟΡΙΟΥ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΑ ΜΕ ΚΑΠΝΟ ΚΑΙ ΝΕΡΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**I.K. Μήτσιος, Ε.Ε. Γκόλια και Ζ.Σ. Ρίζου**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής & Ζωικής Πραγωγής  
Εργαστήριο Εδαφολογίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε 408 επιφανειακά δείγματα (βάθους 0-30cm) εδαφών από διάφορες περιοχές της Θεσσαλίας που καλλιεργούνται με καπνό, προσδιορίστηκε το εκχυλιζόμενο με ζέον ύδωρ βόριο με τη μέθοδο της azomethine-H. Επίσης προσδιορίστηκε η συγκέντρωση βορίου σε 100 δείγματα νερών άρδευσης από τις ίδιες περιοχές με δύο μεθόδους, τόσο με τη μέθοδο της azomethine-H, όσο και με τη μέθοδο της curcumin. Με βάση τη συγκέντρωση του βορίου τα εδάφη και τα νερά κατατάχθηκαν σε κατηγορίες. Στα εδάφη η συγκέντρωση του βορίου κυμάνθηκε από 0,2 – 4,6 ppm και στα νερά από 0,09-1,1 ppm.

## BORON CONCENTRATION LEVELS IN SOILS CULTIVATED WITH TOBACCO PLANTS AND IN IRRIGATION WATER OF THESSALY REGION

**I.K.Mitsios, E.E.Golia and Z.S.Rizou**

University of Thessaly, School of Agriculture Crop & Animal Production  
Laboratory of Soil Science

## ABSTRACT

The boron concentration was determined in 408 surface soil samples (0-30cm depth) from different areas of Thessaly region where tobacco is cultivated, using the method of azomethine-H. Also, the boron concentration was determined in 100 irrigation water samples from the same areas, using two methods, the method of azomethine-H and the method of curcumin. The boron concentration in soils ranged between 0.2 and 4.6 ppm whereas the boron concentration in irrigation waters values ranged between 0.09-1.1 ppm.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βόριο (B) είναι ένα απαραίτητο στοιχείο στην ανάπτυξη των ανώτερων φυτών για το οποίο το εύρος μεταξύ της συγκέντρωσης που αντιστοιχεί σε έλλειψη και τοξικότητα είναι μικρό [1,9]. Η ολική συγκέντρωση του B στα εδάφη κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε B του μητρικού πετρώματος, αλλά ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτού είναι διαθέσιμο στα φυτά. Η διαθεσιμότητα του B στα εδάφη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι κυριότεροι των οποίων είναι το εδαφικό pH και η περιεκτικότητα σε άργιλο, οργανική ουσία και οξυυδροξείδια του σιδήρου και αργιλίου [7]. Σε όξινα εδάφη το διαθέσιμο B βρίσκεται με τη μορφή του αδιάστατου βορικού οξέος  $H_3BO_3$ , το οποίο ως ουδέτερο ηλεκτρικά εκκλύεται εύκολα. Σε αλκαλικά εδάφη το B βρίσκεται κυρίως με τη μορφή του  $[B(OH)_4]^-$ , το οποίο προσροφάται ισχυρότερα με αποτέλεσμα να μειώνεται η διαθεσιμότητά του και η έκπλυσή του [9]. Για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου B έχουν προταθεί πάρα πολλές μέθοδοι, η επικρατέστερη των οποίων είναι η μέθοδος που χρησιμοποιεί ως εκχυλιστικό το ζέον ύδωρ [2]. Για το προσδιορισμό του B στο εδαφικό εκχύλισμα χρησιμοποιούνται χρωματομετρικές μέθοδοι ή πλάσμα ατομικής εκπομπής. Από τις χρωματομετρικές μεθόδους η μέθοδος της azomethine-H είναι από τις πιο αποτελεσματικές και ευκολόχρηστες, τείνοντας να αντικαταστήσει τις υπόλοιπες μεθόδους, όπως για παράδειγμα τη μέθοδο της camphine ή της curcumine.

Διεθνώς έχουν αναφερθεί πολλές περιπτώσεις κυρίως έλλειψης του B στην καλλιέργεια του καπνού [6]. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν πολλά δεδομένα αναφερόμενα στην συγκέντρωση του B σε εδάφη καλλιεργούμενα με καπνό, καθώς επίσης και στη συγκέντρωση B των νερών άρδευσης της καλλιέργειας αυτής. Έτσι, σκοπός αυτής της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης B εδαφών, από διάφορες περιοχές της Θεσσαλίας που καλλιεργούνται με καπνό, καθώς και των νερών άρδευσης ώστε να εκτιμηθεί η κατάσταση θρέψης της καλλιέργειας αυτής με B.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ελήφθησαν 408 επιφανειακά (βάθους 0-30cm) δείγματα εδάφους από περιοχές της Θεσσαλίας, στις οποίες καλλιεργείται καπνός. Τα εδαφικά δείγματα αεροξηράνθηκαν στο εργαστήριο και διήλθαν από κόσκινο διαμέτρου 2mm. Στα εδάφη πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εδαφολογικές αναλύσεις [13]: προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης με τη μέθοδο Βουγιούκου, της οργανικής ουσίας με τη μέθοδο των Walkley-Black, του pH σε αιώρημα εδάφους:νερού, σε αναλογία 1:1, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς και του % ποσοστού του ανθρακικού ασβεστίου με τη μέθοδο Bernard.

Για τον προσδιορισμό του βορίου στα εδάφη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της azomethine-H [8]. Η μέθοδος αυτή, περιλαμβάνει δύο στάδια: Αρχικά την εκχύλιση του βορίου από το έδαφος και κατόπιν το φασματοφωτομετρικό προσδιορισμό του έγχρωμου συμπλόκου που σχηματίζεται ανάμεσα στο βορικό οξύ σε υδατικό περιβάλλον και το αντιδραστήριο της azomethine-H.

Για την εκχύλιση του βορίου από τα εδάφη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της εκχύλισης με ζεστό νερό [2,3]. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε σε ειδική συσκευή πέψης του Οίκου Gerhardt των έξι θέσεων. Χρησιμοποιήθηκαν ειδικές γυάλινες σφαιρικές φιάλες, απαλλαγμένες βορίου και κάθεται ψυκτήρες επαναροής.

Για την ανάπτυξη του χρώματος χρησιμοποιήθηκε 1mL από το εκχύλισμα και αναμίχθηκε με 2mL ρυθμιστικού διαλύματος ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  και  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) και 2mL διαλύματος azomethine-H (σε 1% διάλυμα L-ασκορβικού οξέος). Σχηματίστηκε σύμπλοκο έντονου κίτρινου χρώματος, το οποίο προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 420nm, με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου Shimadzu UV-120.

Για τον προσδιορισμό του βορίου στα νερά άρδευσης χρησιμοποιήθηκε επίσης η μέθοδος της azomethine-H

Σε 50 δείγματα νερών άρδευσης πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της συγκέντρωσης του βορίου και με τη μέθοδο της curcumin [3]. Η μέθοδος της curcumin στηρίζεται στο φασματοφωτομετρικό προσδιορισμό έγχρωμου συμπλόκου (Ροζοκυανίνης) που σχηματίζεται ανάμεσα στο βορικό οξύ σε αλκοολικό περιβάλλον, στο οξαλικό οξύ και στο αντιδραστήριο της curcumin, σε μήκος κύματος 550nm.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών (n=408):

Πίνακας 1: Φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών

Χημική Παράμετρος	% Άργιλος	pH (1:1)	% Οργανική ουσία	% $\text{CaCO}_3$	Ηλεκ.Αγωγιμότητα EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
Ελάχιστη τιμή	25	4,3	0,9	2,9	205
Μέγιστη τιμή	38	8,9	2,1	15,6	987
Μέσος Όρος		6,5	1,5	10,5	652

Στα εδαφικά δείγματα η συγκέντρωση του βορίου που προσδιορίστηκε κυμαίνεται από 0,2 ppm μέχρι 4,6 ppm. Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφών [14] :

Πίνακας 2: Κατάταξη των εδαφών (n=408) με βάση την τιμή του βορίου (Reisenauer et al., 1973)

Συγκέντρωση βορίου στο έδαφος (ppm)	Χαρακτηρισμός	Ποσοστά % των εδαφικών δειγμάτων (n=408)
<1	Μη ικανοποιητική για την ανάπτυξη των φυτών (Τροφοπενίες Β)	31,8
1-5	Συνήθως ικανοποιητική για την ανάπτυξη των φυτών	68,2
>5	Τοξική για όλα τα φυτά	-

Από το σύνολο των περιοχών που μελετήθηκαν, επελέγησαν ενδεικτικά τρεις χαρτογραφικές μονάδες οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή Λεονταρίου Καρδίτσας. Τα σύμβολα των μονάδων αυτών [4,15] περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους (βάθος 0-150cm), την υδρομορφία, τη διάβρωση, την κλίση, την ύπαρξη ή όχι αντίδρασης ανάμεσα στο  $\text{CaCO}_3$  και στο  $\text{HCl}$ , την εδαφογενετική τάξη και την υποτάξη, καθώς και την εδαφική ομάδα και την υποομάδα. Οι χαρτογραφικές μονάδες οι οποίες περιγράφονται στο θεματικό χάρτη 1 έχουν τα εξής εδαφολογικά χαρακτηριστικά:

**B434/A00 Axht):** Η χαρτογραφική αυτή μονάδα περιέχει, σε βάθος 0-25cm, κυρίως εδάφη αμμοαργιλοπηλώδη (SCL), αργιλοπηλώδη (CL) και ιλυοαργιλοπηλώδη (SiCL). Περιέχει εδάφη τα οποία στραγγίζουν καλά, είναι ελαφρά διαβρωμένα και έχουν κλίση 2-6%. Είναι αλλουβιακά εδάφη (Alfisol) και ανήκουν στην υποομάδα των *typic Halpoxeralfs*.

**C435/A01 Vxct:** Περιλαμβάνει, σε βάθος 0-25cm, εδάφη αμμοαργιλώδη (SC), αργιλώδη (C) και ιλυοαργιλώδη (SiC). Τα εδάφη αυτά στραγγίζουν μέτρια, είναι μη διαβρωμένα έως ελαφρά διαβρωμένα και έχουν κλίση 6-12%. Είναι εδάφη Vertisols και ανήκουν στην υποομάδα των *typic Chromoxererts*.

**A 3\*3\*4\*/A00 Eoxt :** Περιέχει εδάφη, σε βάθος 0-25cm, SCL, CL & SiCl με ποσοστό σε χαλίκια <60%. Είναι εδάφη τα οποία στραγγίζουν πολύ καλά, δεν εμφανίζουν διάβρωση και έχουν κλίση 0-2%. Είναι εδάφη Entisols και ανήκουν στην υποομάδα *typic Chromoxererts*.

Στο θεματικό χάρτη 1 παρουσιάζεται η κατανομή των συγκεντρώσεων του βορίου στις παραπάνω εδαφολογικές μονάδες που μελετήθηκαν. Για την κατασκευή του ψηφιακού αυτού θεματικού χάρτη χρησιμοποιήθηκαν γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) [5,11]. Ως τοπογραφικό υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν οι λεπτομερείς εδαφολογικοί χάρτες (κλίμακας 1:20.000) οι οποίοι κατασκευάστηκαν στο Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας (I.X.T.E.A.)

Στο χάρτη αυτό παρουσιάζονται με κουκκίδες οι περιοχές δειγματοληψίας. Από περιοχή 375 στρεμμάτων στην οποία καλλιεργείται καπνός (ποικιλίες: Virginia, Burley και Ελασσόνα), συνελέγησαν συνολικά 23 δείγματα εδάφους τα οποία κατανέμονται ως εξής: 18 στη χαρτογραφική μονάδα B434/A00 Axht, 4 στη χαρτογραφική μονάδα C435/A01 Vxct και 1 στη χαρτογραφική μονάδα A 3\*3\*4\*/A00 Eoxt. (η κατανομή του αριθμού των δειγμάτων κατά εδαφολογική μονάδα έγινε με βάση την έκταση των περιοχών στις οποίες καλλιεργείται καπνός).

Συγκεκριμένα, στη χαρτογραφική μονάδα B434/A00 Axht η ελάχιστη τιμή του βορίου ήταν στα όρια ανίχνευσης της μεθόδου της azomethine-H, ενώ η μέγιστη 3,19 ppm (μέσος όρος: 1,52 ppm). Πρέπει να σημειωθεί ότι στο 71% των δειγμάτων η συγκέντρωση του βορίου ανέρχεται μέχρι το 1 ppm, ενώ στο 29 % αυτών κυμαίνεται από 1 ppm μέχρι 5 ppm.

Στη χαρτογραφική μονάδα C435/A01 Vxct η ελάχιστη τιμή του βορίου ήταν επίσης στα όρια ανίχνευσης της μεθόδου της azomethine-H, ενώ η μέγιστη 2,85 ppm, με μέσο όρο τιμών 1 ppm. Στο 33% των δειγμάτων η συγκέντρωση του βορίου φτάνει μέχρι το 1 ppm, ενώ στο 67% των δειγμάτων κυμαίνεται από 1 ppm μέχρι 5 ppm.

Στη χαρτογραφική μονάδα A 3\*3\*4\*/A00 Eoxt το 100% των δειγμάτων βρίσκεται στην περιοχή συγκεντρώσεων βορίου από 1 ppm μέχρι 5 ppm.

Στα εδάφη στα οποία η τιμή του pH είναι χαμηλή παρουσιάζονται μικρότερες συγκεντρώσεις βορίου, σε σχέση με τη συγκέντρωση αυτού σε εδάφη με υψηλότερη τιμή pH. Σε αλκαλικά εδάφη το B προσροφάται ισχυρότερα με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η συγκέντρωσή του [9].

Οι τιμές της συγκέντρωσης του βορίου στα δείγματα των νερών άρδευσης κυμαίνονται από 0,09 ppm μέχρι 1,1 ppm.

Στον πίνακα 3, παρουσιάζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες συγκεντρώσεις του B στα νερά που αναλύθηκαν. Επίσης παρουσιάζονται οι τιμές του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECw).

Πίνακας 3: Αποτελέσματα μετρήσεων σε δείγματα νερών άρδευσης της περιοχής Θεσσαλίας.

Παράμετρος μέτρησης	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση Τιμή
PH	6,9	7,5	7,2
Ecw (μS/cm)	197,7	1110	989
B(ppm)	0,09	1,1	0,6

Σε 50 δείγματα νερών άρδευσης προσδιορίστηκε η συγκέντρωση του βορίου τόσο με τη μέθοδο της azomethine-H όσο και με τη μέθοδο της curcumin, επειδή οι τιμές της συγκέντρωσης του B σε μερικά εδάφη ήταν αρκετά υψηλές (>4 ppm). Για το λόγο αυτό, κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν οι αναλύσεις των νερών άρδευσης και με τις δύο μεθόδους, προκειμένου να παραχθούν αξιόπιστα και ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τις τιμές της συγκέντρωσης του B και να προβλεφθεί ενδεχόμενη ανύψωση της τιμής της συγκέντρωσης του B στο έδαφος, μετά την άρδευση του καπνού.

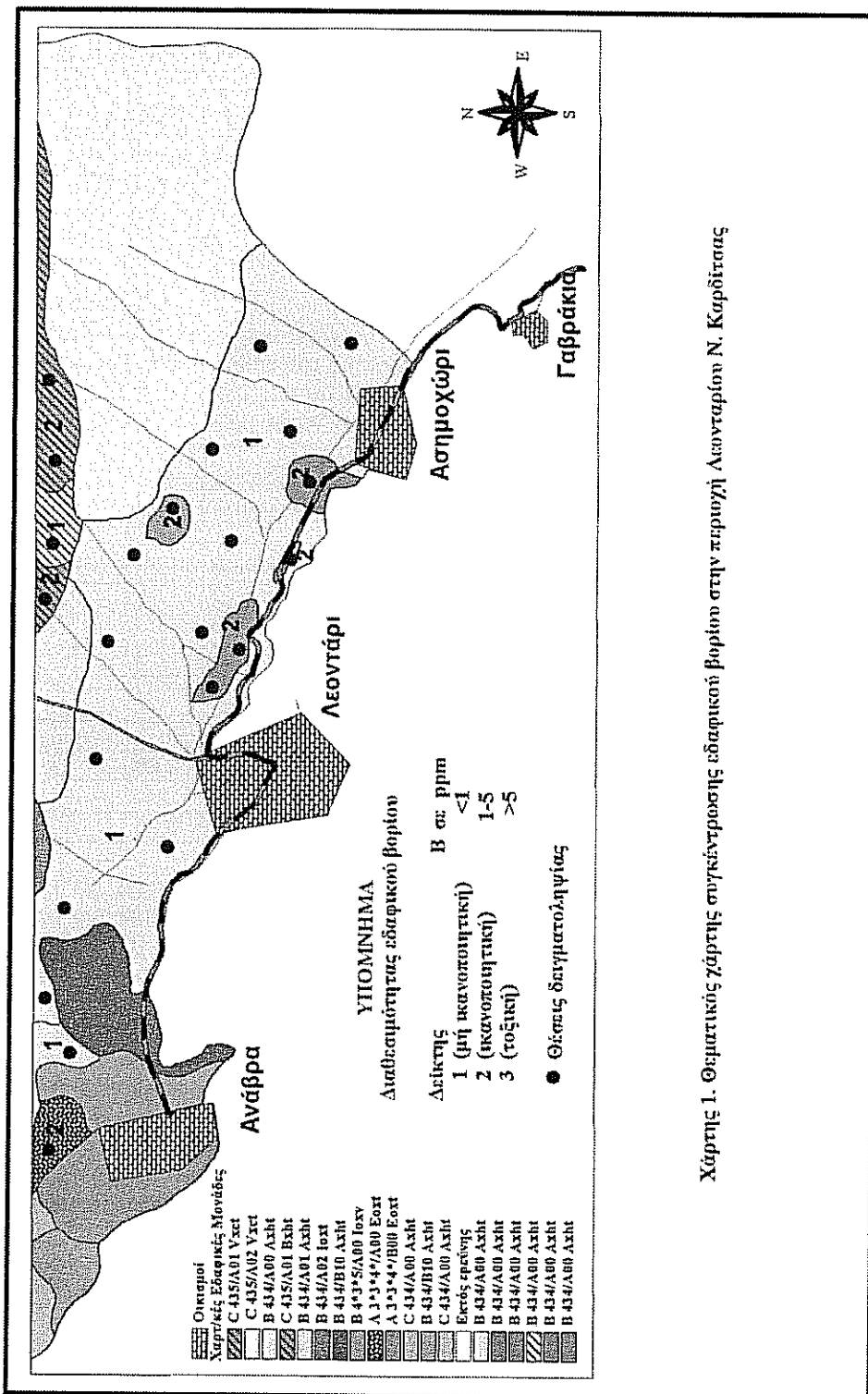
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των 50 δειγμάτων νερού με τις δύο μεθόδους παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Σύγκριση μεθόδων προσδιορισμού της συγκέντρωσης του βορίου σε νερά άρδευσης.

	B ( Μέθοδος azomethine-H)	B ( Μέθοδος curcumin )
Μέγιστη Τιμή (ppm)	0,09	0,09
Ελάχιστη Τιμή (ppm)	0,8	1,1
Τυπική Απόκλιση	0,206	0,26

Με την εφαρμογή του στατιστικού *t*-Test (Δοκιμασία Student) υπολογίστηκε ότι  $t=0,04$  (two-tailed paired *t*-test). Από την σύγκριση της τιμής αυτής με την τιμή του *t* των στατιστικών πινάκων [12], προκύπτει ότι για στάθμη εμπιστοσύνης 99% και για βαθμούς ελευθερίας 49, δεν υπάρχουν μεταξύ των δύο μεθόδων στατιστικές σημαντικές διαφορές.

Στα νερά άρδευσης πραγματοποιήθηκε κατάταξη σε κατηγορίες ανάλογα με την ανθεκτικότητα των φυτών στις συγκεντρώσεις B [10,16]. Με βάση την κατάταξη αυτή, ο καπνός ανήκει στην κατηγορία των μετρίως ανθεκτικών φυτών τα οποία αντέχουν σε συγκέντρωση B από 2 μέχρι 4 ppm. Η περιοχή αυτή των συγκεντρώσεων είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τις τιμές των συγκεντρώσεων που προσδιορίστηκαν στα νερά άρδευσης. Επομένως σε όλη την περιοχή μελέτης δεν αναμένεται να προκληθούν προβλήματα στην καλλιέργεια του καπνού από τα νερά που χρησιμοποιούν οι παραγωγοί για άρδευση.



#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε προκύπτουν τα εξής:

- Στα εδάφη που η συγκέντρωση Β είναι χαμηλότερη του 1 ppm (ποσοστό 31,8% των εδαφών) αναμένεται να παρατηρηθούν στα καλλιεργούμενα φυτά προβλήματα τροφοπενίας Β.
- Από τις τιμές των συγκεντρώσεων Β που υπολογίστηκαν στα εδάφη που μελετήθηκαν προκύπτει ότι σε καμία περίπτωση δεν παρατηρείται υπέρβαση της τιμής των 5 ppm, οπότε δεν αναμένεται να παρατηρηθούν προβλήματα τοξικότητας βορίου.
- Στα νερά άρδευσης η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης Β που προσδιορίστηκε είναι 1,1 ppm. Η καλλιέργεια του καπνού, είναι ανθεκτική σε αυτά τα επίπεδα συγκεντρώσεων και επομένως δεν αναμένεται να παρατηρηθούν προβλήματα τοξικότητας βορίου, εξαιτίας των νερών που χρησιμοποιούνται για την άρδευση.
- Από την σύγκριση των μεθόδων της azomethine-H και της curcumin στα νερά άρδευσης της περιοχής που μελετήθηκε προκύπτει ότι μεταξύ των μεθόδων δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος 96/T/35, που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Berger, K.C. and Truog, E. 1939. Boron determination in soils and plants. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* (II), 540-545.
2. Bingham, F.T. 1982. Boron. Pp. 431-447 In A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (Eds.) *Methods of Soil Analysis Part II. Chemical and Microbiological Properties* 2<sup>nd</sup> Ed. ASA, SSSA, Madison WI.
3. Dible, W.T., E. Truog, and K.C. Berger. 1954. Boron determination in soils and plants. *Anal. Chem.* (26), 418-421.
4. Εδαφολογική Μελέτη Νομού Καρδίτσας, 1991. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας.
5. Floras, S.A. and Sgouras, I.D. 2000. Sustainable soil and crop management in the Larissa area, Greece, using remote sensing and GIS. *3<sup>rd</sup> International Congress of ESSC. "Man and Soil in the third millenium"*. Valencia, Spain.
6. Gurta, U.C. and W.J. Arsenault. 1985. Boron and Zinc Nutrition of tobacco grown in Prince Edward Island. *Can. J. Soil Sci.* (66), 67-71.
7. Gupta, U.C., Y.W. Jame, C.A. Cambell, A.J. Leyshon, and W. Nicholaichuk. 1985. Boron Toxicity and Deficiency: A Review. *Can. J. Soil Sci.* (65), 381-409.
8. John, M.K., H.H. Chuah, and J.H. Neufeld. 1975. Application of improved azomethine-H method to the determination of boron in soils and plants. *Anal. Lett.* (8), 559-568.
9. Keren, R. and F.T. Bingham. 1985. Boron in Water, Soils, and Plants. 1985. *Advances in Soil Sci.* (1), 229-275.
10. Μήτσιος, Ι.Κ. 1996. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα (Με Νάτριο) Εδάφη. Ποιοτική Κατάταξη των νερών Άρδευσης. Αθήνα.
11. Μήτσιος, Ι. Κ. 2000. Σύγχρονες τάσεις της εδαφολογικής επιστήμης. Ποιότητα εδάφους, GIS, τηλεπισκόπηση, διαχείριση εδαφικών πόρων. Πρακτικά Ημερίδας. Εδαφολογικοί χάρτες Ν. Λάρισας. Λάρισα .

12. Miller, J.C. and Miller, J.N. 1993. Statistics for Analytical Chemistry. Third Edition. Ellis Horwood PTP Prentice Hall.
13. Page, A. L., Miller, H. R. and Keeney, R. D. 1982. Methods of Soil Analysis Part II-Chemical and Microbiological Properties Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin USA
14. Reisenauer, H.M., L.M., Walsh, and R.G. Hoefft. 1973. Testing Soils for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. Pp. 173-200 In: L.M. Walsh and J.M. Beaton (Eds.) Soil Testing and Plant Analysis, SSSA, Madison WI.
15. Soil Survey Staff (1975). Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Soil Conservation Service, USDA. Agr. Handbook No 436. Washington, D.C. 20402. USA.
16. Wilcox, L.V. and Durum, W.H. 1967. Irrigation of Agricultural Lands. Amer. Soc. Agron. Monograph, 11. Madison, Wisc.

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΚΑΙ ΝΕΡΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

I.K. Μήτσιος, E.E. Γκόλια και E.Σ. Χριστοδούλου

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής & Ζωικής Παραγωγής,  
Εργαστήριο Εδαφολογίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε γεωργικά εδάφη της Θεσσαλίας (από τους νομούς Καρδίτσας, Λάρισας και Τρικάλων) στα οποία καλλιεργείται καπνός, προσδιορίστηκαν τα βαρέα μέταλλα Cd, Pb, Cu, Zn, Fe και Mn με εκχυλιστικό διάλυμα DTPA 0,005M. Σκοπός της μελέτης είναι η καταγραφή των επιπέδων των βαρέων μετάλλων σε χαρακτηριστικές χαρτογραφικές μονάδες. Ο προσδιορισμός των διαθέσιμων ποσοτήτων των βαρέων μετάλλων έγινε σε 408 επιφανειακά εδαφικά δείγματα (0-30cm) και σε 100 δείγματα νερών άρδευσης από τους ίδιους νομούς. Κατασκευάστηκαν έξι ψηφιακοί θεματικοί λεπτομερείς χάρτες (GIS) στους οποίους απεικονίζεται η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα εδάφη που μελετήθηκαν.

## DETERMINATION OF HEAVY METALS IN SOILS AND IRRIGATION WATER OF THESSALY REGION

I.K. Mitsios, E.E. Golia and E.S. Christodoulou

University of Thessaly, School of Agriculture Crop & Animal Production  
Laboratory of Soil Science

## ABSTRACT

The concentration of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Fe and Mn) was determined in 408 surface soil samples (0-30cm depth) using 0.005M DTPA extracting solution. The soils were sampled from different areas of Thessaly region (Karditsa, Larissa and Trikala), where tobacco is cultivated. Also the concentration of heavy metals in 100 irrigation water samples, from the same areas, was determined. Six soil digitized discrete maps were constructed where the contamination of the heavy metals is shown.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται τα μεταλλικά στοιχεία που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από του σιδήρου. Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται από τους πλέον επικίνδυνους ρύπους τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για το περιβάλλον, επειδή οι ενώσεις αυτών δεν αποικοδομούνται, αλλά παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα [2,8,13,23]. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε τοξικά βαρέα μέταλλα καθορίζει το μέγεθος της υποβάθμισης των εδαφών και συνεπάγεται τον κίνδυνο ενδεχόμενης μεταφοράς, διαμέσου της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο. Ιδιαίτερα ο καπνός έχει την τάση να προσλαμβάνει από το έδαφος σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων και κυρίως καδμίου (μέχρι 3,4 mg Cd/Kg ξηρής ουσίας καπνού)[1,4-6,15,16,22,26].

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) είναι ένα απαραίτητο εργαλείο, το οποίο καταγράφει, αποθηκεύει, αναλύει ιδιότητες των εδαφών, αλλά και μπορεί να απεικονίσει περιπτώσεις υποβάθμισης των εδαφών και γενικά του περιβάλλοντος [17]. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η καταγραφή των επιπέδων των βαρέων μετάλλων στις περιοχές της Θεσσαλίας στις οποίες καλλιεργείται καπνός και η δημιουργία λεπτομερών θεματικών χαρτών (κλίμακας 1:20.000) με τη βοήθεια του GIS, ώστε να απεικονίζεται η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων και ο βαθμός ρύπανσης των περιοχών μελέτης.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα εδαφικά δείγματα αμέσως μετά την συλλογή τους, μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου αεροξηράθηκαν, λειοτριβήθηκαν και διήλθαν από κόσκινο (2mm). Ακολούθησαν οι εξής εδαφολογικές αναλύσεις [20]: προσδιορισμός του pH σε αιώρημα εδάφους-νερού με αναλογία 1:1, προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης με τη μέθοδο του Βουγιούκου, της οργανικής ουσίας με την τροποποιημένη μέθοδο των Walkey-Black και της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων με τη χρήση διαλύματος οξικού νατρίου με pH=8,2.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των μετάλλων που είναι διαθέσιμα στο έδαφος χρησιμοποιήθηκε εκχυλιστικό διάλυμα DTPA [11]. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των μετάλλων έγινε στο εκχύλισμα με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου Ατομικής Απορρόφησης Perkin Elmer 3300. Για τον προσδιορισμό των μετάλλων χρησιμοποιήθηκαν μονοστοιχειακές λυχνίες Κοίλης Καθόδου (HCL) και πρότυπα διαλύματα Titrisol του ενός γραμμαρίου. Ο προσδιορισμός των στοιχείων έγινε στα παρακάτω μήκη κύματος: Cu: 324,8nm, Fe:248,3nm, Mn:279,5nm,Zn:213,9nm, Cd:228,8nm και Pb:283,3nm.

Για τον έλεγχο των μεθόδων προσδιορισμού, την ακρίβεια και επαναληψιμότητά τους χρησιμοποιήθηκαν πολυστοιχειακά πρότυπα διαλύματα (mixed Standard Solutions). Για τον έλεγχο της ανάκτησης των αναλυτικών μεθόδων χρησιμοποιήθηκε συνθετικό έδαφος BCR (Community Bureau of Reference) (CRM 141R, calcareous loam soil).

Για τον προσδιορισμό του χαλκού, του σιδήρου, του μαγγανίου και του ψευδαργύρου χρησιμοποιήθηκε εξάρτημα φλόγας (flame AAS) και μίγμα αερίων αέρα-αιθινίου. Στην περίπτωση των στοιχείων καδμίου και μολύβδου χρησιμοποιήθηκε εξάρτημα ατομοποιητή θερμαινόμενου φούρνου γραφίτη (HGA-AAS) [3,10,21,27] επειδή οι συγκεντρώσεις τους στα εδαφικά εκχυλίσματα ήταν μικρότερες από τα όρια αντίχενυσης με χρήση φλόγας [7,14,25].

Ο Θερμανόμενος Φούρνος Γραφίτη είναι του Οίκου Perkin Elmer μοντέλο 600, με διορθωτή θορύβου λυχνία δευτερίου και είναι συνδεδεμένος με αυτόματο αναλυτή AS-60, 40 θέσεων.

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των διαλυμένων βαρέων μετάλλων στα νερά άρδευσης, το δείγμα αμέσως μετά τη δειγματοληψία διήλθε από ηθμό διαμέτρου 0,45μm. Κατόπιν ρυθμίστηκε η τιμή του pH έτσι ώστε να είναι μικρότερο της τιμής 2, με διάλυμα HNO<sub>3</sub> (1:1) [19].

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η κατάταξη του συνόλου των εδαφικών δειγμάτων (n=408) των νομών Καρδίτσας, Λάρισας και Τρικάλων με βάση την συγκέντρωση των μετάλλων. Η κατάταξη των ιχνοστοιχείων Cu, Zn, Mn και Fe έγινε με βάση τους πίνακες [12, 18] που παρουσιάζονται στα αντίστοιχα υπομνήματα των χαρτών.

Στους ψηφιακούς θεματικούς χάρτες 1 έως 6 απεικονίζεται η συγκέντρωση από τα βαρέα μέταλλα στις χαρτογραφικές μονάδες B434/A00 Aχh, C435/A01 Vxc και A3\*3\*4\*/A00 Eox. Στο χάρτη 1 απεικονίζονται τα επίπεδα του διαθέσιμου χαλκού, ενώ στο χάρτη 2 απεικονίζονται τα επίπεδα του διαθέσιμου ψευδαργύρου .

Στους χάρτες 3 και 4 απεικονίζονται τα επίπεδα του διαθέσιμου σιδήρου και μαγγανίου αντίστοιχα. Στις ίδιες περιοχές οι συγκεντρώσεις και των δύο στοιχείων είναι υψηλές, γιατί τα εδάφη αυτά έχουν όξινο pH [2,8]. Ασβέστωση των όξινων εδαφών θα ήταν δυνατό να οδηγήσει σε μείωση των τιμών των συγκεντρώσεων των μετάλλων Fe και Mn.

Στο χάρτη 5 απεικονίζονται τα επίπεδα του διαθέσιμου καδμίου τα οποία σε όλες τις περιπτώσεις είναι της τάξης των ppb. Στο χάρτη 6 απεικονίζονται τα επίπεδα του μολύβδου.

Στη χαρτογραφική μονάδα B434/A00 Aχh οι συγκεντρώσεις των μετάλλων κατανέμονται ως εξής:

Το 62% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Cd από 15 ως 30 ppb και το 38% από 45 ως 60 ppb. Η συγκέντρωσή του Cd κυμαίνεται από 15,3 ppb μέχρι 53,8 ppb .

Το 66% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Pb από 250 ως 500 ppb, το 7% από 500 ως 750 ppb, το 14% από 750 ως 1000 ppb, ενώ το 13% εμφανίζει συγκέντρωση μεγαλύτερη από 1000 ppb. Η συγκέντρωσή του Pb κυμαίνεται από 260,5 ppb μέχρι 1088 ppb. Το 80% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Zn από 0 ως 1 ppm και το 20% από 1 ως 3ppm. Η συγκέντρωσή του Zn κυμαίνεται από 0,4 ppm μέχρι 1,2 ppm.

Το 13% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Cu από 0,3 ως 0,9 ppm, το 27% από 0,9 ως 1,5 ppm και το 60% από 1,5 ως 3 ppm. Η συγκέντρωσή του Cu κυμαίνεται από 0,8 ppm μέχρι 2,9 ppm . Το 58% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Mn από 5 ως 15 ppm, το 17% από 15 ως 30 ppm, το 8% από 30 ως 50ppm, ενώ το 17% εμφανίζει τιμή μεγαλύτερη από 50 ppm . Η συγκέντρωσή του Mn κυμαίνεται από 5,3 ppm μέχρι 65,5 ppm . Το 3% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Fe από 0 ως 3 ppm, το 58 % από 3 ως 12 ppm, το 22% από 12 ως 25 ppm και το 17% από 25 ως 50 ppm.. Η συγκέντρωσή του Fe κυμαίνεται από 2,2 ppm μέχρι 49,6 ppm .

Στη χαρτογραφική μονάδα C435/A01 Vxc οι συγκεντρώσεις των μετάλλων κατανέμονται ως εξής:

Το 67% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Cd από 30 ως 45 ppb και το 33% εμφανίζει συγκέντρωση μεγαλύτερη από 75 ppb. Η συγκέντρωσή του Cd κυμαίνεται από 31,1ppb μέχρι 90,8 ppb .

Το 67% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Pb από 250 ως 500 ppb και το 33% από 750 ως 1000 ppb. Η συγκέντρωσή του Pb κυμαίνεται από 255,2 ppb μέχρι 930 ppb .

Το 100% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Zn από 0 ως 1 ppm. Η συγκέντρωσή του Zn κυμαίνεται, από 0,5ppm μέχρι 0,8 ppm .

Το 33% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Cu από 0,9 ως 1,5 ppm και το 67% από 1,5 ως 3 ppm. Η συγκέντρωσή του Cu κυμαίνεται από 1,4 ppm μέχρι 2,7 ppm. Το 82% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Mn από 5 ως 15 ppm και το 18% από 15 ως 30 ppm Η συγκέντρωσή του Mn κυμαίνεται από 7,4 ppm μέχρι 20,9 ppm. Το 67% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Fe από 3 ως 12 ppm και το 33% από 12 ως 25 ppm. Η συγκέντρωσή του Fe κυμαίνεται, από 6,8 ppm μέχρι 24,4 ppm .

Στη χαρτογραφική μονάδα A3\*3\*4\*/A00 Εοx οι συγκεντρώσεις των μετάλλων κατανέμονται ως εξής: το 100% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Cd από 60 ως 75 ppb. Η συγκέντρωσή του Cd κυμαίνεται από 61,5 ppb μέχρι 73,4 ppb .Το 100% των δειγμάτων έχει συγκέντρωση Pb από 250 ως 500 ppb. Η συγκέντρωσή του Pb κυμαίνεται από 342 ppb μέχρι 470 ppb . Η συγκέντρωσή του Zn κυμαίνεται από 0,6 ppm μέχρι 0,8 ppm, του Cu από 1,6 ppm μέχρι 1,8 ppm, του Mn από 6,1 ppm μέχρι 7,9 ppm, ενώ η συγκέντρωσή του Fe κυμαίνεται από 4 ppm μέχρι 11,2 ppm.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν στην εργασία αυτή, αντιπροσωπεύουν τη συγκέντρωση των μετάλλων που είναι διαθέσιμη στο έδαφος. Σε καμία περίπτωση η συγκέντρωση δεν ξεπέρασε την καθορισμένη από την Ευρωπαϊκή Ένωση συγκέντρωση των μετάλλων στο έδαφος (Cd:3ppm, Cu:140ppm, Pb: 300ppm, Zn: 300ppm) (ΦΕΚ 641/07.08.1991)

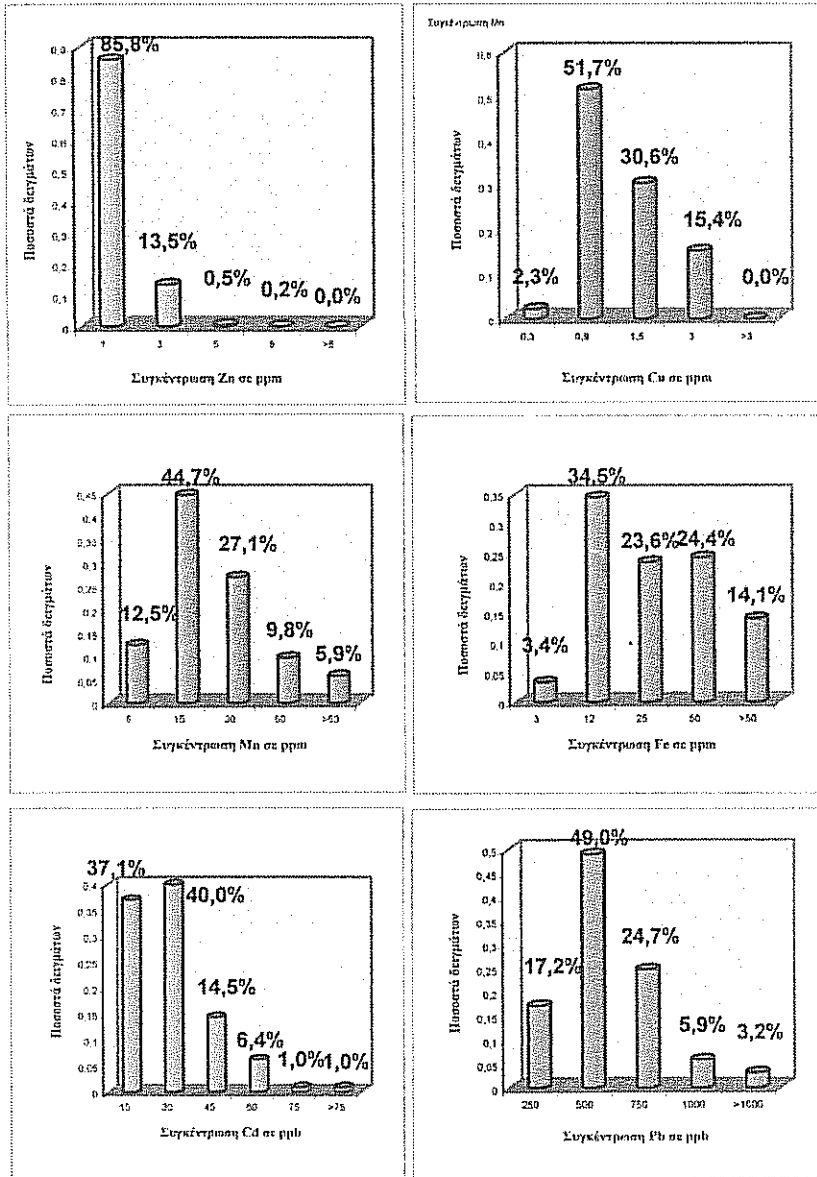
Οι διαθέσιμες ποσότητες των μετάλλων στα εδάφη που μελετήθηκαν είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές που παρουσιάζονται σε εδάφη των ίδιων περιοχών [9] (στην περιοχή της Λάρισας, αναφέρονται συγκεντρώσεις Cd: 0,27ppm & Pb: 2,55ppm τιμές), ή περιοχών στις οποίες καλλιεργείται καπνός [24] (Cd: 1,01ppm).

Παράλληλα με τα εδαφικά δείγματα συνελέγησαν 100 δείγματα νερού από ισάριθμες γεωτρήσεις, τα οποία χρησιμοποιούνται για την άρδευση καπνού. Στα νερά αυτά έγινε ο προσδιορισμός του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της συγκέντρωσης των διαλυμένων βαρέων μετάλλων. Η μέγιστη, η ελάχιστη, καθώς και η μέση τιμή αυτών, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

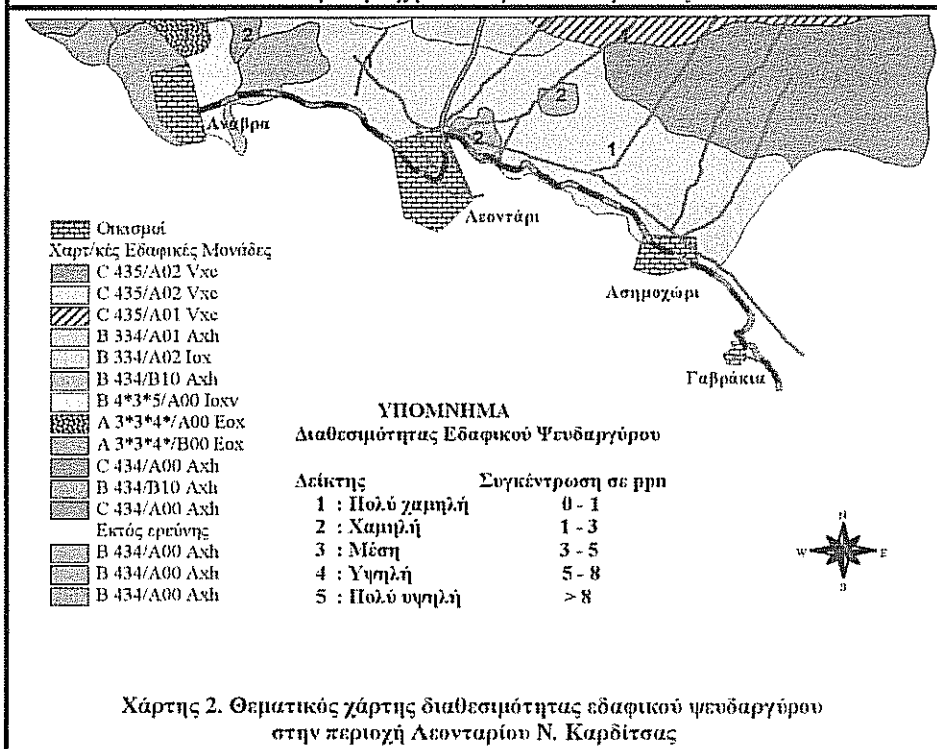
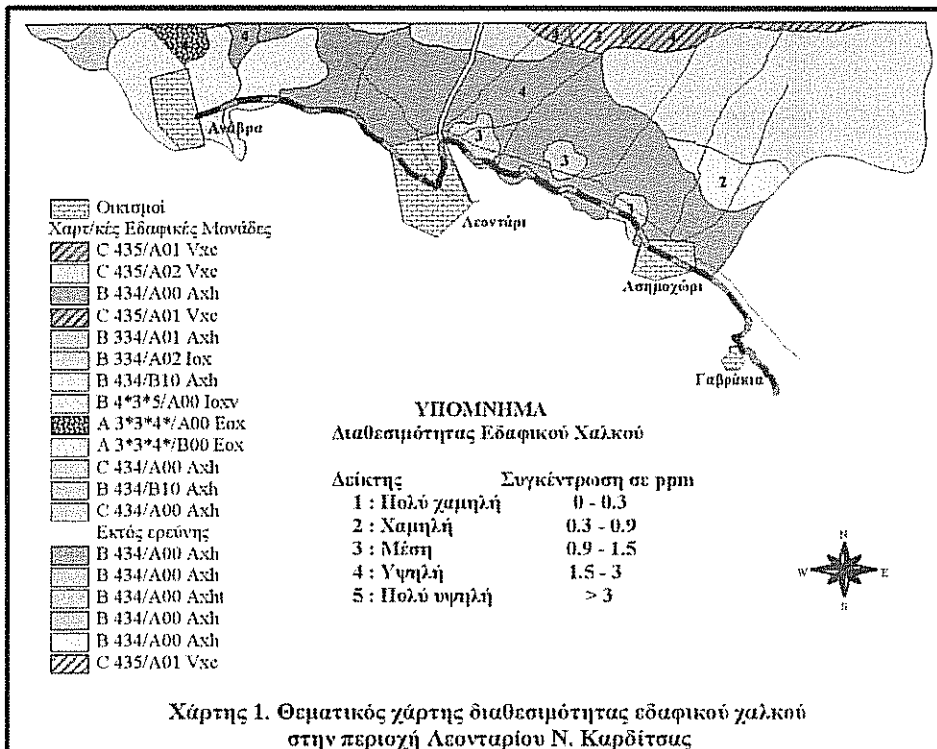
Πίνακας 1: Αποτελέσματα μετρήσεων σε δείγματα νερών άρδευσης της περιοχής Θεσσαλίας.

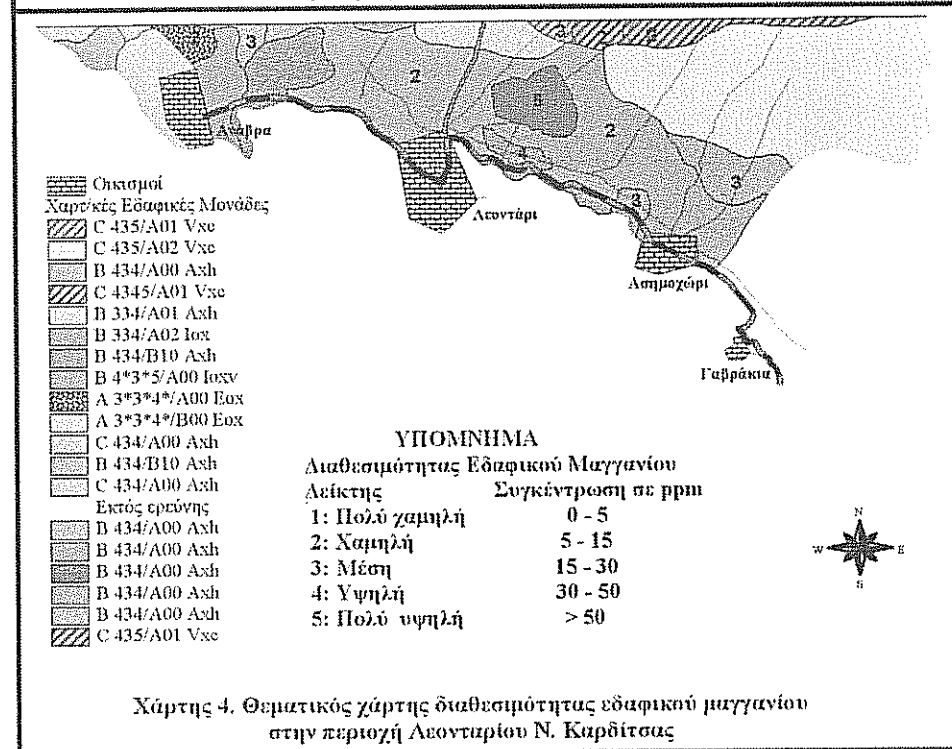
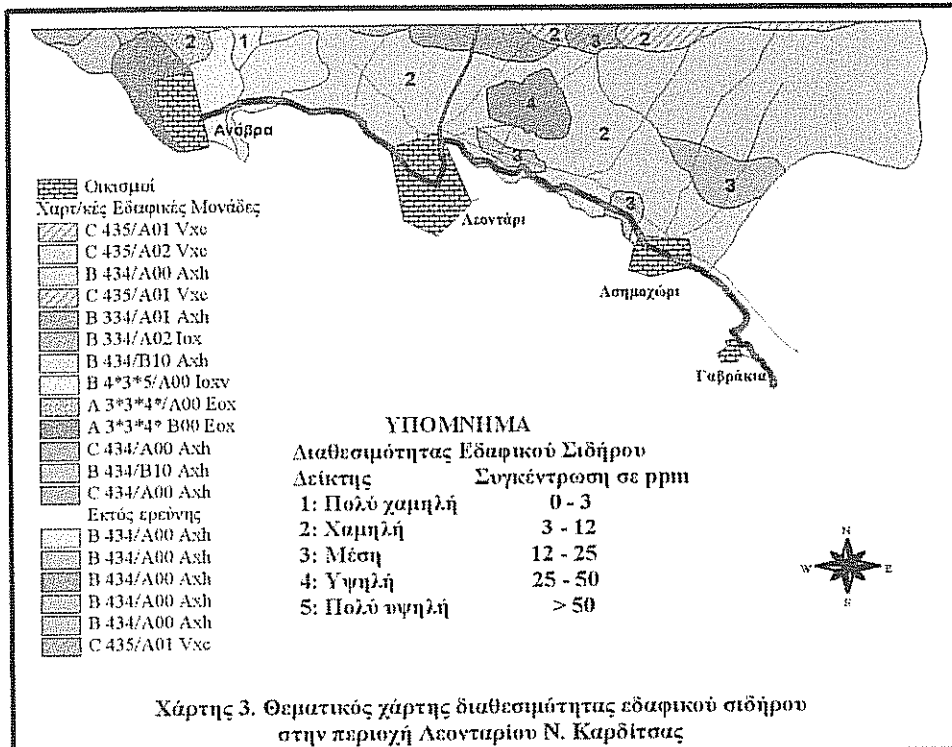
Παράμετρος μέτρησης	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση Τιμή	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση (οδ. 98/83/ΕΚ)
pH	6,9	7,5	7,2	6,5 ≤ pH ≤ 9,5
ECw (μS/cm)	197,7	1110	989	2500
Cu (ppb)	Μη ανιχνεύσιμη	10	2,5	2000
Fe (ppb)	Μη ανιχνεύσιμη	12,3	6,5	200
Mn (ppb)	Μη ανιχνεύσιμη	5	2,2	50
Zn (ppb)	Μη ανιχνεύσιμη	2,5	1,6	-
Cd (ppb)	Μη ανιχνεύσιμη	0,3	0,06	5
Pb (ppb)	Μη ανιχνεύσιμη	4,3	1,1	10

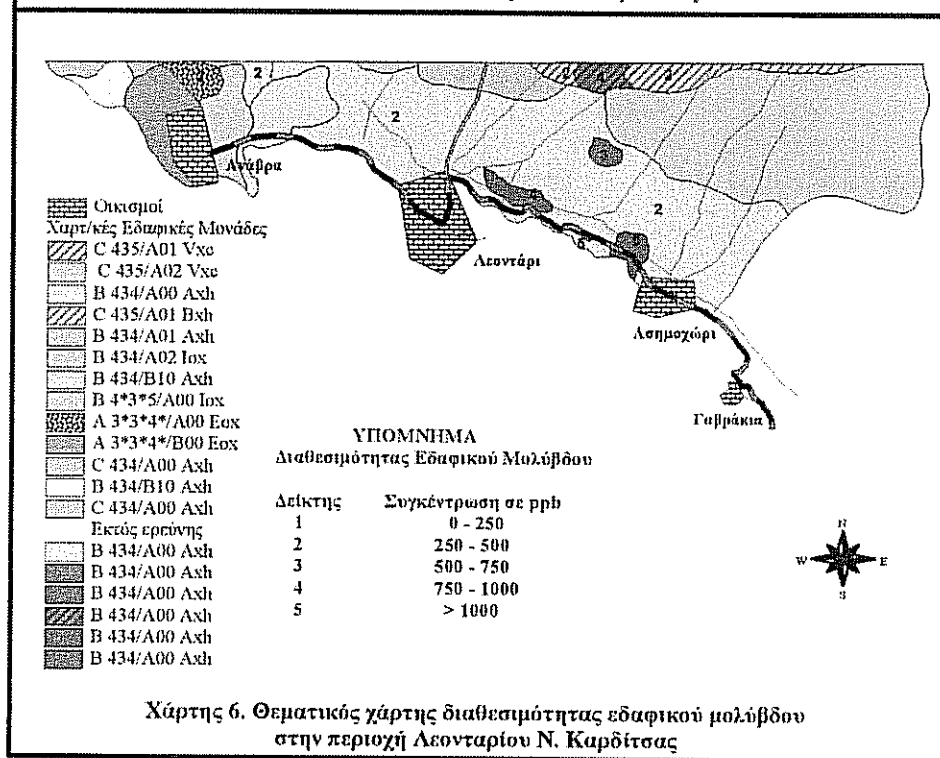
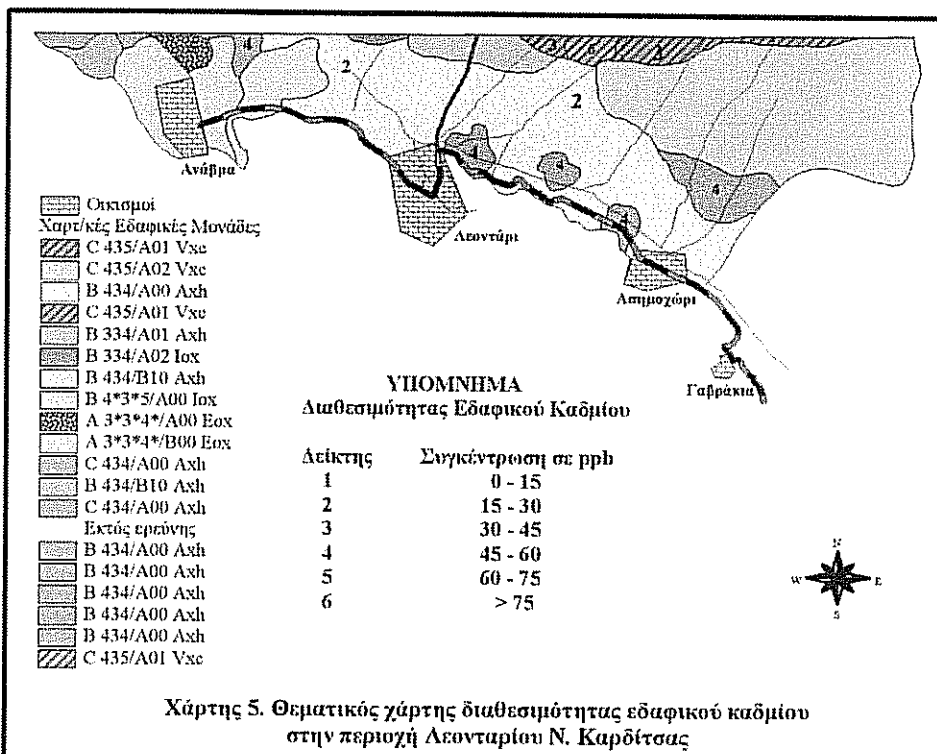
Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των νερών άρδευσης προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων μετάλλων ήταν μικρότερες από τα καθορισμένα από την Ευρωπαϊκή Ένωση όρια.



Σχήμα 1: Ποσοστιαία απεικόνιση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο σύνολο των δειγμάτων.







#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παραπάνω μελέτη προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα νερά άρδευσης κυμαίνονται σε επίπεδα χαμηλότερα από τα όρια που θεσπίστηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Οι διαθέσιμες ποσότητες των μετάλλων Cd, Pb, Zn και Cu στα εδάφη που μελετήθηκαν, είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές που αναφέρονται σε επιστημονικές εργασίες στις οποίες πραγματοποιήθηκε μελέτη γεωργικών εδαφών της περιοχής Θεσσαλίας.
- Οι διαθέσιμες συγκεντρώσεις των στοιχείων Fe και Mn, σε εδάφη με μικρή τιμή pH, είναι υψηλότερες από τις συγκεντρώσεις αυτών σε εδάφη με υψηλότερες τιμές pH.
- Οι διαθέσιμες ποσότητες των βαρέων μετάλλων είναι ιδιαίτερα χαμηλές και σε όλα τα εδάφη που μελετήθηκαν τα επίπεδα αυτών δεν υπερβαίνουν τα όρια που ορίστηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

*Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος 96/T/35, που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.*

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adamu, C. A., Mulchi, C. L. and Bell, P. F. Relationships Between Soil pH, Clay, Organic Matter and CEC and Heavy Metal Concentrations in Soils and Tobacco. *Tob. Sci.*( 33), 96-100.
2. Adriano, D. C. 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York.
3. Beaty, R.D. Kerber, J.D. Concepts, Instrumentation and Techniques in AAS. The Perkin Elmer Corporation.
4. Bell, P. F., Mulchi, C. L. and Chaney, R. L. 1992. Microelement Concentrations in Maryland Air-cured Tobacco. *Commun. Soil. SCI. Plant. Anal.*,23(13&14), 1617-1628
5. Clarke, B. B. and Brennan, E. 1983. Tobacco Leaves Accumulate Cadmium from Root Applications of the Heavy Metal. *Tob. Sci.*(27), 28-29.
6. Clarke, B. B. and Brennan, E. 1989. Differential Cadmium Accumulation and Phytotoxicity in Sixteen Tobacco Cultivars. *JAPCA* (39), 1319-1322.
7. Dolinsek, F., Stupar, J., and Vrscaj, V. 1991. Direct Determination of Cadmium and Lead in Geological and Plant Materials by Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry. *J. of Anal. AS.* 653-660.
8. Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. Second Edition. CRC Press. London.
9. Καρυώτης Θ., Μητσιμπόνας Θ., Χαρούλης, Α., Αργυρόπουλος, Γ.1994. Περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία και βαρέα μέταλλα των γεωργικών εδαφών της περιοχής Βαρυστόπου Νομού Λάρισας. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα.* 75-81.
10. Lajunen, L.H.G. 1992. Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission. The Royal Society of Chemistry. Cambridge.
11. Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (42), 421-428.
12. Maff.1970. Modern Farming and the Soil. Report of the Advisory Council on Soil Structure and Soil Fertility. HMSO. London.
13. Manahan, E. S. 1994. Environmental Chemistry. Sixth Edition. CRC Press. USA.



14. Millward, C. G. and Klucner, P. D. 1991. Determination of Low Levels of Cadmium in Marine and Fresh Water Sediments by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry Employing a Reduced Palladium Chloride Modifier and by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry. *J. of Anal AS* 37-40.
15. Miner, G. S., Gutierrez, R. and King, L. D. 1997. Soil Factors Affecting Plant Concentrations of Cadmium, Copper, and Zinc on Sludge-Amended Soils. *J. Environ. Qual.* (26): 989-994.
16. Mulchi, C. L., Adamu, C. A., Bell, P. F. and Chaney, R. L. 1992. Residual Heavy Metal Concentrations in Sludge Amended Coastal Plain Soils – II. Predicting Metal Concentrations in Tobacco from Soil Test information. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.*,23(9&10), 1053-1069.
17. Μήτσιος Ι. Κ. 2000. Σύγχρονες τάσεις της εδαφολογικής επιστήμης. Ποιότητα εδάφους, GIS, τηλεπισκόπηση, διαχείριση εδαφικών πόρων. Πρακτικά Ημερίδας. Εδαφολογικοί χάρτες Ν.Λάρισας.Λάρισα .
18. Μήτσιος Ι. Κ. 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
19. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 16<sup>th</sup> Edition..
20. Page, A. L., Miller, H. R. and Keeney, R. D. 1982. Methods of Soil Analysis Part II-Chemical and Microbiological Properties Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison. Wisconsin USA.
21. Παπαδογιάννης, Ι.Ν& Σαμανίδου, Β.Φ.,1996. Ενόργανη Ανάλυση. Θεσσαλονίκη.
22. Semu, E. and Singh, B. R. 1996. Accumulation of Heavy Metals in Soils and Plants after long-term use of Fertilizers and Fungicides in Tanzania. *Fertilizer Research* (44), 241-248.
23. Tan, K. H. 1994. Environmental Soil Science. Marcel Dekker, Inc.
24. Τσοτσόλης, Ν. και Καραβαζόγλου Ν.1998. Επίδραση της ασβέστωσης ενός όξινου εδάφους και της μορφής της αζωτούχου λίπανσης στην πρόσληψη καδμίου και σε ορισμένα χαρακτηριστικά καπνών Βιρτζίνια. 7<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο.Αγρίνιο.
25. Van Der Lee, J. J., Temminghoff, E., Houba.,V. J. G.and Novozamsky, 1987 . Background Corrections in the Determination of Cd and Pb by Flame AAS in Plant and Soil Samples with High Fe Levels. *Appl-Spectrosc.* 41(3),388-390.
26. Wagner, G. J.,Sutton, T. G. and Yeagan, R. 1988. Root Control of Leaf Cadmium Accumulation in Tobacco. *Tob. Sci.* (32), 88-91.
27. Welz, B.1985.Atomic Absorption Spectrometry. Verlag Chemie. Weinheim.

**ΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ.  
ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ  
ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**

**N. Μισοπολινός**

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν γνωστές εξισώσεις της φυσικοχημείας για τον υπολογισμό των ενεργών συγκεντρώσεων των ιόντων στο εδαφικό διάλυμα, σε αλατούχα νερά και σε νερά στραγγίσεως με τη μέθοδο των διαδοχικών προσεγγίσεων. Παράλληλα, η ανάλυση της βελτίωσης νατριομένων εδαφών με τη μέθοδο νερού υψηλής αλατότητας και τη χρήση των ενεργών συγκεντρώσεων έδειξε ότι είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των ιονικών ζευγών στο εδαφικό διάλυμα και η “απενεργοποίηση” μεγάλης (σε ορισμένες περιπτώσεις) ποσότητας κατιόντων (κυρίως Ca και Mg) στο διάλυμα.

**THE STUDY AND IMPROVEMENT OF SALINE AND  
SODIC SOILS. A NUMERICAL APPROACH**

**N. Misopolinos**

Aristotelian University of Thessaloniki, Department of Agriculture

**ABSTRACT**

Numerical methods have been employed in this study using the Debye-Hückel, Davis and Robinson et al. Equations to calculate the actual concentration in Field Capacity soil solution and in saline and drainage water. The analysis for reclaiming sodic soils using high-salt water (drainage or sea water) and actual concentrations showed that it is necessary to consider the influence of ionic pairs in soil solution and the “disactivation” of a considerable (in some cases) amount of the cations (mainly Ca and Mg) in solution.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αριθμητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στη μελέτη και τη βελτίωση των αλατούχων και νατρωμένων εδαφών για διαφορετικούς λόγους, όπως :

1. Τον υπολογισμό των ενεργών συγκεντρώσεων των ιόντων, την ιονική ισχύ και τα ιονικά ζεύγη στο εδαφικό διάλυμα, στο νερό άρδευσης και την κίνηση και μεταφορά των αλάτων στην εδαφική κατατομή, και
2. Τη βελτίωση ισχυρώς νατρωμένων αργιλωδών εδαφών

Αριθμητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται επίσης στη μελέτη αλατούχων εδαφών με ραδιόμετρα υπαίθρου και δορυφορικές εικόνες (ανάλυση ραδιομετρικών παραμέτρων, τηλεπισκόπηση και εφαρμογές GIS).

Η μελέτη και ο υπολογισμός των ενεργών συγκεντρώσεων των ιόντων στο εδαφικό διάλυμα υπήρξε το αντικείμενο πολλών δημοσιεύσεων [18] και υπολογιστικών προγραμμάτων που είναι βασισμένα είτε στη μέθοδο των διαδοχικών προσεγγίσεων είτε σε άλλες [17, 14, 3, 12, 1, 4, 5, 19, 16]. Τα προγράμματα αυτά χρησιμοποιούν γνωστές φυσικοχημικές εξισώσεις τόσο για τον υπολογισμό της ιονικής ισχύος μέχρι 0,5 mol/L όσο και της ενεργού συγκεντρώσεως των ιόντων στο εδαφικό διάλυμα. Στις περιπτώσεις όμως των αλατούχων εδαφών που έχουν ιονική ισχύ 0,5-1 mol/L χρησιμοποιούνται μαθηματικά ομοιώματα διαφορετικά από τα προηγούμενα [12].

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να μελετήσει συγκριτικά τις μετρηθείσες και υπολογισθείσες ενεργές συγκεντρώσεις κατιόντων και ανιόντων στο εδαφικό διάλυμα και να ελέγξει εάν οι διαφορές που προκύπτουν επηρεάζουν τους υπολογισμούς στη μελέτη και βελτίωση αλατούχων ή και νατρωμένων.

## 2. ΜΕΛΕΤΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΜΗ ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΚΑΙ ΣΕ ΑΛΑΤΟΥΧΑ ΕΔΑΦΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή ενεργότητας, της ιονικής ισχύος, της ενεργότητας και των ενεργών συγκεντρώσεων των ιόντων σε εδαφικά διαλύματα μη αλατούχων και αλατούχων εδαφών χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις των Debye-Hückel για διαλύματα ιονικής ισχύος μέχρι 0,2 mol/L, Davies για διαλύματα ιονικής ισχύος μέχρι 0,5 mol/L και των Robinson, Guggenheim και Bates [2] για διαλύματα ιονικής ισχύος μέχρι 1 mol/L.

Η **ιονική ισχύς** ενός διαλύματος υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^s C_i Z_i^2 \quad (1)$$

όπου  $C_i$  = η πραγματική συγκέντρωση και  $Z_i$  = το σθένος του ιόντος  $i$ .

Ο **συντελεστής ενεργότητας** υπολογίζεται από την εξίσωση :

α) Debye-Hückel,

$$-\log f_i = \frac{A' Z_i^2 \sqrt{I}}{1 + B \alpha \sqrt{I}} \quad (2)$$

όπου,

$I$  = η ιονική ισχύς

$Z_i$ , το σθένος του ιόντος  $i$

$A$  και  $B$  σταθερές (0,511 και 0,329 αντίστοιχα στους 25 °C) και

$\alpha$  = η ενεργός ιονική ακτίνα ενός ιόντος σε Å

**β) Του Davies** (επέκταση της εξίσωσης Debye-Hückel),

$$-\log f_i = A' Z_i^2 \left( \frac{\sqrt{I}}{1 + \alpha \sqrt{I}} - 0,3I \right) \quad (3)$$

για εδαφικά διαλύματα με  $I < 0,5$  mol/L

και γ) από την εξίσωση Robinson, Guggenheim και Bates για ιονική ισχύ μέχρι 1 mol/L,

$$-\log f_i = \frac{A' Z_i^2 \sqrt{I}}{1 + B' \alpha \sqrt{I}} + 0,2I \quad (4)$$

Η ενεργότητα ενός ιόντος,  $a$ , από την εξίσωση,

$$a = f_i C_i \quad (5)$$

όπου  $C_i$  είναι η πραγματική συγκέντρωση του ιόντος  $i$  (μετά την αφαίρεση της συγκέντρωσης των ιονικών ζευγών).

Η εξίσωση (4) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αλατούχα εδαφικά διαλύματα, σε νερά στραγγίσεως με υψηλή ιονική ισχύ και στο θαλασσίνο νερό όταν αυτό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση νατριωμένων εδαφών με τη μέθοδο της χρησιμοποίησης νερού υψηλής αλατότητας [15, 7].

**Πίνακας 1.** Φυσικές και χημικές χαρακτηριστικά εδαφών και νερών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

Δείγμα	pH	CaCO <sub>3</sub> %	F.C.* %	SP* %	EC mS/cm	Χαρακτ.	Na <sup>+</sup> me/L	Ca+Mg me/L	R*
Έδαφος 1.	8,15	7,04	23	47,5	2,6	CL			
Έδαφος 2.	7,78	1,20	55	115,0	17,3	CL			
Νερόστραγγ					71,0		739	260	0,26
Θαλασσίνο					55,0		522	137	0,20

\* F.C. = Υδατοικανότητα, SP = νερό κορεσμού, R = (Ca+Mg)/C όπου C η ολική συγκέντρωση

Τα εδάφη και τα νερά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη έχουν τα επόμενα χαρακτηριστικά (Πίνακας 1.) : Το έδαφος 1. Είναι ελαφρώς αλατούχο με EC=2,6 mS/cm και το έδαφος 2. Είναι αλατούχο νατριομένο με EC=17,3 mS/cm. Τα νερά που χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση ήσαν ισχυρώς αλατούχα.

Η ανάλυση του εδαφικού διαλύματος και οι συντελεστές ενεργότητας υπολογίστηκαν με τη χρήση των εξισώσεων (2), (3) και (4) με τη μέθοδο των διαδοχικών προσεγγίσεων [12]. Για το αλατούχο έδαφος χρησιμοποιήθηκε το εδαφικό διάλυμα στο σημείο της υδατοϊκανότητας [6] και για το αλατούχο-νατριομένο το νερό κορεσμού [11].

Οι ενεργές συγκεντρώσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό στη συνέχεια των παραμέτρων των εξισώσεων 6-10.

### 3. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΛΑΤΟΥΧΩΝ-ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.

Η βελτίωση των αλατούχων ή/και νατριομένων εδαφών μπορεί να γίνει με μεθόδους νερών υψηλής αλατότητας και διαδοχικής αραιώσης [15, 7] . Η μέθοδος που χρησιμοποιεί την προσθήκη σταθερών ποσοτήτων Ca<sup>++</sup> σε κάθε βήμα αραιώσης [7, 8, 9, 10] περιλαμβάνει τον υπολογισμό [13] του κλάσματος του εναλλακτικού νατρίου (ESFn),

$$ESF_n = \frac{1}{1 + \frac{[(C_o R_o + \frac{B^n - 1}{B - 1} x) B^{n-1}]^{1/2}}{1,41kC_o(1 - R_o)}} \quad (6)$$

όπου, C<sub>o</sub>=η ολική συγκέντρωση του διαλύματος, R<sub>o</sub> = Ca + Mg / C<sub>o</sub> ,

Ca+Mg και C<sub>o</sub> σε meq/L, B=ο συντελεστής αραιώσης, n=ο αριθμός των αραιώσεων και k=ο συντελεστής εδαφικής ανταλλαγής σε (meq/L)<sup>-0,5</sup>.

Η ποσότητα του νερού που απαιτείται στο νιοστό στάδιο αραιώσης (D<sub>w</sub>/D<sub>s</sub>)<sub>n</sub>,

$$(D_w / D_s)_n = (1000 \rho_s \cdot CEC / \rho_w \cdot f) \frac{(\Delta ESF)}{[\Delta(Ca + Mg)]_n} \quad (7)$$

ρ<sub>w</sub> και ρ<sub>s</sub> = το ειδικό βάρος του νερού και η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους αντίστοιχα σε g/cm<sup>3</sup>,

CEC = η εναλλακτική ικανότητα του εδάφους σε meq/100g εδάφους, και

f= ο συντελεστής στράγγισης.

$$(\Delta ESF) = \frac{1}{1 + \frac{[(C_o R_o + \frac{B^{n-1} - 1}{B - 1} x) B^{n-2}]^{1/2}}{1,41kC_o(1 - R_o)}} - \frac{1}{1 + \frac{[(C_o R_o + \frac{B^n - 1}{B - 1} x) B^{n-1}]^{1/2}}{1,41kC_o(1 - R_o)}} x$$

(8)

$\chi$  = η σταθερή προστιθέμενη ποσότητα Ca ή Ca+Mg.

$$\Delta[Ca + Mg]_n = C_n R_n - (Ca + Mg)_* \quad (9)$$

και

$$(Ca+Mg)_* = \frac{1}{4B^{n-2}} \left\{ \left[ \frac{C_o(1-R_o)}{C_o R_o + \frac{B^{n-1}}{B-1} x} + \frac{4(C_o + \frac{B^n - 1}{B-1} x)}{B} \right]^{1/2} - \frac{C_o(1-R_o)}{(C_o R_o + \frac{B^{n-1}}{B-1} x)^{1/2}} \right\}^2 \quad (10)$$

### 3.1 Η Χρησιμοποίηση των υπολογισθέντων ενεργών συγκεντρώσεων στη βελτίωση αλατούχων-νατριωμένων εδαφών.

Στον Πίνακα 2. Φαίνονται τα αποτελέσματα του εδαφικού διαλύματος για το ελαφρώς αλατούχο έδαφος με ιονική ισχύ 0,042 mol/L με τη χρήση της εξίσωσης (2) μετά από 21 διαδοχικές προσεγγίσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση της ενεργού συγκεντρώσεως του  $Ca^{++}$  και  $Mg^{++}$  σε ποσοστό ~12,5 % λόγω της παρουσίας κυρίως θεϊκών ιόντων.

Πίνακας 2. Ανάλυση εδαφικού διαλύματος του ελαφρώς αλατούχου εδάφους στο σημείο της υδατοϊκανότητας (FC).

	Πρώτη συγκέντρωση mmol/L	προσέγγιση ενεργότητα mmol/L	21 <sup>η</sup> Συγκέντωση Mmol/L	προσέγγιση ενεργότητα mmol/L
Ca <sup>++</sup>	6,30	3,18	5,49	2,85
Mg <sup>++</sup>	2,83	1,52	2,48	1,36
Na <sup>+</sup>	8,70	7,24	8,66	7,26
NH <sup>+</sup>	0,56	0,46	0,55	0,46
K <sup>+</sup>	1,13	0,93	1,12	0,93
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	4,25	1,99	3,04	1,48
(Cl <sup>-</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	20	16,4	20	16,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,25	0,21	0,24	0,20
PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,00646	-	0,0365	-
HPO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	-	0,00285	0,00342	0,00166
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-	0,00032	0,000323	0,000187
pH		8,25		
I	0,042		0,037	

Στην περίπτωση του αλατούχου εδάφους (Πίνακας 3.) αναλύθηκε το εκχύλισμα κορεσμού με τη χρήση των εξισώσεων (2, 3, 4). Η ιονική ισχύς του διαλύματος (0,453 mol/L) είναι οριακή όταν χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις (4) και (3) και η μείωση της ενεργού (πραγματικής) συγκέντρωσης για το Ca και το Mg είναι της τάξεως ~16%. Το πλέον εντυπωσιακό κατά τον υπολογισμό τόσο στο θαλασσίνο νερό όσο και στο νερό στράγγισης (Πίνακας 4.) για τη βελτίωση του αλατούχου-νατριωμένου εδάφους,

είναι ότι η ιονική ισχύς 0,646 και 0,657 αντίστοιχα η εξίσωση (4) δίνει (όπως αναμενόταν) χαμηλότερες τιμές στην ενεργό συγκέντρωση απότι η εξίσωση (2). Η μείωση για το θαλασσινό νερό ήταν της τάξεως του ~26,5% για το Ca και ~32% για το Mg. Για το νερό στραγγίσις ήταν ~48% για το Ca και ~55% για το Mg. Αυτό σημαίνει ότι στο νερό στραγγίσις η μισή περίπου ποσότητα του Ca και Mg δεν συμμετέχει στην διαδικασία ανταλλαγής του Na<sup>+</sup> από τα ορυκτά της αργίλου. Η χρησιμοποίηση των ενεργών συγκεντρώσεων στον υπολογισμό τόσο του κλάσματος του εναλλακτικού νατρίου (ESFn) όσο και της ποσότητας του νερού που απαιτείται στο νιοστό στάδιο αραιώσης (Dw/Ds)<sub>n</sub>, εξισώσεις (6) και (7) δίνει την πραγματική εικόνα της πορείας βελτίωσης ενός εδάφους με τη μέθοδο των νερών υψηλής αλατότητας και διαδοχικής αραιώσης.

Πίνακας 3. Εδαφικό διάλυμα αλατούχου-νατριωμένου εδάφους.

	Πρώτη	Προσέγγιση			
	συγκέντρωση mmol/L	Ενεργότητα mmol/L	Τελική R.G.B.	συγκέντρωση Davis	mmol/L D.H.
Ca <sup>++</sup>	10,2	3,24	8,61	8,59	8,93
Mg <sup>++</sup>	29,5	11,62	24,6	25,1	25,5
K <sup>+</sup>	3,5	2,68	3,43	3,43	3,45
Na <sup>+</sup>	310,6	257,2	307	306,5	307
Cl <sup>-</sup>	346,3	265,3	346,3	346,3	346
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	20,8	4,81	11,8	11,8	13,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,6	2,99	3,11	3,25	3,24
PH	7,78				
I	0,453		0,4296	0,4208	0,426

Πίνακας 4. Ενεργές συγκεντρώσεις του θαλασσινού νερού και του νερού στραγγίσιως με τις εξισώσεις Debye-Hückel (D.H.) και Robinson et al. (R.G.B.).

	Θαλασσινό νερό			νερό στραγγίσιως		
	1η mmol/L	D.H. 24η mmol/L	R.G.B. 198η mmol/L	1η mmol/L	D.H. 38η mmol/L	R.G.B. 133η mmol/L
Ca <sup>++</sup>	10	8,86	7,35	37	28,8	19,4
Mg <sup>++</sup>	53	46,3	35,8	31	23,4	14
Na <sup>+</sup>	460	456	451	480	472	463
K <sup>+</sup>	9,7	9,6	9,3	8	7,7	7,5
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	28	17	0,6	64	40	12,2
Cl <sup>-</sup>	535	535	535	465	465	465
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3	2,5	1,44	1	0,87	0,72
pH	7,2			7,0		
I		0,646	0,586		0,657	

Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι, για να υπάρχει ορθή θεωρητική και πρακτική προσέγγιση τόσο στην ανάλυση του εδαφικού διαλύματος όσο και στην βελτίωση των νατριωμένων εδαφών με νερό υψηλής αλατότητας είναι απαραίτητο να γίνει υπολογισμός των ενεργών (πραγματικών) συγκεντρώσεων των ιόντων του εδαφικού διαλύματος. Η υπολογιστική ισχύς των υπολογιστών σήμερα δίνει αυτή τη δυνατότητα προκειμένου να προσεγγίσουμε εύκολα την πραγματική κατάσταση τόσο των ανιόντων όσο και των κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ball J. D. Nordstrom and D. Zachmann, 1987. WATEQ4F- A personal computer FORTAN translation of the geochemical model WATEQ2 with revised data base. U.S. Geol. Surv. Open File Rep. 87-50. U.S. Geol. Surv. Menlo Park, CA.
2. Dean J. 1979. Lange's Handbook of Chemistry. McGraw-Hill Book Company.
3. Felmy A.R., D.C. Girvin and E.A. Jene 1984. MinteqQ- A computer program for calculating aqueous geochemical equilibria. EPA-600/3-84-032. Office Res. Dev., USEPA, Athens, GA.
4. Hutson, J.L., Wagenet, R.J., 1992 LEACHM: Leaching estimation and chemistry model: Aprocess-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Version 3.0. Department of soil, crop and atmospheric sciences, Research Series No. 93-3, Cornell University, Ithaca, New York
5. Hutson, J.L. R.J. Wagenet and M.E. Niederhofer. 1997. Leaching estimation and chemistry model: a process based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Versions LEACHF and LEACHG (for simulating nitrogen and phosphorus transformations, cycling and transport). Research report R97-1, Department of Soil, Crop and Atmospheric Sciences, Cornell University, Ithaca, New York, 138pp.
6. Howard D.D. and Adams Fred 1965. Calcium requirement for penetration of subsoils by primary cotton roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29:558-562.
7. Misopolinos N.D. 1985. A new concept for reclaiming sodic soils with high-salt water. Soil Sci. 140:69-74.
8. Misopolinos N.D. 1988. Reclamation of a fine clayey montmorillonitic soil with high-salt water under laboratory conditions. Z. Pflanzenernahr. Bodenk., 150, 395-399.
9. Misopolinos N.D. 1989. Salinization and soil conservation. Join Meeting of uropean Society for Soil Conservation. Zürich.
10. Μισοπολινός Ν.Δ. 1990. Ένα νέο μαθηματικό ομοίωμα για τη βελτίωση των νατριωμένων εδαφών. 3<sup>ο</sup> Συνέδριο της Ελληνικής Εδαφολογικής Εταιρείας. Αθήνα.
11. Μισοπολινός Ν.Δ., Καλοβουλος Ι. και Τσοσκούνουγλου 1982. Μια συσκευή πέσεως για την παραλαβή εδαφικού διαλύματος από προβληματικά εδάφη. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ. 25:187-191.
12. Μισοπολινός Ν.Δ. και Συλλαίος Ν. 1986. Μελέτη του εδαφικού διαλύματος με μικροπολογιστές. Γεωργική Έρευνα 10:199-221.
13. Misopolinos N.D. and A. Ambas 1989. A computer program for calculating parameters necessary for reclaiming sodic soils using high-salt-water. Soil Technology 2:242-252.



14. Pachepsky Ya.A., Ye.V. Mironenko and A.A. Ponizovsky 1981. Soil phases mass-exchange modeling on the basis of thermodynamic equations of physicochemical equilibria. P.52. Pushchino.
15. Reeve R. and Doering E. 1966. The high-salt-water dilution method for reclaiming sodic soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30:498-504.
16. Simulek J., K. Huang, M. Sejna, and M.Th. van Genuchten, 1998. HYDRUS-1D for Windows. A MS Windows Program for Simulating Water Flow and Solute Transport in One-Dimensional Variably Saturated Media with full-color, high-resolution Graphics User Interface. U.S. Salinity Laboratory, USDA/ARS, Riverside, California
17. Sposito G. and S.V. Mattigod 1977. GEOCHEM- A computer program for the calculation of chemical equilibria in soil solutions and other natural water systems. Dep. Of Soil and Environ. Sci. Uni. of California, Riverside.
18. Suarez D.L. and S. Goldberg 1994. Modelling soil solution, mineral formation and weathering. In "Quantitative Modelling of Soil Forming Processes. SSSA Special Publication.
19. Toride, N., F. J. Leij, and M.Th. van Genuchten, 1995. The CXTFIT Code for Estimating Transport Parameters from Laboratory or Field Tracer Experiments, Version 2.0. Research Report No. 137, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.

## **ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ: ΜΙΑ ΝΕΑ ΟΠΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

N. Μισοπολινός<sup>1</sup>, Γ. Ζαλίδης<sup>1</sup> και Κ. Παναγιωτόπουλος<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, <sup>2</sup>Εργαστήριο Εδαφολογίας  
Τμήμα Γεωπονίας ΑΠΘ, 54006 Θεσσαλονίκη

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η εισαγωγή της έννοιας «ποιότητα του εδάφους», βασίζεται στο βαθμό της ικανότητάς του να υποστηρίζει ορισμένες λειτουργίες.

Μέχρι σήμερα η αξιολόγηση των εδαφών βασιζόταν στην εκτίμηση ορισμένων εδαφικών παραμέτρων. Για την εκτίμηση της εδαφικής ποιότητας, αφού ιεραρχηθούν οι λειτουργίες κάθε εδαφικής μονάδας, επιλέγονται οι κατάλληλοι «δείκτες» οι οποίοι βασίζονται στις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους.

Η υφιστάμενη αλλά και η εν δυνάμει ποιότητα ενός εδάφους συνδέεται άμεσα με την αειφορία του και συνεπώς η εκτίμηση της ποιότητάς του αποκτά μεγάλη σπουδαιότητα. Η διαχείριση επομένως των εδαφικών πόρων αλλά και η αντίστοιχη έρευνα θα πρέπει να έχουν ως στόχο τη διατήρηση και βελτίωση της ποιότητάς τους.

## **SOIL QUALITY: A NEW PERSPECTIVE FOR SOIL RESOURCES MANAGEMENT**

N. Misopolinos<sup>1</sup>, G. Zalidis<sup>1</sup> and K. Panagiotopoulos<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Lab. Of Applied Soil Science, <sup>2</sup>Lab. Of Soil Science Department of Agriculture  
A.U.TH.

### **ABSTRACT**

The new concept of “Soil Quality” is based on soil ability to support its functions. The soil resources evaluation was until now based on the estimation of some soil parameters. For soil quality evaluation, after validating the functions of each soil unit, appropriate “indicators” are selected based on physical, chemical and biological soil attributes.

The inherent and potential quality of a soil is directly linked with sustainability and, therefor, the evaluation its quality is of great interest. Soil resources’ management therefor and the corresponded research, should focus on the conservation and improvement of the soil quality.

## ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ: ΜΙΑ ΝΕΑ ΟΠΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Ν. Μισσοπολινός<sup>1</sup>, Γ. Ζαλίδης<sup>1</sup> και Κ. Παναγιωτόπουλος<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, <sup>2</sup>Εργαστήριο Εδαφολογίας  
Τμήμα Γεωπονίας ΑΠΘ, 54006 Θεσσαλονίκη

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ιστορία υπάρχουν περίοδοι που χαρακτηρίζονται από έντονη υποβάθμιση των εδαφικών πόρων [10]. Σήμερα η διαχείριση του εδάφους βασίζεται συχνά σε μαθήματα που παίρνουμε από την ιστορία. Παρ' όλα αυτά η χρήση μηχανοποιημένων αγροτικών συστημάτων στη διαχείριση του εδάφους έχει σοβαρές επιπτώσεις στους εδαφικούς πόρους. Συνέπειες, όπως η συμπίεση του εδάφους, η δημιουργία ασταθούς δομής, η επιφανειακή απορροή και η διάβρωση του εδάφους, η διάβρωση από άνεμο και η γενική μείωση της γονιμότητας του αναφέρονται συχνά στη βιβλιογραφία. Το έδαφος αποτελεί μια εν δυνάμει πηγή αύξησης του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας όταν η ληστική χρήση της γης και η κακοδιαχείριση του εδάφους επιφέρει πτώση της ποιότητας του και επιταχύνει την υποβάθμισή του [11].

Η αυξανόμενη αυτή ανάδειξη και αναγνώριση των προβλημάτων έχει επικεντρώσει την προσοχή διεθνώς στην έννοια «της ποιότητας του εδάφους» και αυτό προκύπτει από πολλές διεθνείς επιστημονικές συναντήσεις εργασίας [16, 8, 5, 7, 9, 20, 15, 2].

Η έννοια της «εδαφικής ποιότητας» έχει συζητηθεί ευρέως στην επιστημονική κοινότητα και ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. και τον Καναδά [5,1]. Αναπτύχθηκε την τελευταία κυρίως δεκαετία από τη Αμερικανική Εδαφολογική Εταιρεία [6, 4, 9], για συγκεκριμένους λόγους, μεταξύ των οποίων είναι και η κατανόηση από την κοινή γνώμη της ανάγκης για ευρύτερη και βαθύτερη προσέγγιση του εδάφους ως κύριου συστατικού του περιβάλλοντος το οποίο συμβάλλει αποφασιστικά στην αειφορική περιβαλλοντική ανάπτυξη.

### 2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα υγιή εδάφη είναι σε θέση να μας παρέχουν εκτός από τον καθαρό αέρα και το νερό, πλούσια απόδοση στις καλλιέργειες, τα δάση, και τα λιβάδια, πλούσια πανίδα και αρμονικά τοπία. Για να μπορεί το έδαφος να επιτύχει τα προηγούμενα θέτει σε ενέργεια πέντε θεμελιώδεις λειτουργίες του. Οι λειτουργίες αυτές είναι :

- Η ρύθμιση του νερού. Το έδαφος συμβάλλει στον έλεγχο της πορείας του νερού της βροχής, ή του νερού από το λιώσιμο του χιονιού καθώς και του αρδευτικού. Το νερό με τα και τα εν διαλύσει συστατικά είτε ρέει επιφανειακά ή συγκρατείται στη μάζα του εδάφους ή διηθείται και απομακρύνεται σε βαθύτερα στρώματα.
- Η στήριξη της επιβίωσης των φυτών και των ζώων. Η ποικιλότητα και οι πληθυσμοί των έμβιων όντων εξαρτώνται από το έδαφος.
- Η αδρανικοποίηση εν δυνάμει ρυπαντών. Τα ορυκτά της αργίλου και οι μικροοργανισμοί του εδάφους είναι υπεύθυνοι για τη συγκράτηση, εξουδετέρωση, αποικοδόμηση, ακινητοποίηση και απώλεια της τοξικής ικανότητάς οργανικών και ανόργανων ουσιών, μεταξύ των οποίων, ορισμένες φορές, περιλαμβάνονται αστικά απόβλητα και ατμοσφαιρικές αποθέσεις.

- Η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων. Ο άνθρακας, το άζωτο, ο φωσφόρος και πολλά άλλα θρεπτικά στοιχεία αποθηκεύονται, μετασχηματίζονται και ανακυκλώνονται δια του εδάφους.
- Η στήριξη των κατασκευών. Οι κατασκευές απαιτούν έδαφος σταθερό για τη στήριξή τους και οι αρχαιολογικοί θησαυροί που συνδέονται με την ανθρώπινη εγκατάσταση, μνήμη και πολιτισμό προστατεύονται από τα εδάφη.

### 3. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Κατά τους Karlen et al. [9], ποιότητα του εδάφους είναι «η ικανότητά του να λειτουργεί στα όρια ενός φυσικού ή χειριζόμενου οικοσυστήματος, να στηρίζει την παραγωγή που προέρχεται τόσο από τα φυτά όσο και τα ζώα, να διατηρεί και να ενισχύει την ποιότητα υδάτων και του αέρα, και να στηρίζει την υγεία και τις εγκαταστάσεις του ανθρώπου.

Γενικά, οι διάφορες ομάδες ανθρώπων έχουν διαφορετική αντίληψη για την ποιότητα του εδάφους. Για παράδειγμα :

- Για τους αγρότες ποιότητα του εδάφους σημαίνει γη με υψηλή παραγωγικότητα που στηρίζει και ενισχύει τις αποδόσεις των φυτών και επιφέρει σημαντικά κέρδη αλλά και διατηρεί τους εδαφικούς πόρους για τις επόμενες γενεές.
- Για τους καταναλωτές, σημαίνει έδαφος που παράγει πλούσια, υγιεινή και φθηνή τροφή για το παρόν και το μέλλον.
- Για τους φυσιολάτρες, σημαίνει έδαφος σε αρμονία με το τοπίο και το περιβάλλον.
- Για τους οικολόγους, το έδαφος πρέπει να λειτουργεί (με δυναμικό τρόπο) μέσα σε ένα οικοσύστημα αρμονικά προκειμένου να ενισχύσει τη βιοποικιλότητα, την ίδια του την ποιότητα, τον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων και την παραγωγή της βιομάζας.

### 4. ΕΝΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΙ ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

**Ενδογενής** ποιότητα είναι η φυσική του ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί. Για παράδειγμα, τα αμμώδη εδάφη στραγγίζουν γρηγορότερα από τα αργιλώδη. Βαθιά εδάφη διαθέτουν περισσότερο χώρο για το ριζικό σύστημα από ότι τα σκελετικά. Τα προηγούμενα χαρακτηριστικά είναι σταθερά και δεν μεταβάλλονται εύκολα.

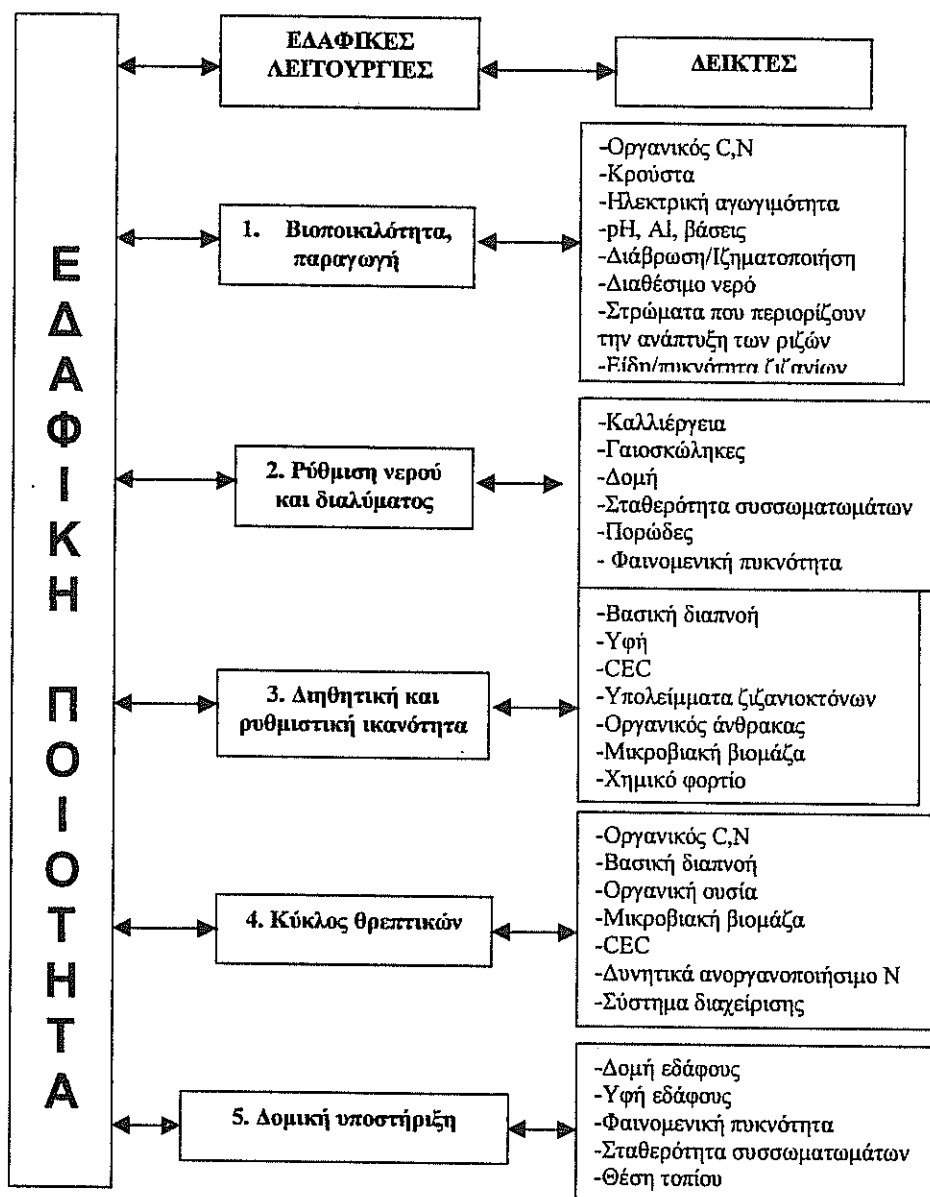
**Εν δυνάμει** εδαφική ποιότητα είναι αυτή που μπορεί να αποκτήσει ένα έδαφος με ορισμένη διαχείριση. Διαχειριστικές επιλογές επηρεάζουν την ποσότητα της οργανικής ουσίας, τη δομή, το βάθος του εδάφους, την ικανότητα συγκράτησης του νερού και των θρεπτικών στοιχείων. Ένας από τους στόχους της έρευνας της σχετικής με την εδαφική ποιότητα είναι η έρευνα της διαχείρισης του εδάφους στην κατεύθυνση της βελτίωσης των λειτουργιών του. Διαφορετικά εδάφη αντιδρούν διαφορετικά στη διαχείριση και αυτό εξαρτάται τόσο από τις σταθερές ιδιότητες του εδάφους όσο και του περιβάλλοντος τοπίου γενικότερα.

### 5. ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η ποιότητα ή η υγεία του εδάφους είναι αντίστοιχη με τον ιατρικό όρο της υγείας του ανθρώπου [12, 5] και γι' αυτό έχει προταθεί ένας ελάχιστος αριθμός δεδομένων (Minimum Data Set, MDS) ορισμένων εδαφικών παραμέτρων προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για να εκφράσει αυτή την «υγεία» (όπως γίνεται με τη μέτρηση της

πίεσης και των σφυγμών στην ιατρική). Οι εδαφικές αυτές παράμετροι ονομάζονται «δείκτες μέτρησης της ποιότητας του εδάφους» και είναι μετρήσιμες ιδιότητες του εδάφους ή των φυτών που δίνουν αξιόπιστες πληροφορίες για το πόσο καλά μπορεί να λειτουργεί το έδαφος. Οι δείκτες μπορεί να είναι φυσικές, χημικές και βιολογικές παράμετροι.

Πίνακας 1. Γραφική παράσταση της εδαφικής ποιότητας [13]



Οι δείκτες για να μπορούν να είναι χρήσιμοι θα πρέπει να,

- προσδιορίζονται εύκολα
- μετρούν τις διαφορές των εδαφικών λειτουργιών
- περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες
- είναι αποδεκτοί σε πολλούς χρήστες και εφαρμόσιμοι σε συνθήκες υπαίθρου.
- είναι ευαίσθητοι σε μεταβολές του κλίματος και της διαχείρισης

Γραφική παράσταση της εδαφικής ποιότητας και των δεικτών δίνεται στον Πίνακα 1.

## **6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ Ή ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ**

Κατανόηση της ποιότητας του εδάφους σημαίνει καταγραφή και διαχείριση των εδαφικών πόρων έτσι ώστε αυτό να λειτουργεί στη βέλτιστη κατάσταση χωρίς να υποβαθμίζεται για τη μελλοντική του χρήση. Με την καταγραφή των αλλαγών των δεικτών της ποιότητας του εδάφους, οι χρήστες της γης μπορούν να προσδιορίσουν κατά πόσον μια σειρά πρακτικών που εφαρμόζονται οδηγούν στην αειφορία ή όχι.

Τελικός σκοπός της έρευνας και της αποτίμησης της εδαφικής ποιότητας δεν είναι να επιτύχει κανείς π.χ. υψηλή σταθερότητα συσσωματωμάτων, βιολογική δραστηριότητα ή τη βελτίωση κάποιας άλλης εδαφικής ιδιότητας. Σκοπός της έρευνας πρέπει να είναι όχι μόνο η προστασία και η βελτίωση της γεωργικής παραγωγικότητας αλλά και των άλλων λειτουργιών που συνιστούν την ποιότητα του εδάφους. Χρησιμοποιούμε βεβαίως τα εδαφικά χαρακτηριστικά ως δείκτες της εδαφικής ποιότητας, τελικά όμως η εδαφική ποιότητα πρέπει να αποτιμηθεί από το πώς εκτελεί το έδαφος τις λειτουργίες του.

Κάθε τύπος εδάφους σε σχέση με τη χρήση του απαιτεί και διαφορετικό συνδυασμό πρακτικών προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα του εδάφους. Υπάρχουν βέβαια ορισμένες αρχές, όπως :

1. Προσθήκη οργανικής ουσίας.
2. Αποφυγή περιττών καλλιεργητικών εργασιών.
3. Προσεκτική χρήση και εφαρμογή λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων.
4. Μεγαλύτερη κάλυψη του εδάφους.
5. Αύξηση της βιοποικιλότητας .

## **7. ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΗΜΕΡΑ – ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ**

Σε έκθεση του 1997 με τίτλο «Περιβαλλοντικοί δείκτες για τη γεωργία» (*Environment indicators for agriculture*) ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, ΟΟΣΑ [17] έθεσε το θέμα της ποιότητας του εδάφους και των εδαφικών δεικτών. Η έκθεση βασίζεται στην εργασία των Bomans et al. [3] και τη βιβλιογραφία της Βόρειας Αμερικής και συστήνει κατεύθυνση της έρευνας στη διερεύνηση της δυνατότητας σύνδεσης των δεικτών της εδαφικής ποιότητας με άλλους δείκτες και ιδιαίτερα τις καλλιεργητικές πρακτικές.

Η έννοια της ποιότητας του εδάφους ασφαλώς είναι πολύτιμη στη διαχείριση των χειριζόμενων εδαφικών συστημάτων. Για να υπάρχει μια πιο λεπτομερής εικόνα των εδαφικών πόρων ως δυναμικών ζωντανών συστημάτων θα πρέπει να γίνεται ολοκληρωμένη έρευνα που να σχετίζεται με την παραγωγικότητα του εδάφους, τη βιοποικιλότητα και τις επιπτώσεις των προηγούμενων στο περιβάλλον του αγροτικού συστήματος [18]. Η κοινωνία πάντοτε απαιτεί από την επιστήμη λύσεις [9]. Η μέτρηση και η καταγραφή μιας συγκεκριμένης εδαφικής παραμέτρου που σχετίζεται με μια

διατάραξη του συστήματος ή με καλλιεργητική πρακτική δεν είναι πλέον αρκετή. Θα πρέπει κατά συνέπεια να προτείνονται και κατευθύνσεις για την επίλυση των προβλημάτων.

Η ερευνητική δραστηριότητα θα πρέπει να έχει δύο στόχους,

- 1) Τη βελτίωση της διαχείρισης του εδάφους σε επίπεδο αγρού και σε επίπεδο λεκάνης απορροής.
- 2) Την παρακολούθηση των εδαφών σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο.

Ο πρώτος περιλαμβάνει την καταγραφή (κατά περίπτωση) των καλλιεργητικών πρακτικών και τη λήψη αποφάσεων, έτσι ώστε η σύνδεση μεταξύ ερευνητών και γεωργών να είναι στενότερη για να υπάρξει επιτυχία στην έρευνα. Οι περισσότερες έρευνες προσπαθούν να συνδέσουν τις διαχειριστικές πρακτικές, τα παρατηρήσιμα εδαφικά χαρακτηριστικά (π.χ. δείκτες εδαφικής ποιότητας), τις πορείες που συντελούνται στο έδαφος (π.χ. κύκλοι θρεπτικών στοιχείων), με την αποδοτικότητα των λειτουργιών του εδάφους (π.χ. παραγωγικότητα και ποιότητα περιβάλλοντος). Ασφαλώς η απλή έρευνα μπορεί να περιλαμβάνει μόνο ένα ή δύο από τις προηγούμενες συνδέσεις.

Μερικές από τις σημαντικές κατευθύνσεις για την μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι [19]:

- Η μέτρηση χωρικά και χρονικά της διακύμανσης των εδαφικών χαρακτηριστικών και η χρήση προτύπων διακύμανσης ως δεικτών της ποιότητας του εδάφους.
- Ο προσδιορισμός στη συνέχεια των χαρακτηριστικών μιας υγιούς εδαφικής βιοκοινότητας και η κατεύθυνση της έρευνας προς τη σωστή διαχείρισή της.
- Η περιγραφή και η έρευνα των μεταβολών κατά τη διάρκεια του μεταβατικού σταδίου από τη μια χρήση (με μια σειρά καλλιεργητικών πρακτικών) σε άλλη.
- Η βελτίωση του κύκλου των θρεπτικών στοιχείων με τη σωστή διαχείριση της εδαφικής βιοκοινότητας.
- Η υιοθέτηση τηλεπισκοπικών τεχνικών χαμηλού κόστους για την παρακολούθηση της εδαφικής ποιότητας σε επίπεδο ευρύτερης περιοχής.

## 8. Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ

Στη χώρα μας το Υπουργείο Γεωργίας στα πλαίσια της αειφορικής διαχείρισης των υδατικών, εδαφικών, ενεργειακών στη γεωργία, γενετικών και ανθρώπινων πόρων έχει συστήσει επιτροπές οι οποίες έχουν επεξεργασθεί σε πρώτο στάδιο την κατεύθυνση και τη στρατηγική στους προηγούμενους τομείς.

Για του εδαφικούς πόρους ως βασικός σκοπός της στρατηγικής ετέθη η διατήρηση, βελτίωση και ανόρθωση όλων των λειτουργιών και αξιών των εδαφικών πόρων της Ελλάδας ως συμβολή στην αειφορική ανάπτυξη της Χώρας.

Η στρατηγική περιλαμβάνει [14]:

1. Τη διεύρυνση, εμπάθυνση και βελτίωση της επιστημονικής και τεχνικής γνώσης των λειτουργιών του εδάφους.
2. Τη διάδοση της σχετικής επιστημονικής και τεχνικής γνώσης.
3. Την εξειδίκευση της κάθε λειτουργίας σε σχέση με τις εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές, καθώς και με την επιλογή των βέλτιστων χρήσεων γης για τη διατήρηση της εδαφικής ποιότητας.
4. Την παραγωγή των κατάλληλων εργαλείων τα οποία θα βοηθήσουν το υπουργείο στην ορθολογική λήψη αποφάσεων για τη διατήρηση της εδαφικής ποιότητας στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης της υπαίθρου.

5. Την ανάπτυξη μεθοδολογίας παρακολούθησης των λειτουργιών του εδάφους για την αειφορική διαχείριση των Ελληνικών Εδαφικών Πόρων.
6. Την ευαισθητοποίηση του ευρύτερου κοινού και ειδικών κοινωνικών ομάδων για τις οικονομικές και κοινωνικές ωφέλειες που προκύπτουν από τις λειτουργίες του εδάφους.
7. Την ηθική και υλική στήριξη των κατοίκων που εξαρτώνται από τους Εδαφικούς Πόρους, ώστε να εφαρμόζουν αειφορικότερες πρακτικές διαχείρισης των πόρων αυτών και να συμμετέχουν ενεργά στις δραστηριότητες ανάδειξης της συγκεκριμένης λειτουργίας.
8. Την αποκατάσταση, βελτίωση και ανόρθωση των υποβαθμισμένων λειτουργιών υπό τις σημερινές οικονομικές, τεχνικές και κοινωνικές συνθήκες, στα πλαίσια της ευρύτερης αναβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής.
9. Την πρόληψη του κινδύνου υποβάθμισης της εδαφικής ποιότητας που μπορεί να συμβεί στο μέλλον από φυσικές διεργασίες και από εν εξελίξει ή αναμενόμενες ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Για την επίτευξη των προηγούμενων σκοπών της Εθνικής Στρατηγικής για τους Εδαφικούς Πόρους απαιτούνται ορισμένες δράσεις, οι οποίες μπορούν να καταταγούν στους επόμενους έξι (6) βασικούς άξονες:

1. Την απογραφή και αξιολόγηση εδαφικών πόρων
2. Τη διαχείριση και παρακολούθηση των εδαφικών πόρων
3. Την εκπαίδευση, κατάρτιση και διάδοση της γνώσης της σχετικής με τους εδαφικούς πόρους
4. Την εμπάθунση της γνώσης της σχετικής με τους εδαφικούς πόρους
5. Την κατάρτιση επιπέδων αναφοράς και της σχετικής νομοθεσίας για τους εδαφικούς πόρους της χώρας
6. Τη δημιουργία υποδομών

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Acton, D.F. and Gregorich, L.J. (eds), 1995: The health of our soils. Towards sustainable agriculture in Canada. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Canada.
2. Blum, E.H. 2000. Soil quality indicators based on soil Functions. Third International Congress "Man and Soil at the Third Millennium. Key notes p. 127-129. Valencia
3. Bomans, E. et al., 1996: Development of an agricultural soil quality indicator for the OECD. Report No. 96/AC/011, prepared by the Soil Service of Belgium (cited in the OECD, 1997 report)
4. Doran, J.W. and A.J. Jones (Editors). 1996. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI  
Gregorich, E.G. and M.R. Carter (Editors). 1997. Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science 25. Elsevier, New York. (1-888-437-4636)
5. Doran, J.W. and Parking, T.B., 1994: Defining soil quality for a sustainable environment. Proceedings, Symposium of Division S-3, S-6,S-2, Soil Science Society of America, Division A-5 of the American Society of Agronomy, and the North Central region Committee on Soil Organic Matter (NCR-59), 4-5 November 1992, Minneapolis MN. SSSA Special Publication No. 35



6. Doran, J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (Editors). 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Spec. Publ. 35. Soil Science Society of America, Madison, WI.
7. Doran, J.W., M. Sarrantonio, and M.A. Liebig. 1996. Soil health and sustainability. p.1-54. In: D.L. Sparks (ed.). Advances in Agronomy. Vol. 56. Academic Press, San Diego, CA.
8. Janzen, H.H.; Larney, F.J. and Olson, B.M., 1992: Soil quality factors of problem soils in Alberta. Proceeding, Alberta Soil Science Workshop, Lethbridge, Alberta, Canada
9. Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, and G.E. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61:4-10.
10. Kjærsgaard, T., 1994: The Danish revolution 1500 - 1800: an ecohistorical interpretation. Cambridge University Press.
11. Lal., R. 2000. Soil conservation and restoration to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Third International Congress "Man and Soil at the Third Millennium. Key notes p. 5-20. Valencia
12. Larson, W.E. and Pierce, F.J., 1991: Conservation and enhancement of soil quality. In NN: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Volume 2. Technical Papers. International Board for Soil Research and Management Proceedings No. 12(2), Bangkok, Thailand.
13. Mausbach J. M. and A. Tugel 1997. Soil quality- A multitude of approaches, Keynote address, Kearney Foundation Symposium, California Soil Quality: From Critical Research to Sustainable Management.
14. Μισοπολινός Ν., Αλιφραγκής Δ., Ασημακόπουλος Ι., Δρούγου Στ., Ζαλίδης Γ., Θεοχαρόπουλος Σ., Ψ Μπαλής Κ., Παναγιωτόπουλος Κ., Σταματιάδης Στ., Συλλαιός Ν., Τσαντήλας Χρ., Χαϊντούτη Κ., Ματσή Θ., Μπίλας Γ. 2000. Εθνική Στρατηγική για τους Εδαφικούς Πόρους. Διήμερο Εργασίας με θέμα : «Γεωργία και Περιβάλλον» ΑΘΗΝΑ Μ.Γ.Φ.Ι.
15. Misopolinos N, G. Zalidis, 2000. Status and Trends Concerning the Impacts of Agricultural Practices on Water and Solute Flow Regulation and Partition in the Mediterranean Basin. Third International Congress "Man and Soil at the Third Millennium. Key notes p. 71-79. Valencia
16. NN, 1991: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Volume 2. Technical Papers. International Board for Soil Research and Management Proceedings No. 12(2), Bangkok, Thailand
17. OECD, 1997: Environmental indicators for agriculture. OECD Report
18. Schønning P. 1998. Task Forces of the ESSC. Soil quality. <http://www.zalf.de/essc/essc.htm>
19. SQI, 2000. <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/sqw.html>
20. Stamatiadis, S. and I. Doran, 1999. Soil Health as an Indicator of Sustainable Land Management. International Workshop. "Gaia" Env. Res. & Educ. Center. Athens.

# Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ALFISOLS ΑΠΟ ΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

**Κ. Παπατόλιος, Κ. Παναγιωτόπουλος και Ν. Μπαρμπαγιάννης**  
Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 540 06 Θεσσαλονίκη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η διασπορά της αργίλου μετά από ελάχιστη και παρατεταμένη μηχανική διατάραξη δειγμάτων που είχαν εξισορροπήσει με διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης ηλεκτρολυτών και διαφορετικού SAR. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε συνθήκες παρατεταμένης μηχανικής διατάραξης, η διασπορά της αργίλου αυξήθηκε έως και 25 φορές σε σύγκριση με την ελάχιστη μηχανική διατάραξη. Επίσης αυξήθηκε και η κρίσιμη συγκέντρωση θρόμβωσης της αργίλου όλων των εδαφών που μελετήθηκαν. Οι διαφορές μεταξύ των δύο επιπέδων μηχανικής διατάραξης ήταν στατιστικά σημαντικές ( $p < 0,05$ ).

## THE EFFECT OF MECHANICAL DISTURBANCE ON CLAY DISPERSION OF FOUR ALFISOLS FROM NORTHERN GREECE

**K. Papatolios, K. Panayiotopoulos and N. Barbayiannis**  
Laboratory of Soil Science, School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki, Greece

## ABSTRACT

Clay dispersion of soil samples equilibrated with solutions of different electrolyte concentration, C, and SAR was studied after prolonged and moderate mechanical disturbance. The results showed that clay dispersion was increased with decreasing C and with increasing SAR. It was also found that clay dispersion after prolonged disturbance was up to 25 times greater than clay dispersion after moderate disturbance and the differences between the two mechanical disturbance levels were always significant ( $p < 0,05$ ). Prolonged mechanical disturbance resulted in an increase of critical flocculation concentration of clay of all soils studied.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υποβάθμιση της δομής των εδαφών οφείλεται κυρίως στη διασπορά και στη μετακίνηση της αργίλου, που οδηγεί σε μείωση της ακτίνας ή και στην έμφραξη των πόρων [1]. Το φαινόμενο της διασποράς της αργίλου εμφανίζεται εντονότερο όταν τα εδάφη αρδεύονται με νερό υψηλού SAR. Αυτό οφείλεται στο ότι όταν αυξάνει το ανταλλάξιμο Na και ταυτόχρονα μειώνεται η συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος, η διάχυτη ιονική στιβάδα επεκτείνεται με αποτέλεσμα την αύξηση των απωστικών δυνάμεων μεταξύ γειτονικών τεμαχιδίων που οδηγεί στη διασπορά της αργίλου [2]. Για την εμφάνιση της διασποράς είναι απαραίτητη η μείωση της συγκέντρωσης του εδαφικού διαλύματος (C) κάτω από μια ελάχιστη τιμή η οποία καλείται κρίσιμη συγκέντρωση θρόμβωσης της αργίλου (ΚΣΘ). Άλλες εδαφικές ιδιότητες που επηρεάζουν τη διασπορά της αργίλου είναι α) η περιεκτικότητα σε άργιλο, β) το μέγεθος των τεμαχιδίων και η ορυκτολογία της αργίλου [3], γ) η ύπαρξη συνδετικών υλικών (οργανική ουσία, οξυ-υδροξειδία Fe και Al) [4] και δ) το pH.

Η διασπορά της αργίλου επίσης εξαρτάται από τη διάρκεια και ένταση της μηχανικής διατάραξης που υφίσταται το έδαφος από τις κρούσεις των σταγόνων νερού στην επιφάνεια του κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων ή αρδεύσεων, από τη μηχανική κατεργασία του, ή από την κυκλοφορία γεωργικών οχημάτων και μηχανημάτων κατά την εκτέλεση διαφόρων καλλιεργητικών εργασιών [1].

Η μηχανική διατάραξη που υφίσταται το έδαφος προκαλεί διασπορά της αργίλου ακόμη και σε σχετικά υψηλές τιμές συγκέντρωσης του εδαφικού διαλύματος [5]. Σε συνθήκες έντονων βροχοπτώσεων, παρατηρήθηκε ότι η αυξημένη διασπορά της αργίλου είχε αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων στα εδάφη λόγω σχηματισμού επιφανειακής κρούστας, χαμηλής διηθητικότητας και αυξημένης διαβρωσιμότητας [6].

Για δεδομένες συνθήκες συγκέντρωσης του εδαφικού διαλύματος και SAR, το ποσό της διαμεριζόμενης αργίλου εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια και την ένταση της εφαρμοζόμενης μηχανικής διατάραξης [7]. Τα τελευταία χρόνια το φαινόμενο της διασποράς της αργίλου αποκτά πρόσθετο ενδιαφέρον επειδή, λόγω της συνεχώς αυξανόμενης εντατικοποίησης της Γεωργίας, στα γεωργικά εδάφη εφαρμόζονται αυξημένες μηχανικές επεμβάσεις και χρησιμοποιείται αρδευτικό νερό μη ικανοποιητικής πάντοτε ποιότητας. Παρ' όλη τη σπουδαιότητα του φαινομένου της διασποράς της αργίλου για την παραγωγικότητα των εδαφών, ελάχιστα είναι γνωστά για τα ελληνικά εδάφη. Έτσι, αυτή η εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη της διασποράς της αργίλου τεσσάρων Alfisols από τη Β. Ελλάδα, σε διάφορα επίπεδα τιμών SAR και συγκέντρωσης του εδαφικού διαλύματος, ως συνάρτηση της μηχανικής διατάραξης.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Επιφανειακά (0-30 cm) δείγματα συλλέχθηκαν από την Κερασιά Θεσσαλονίκης (Typic Haploxeralf), τη Γαλάτιστα Χαλκιδικής (Typic Rhodoxeralf) και από το Ζαχαράτο (Typic Rhodoxeralf) και το Πεδινό (Typic Haploxeralf) Κιλκίς. Η επιλογή των εδαφών έγινε με βάση τη διαφοροποίησή τους ως προς τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους, οι οποίες αναμένεται να επηρεάζουν τη διασπορά της αργίλου. Σε όλες τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το κλάσμα μεγέθους τεμαχιδίων <2 mm. Για τον κορεσμό των εδαφικών δειγμάτων με διαλύματα NaCl/CaCl<sub>2</sub> συγκεκριμένης συγκέντρωσης και SAR, 100-120 g εδάφους τοποθετήθηκαν σε προζυγισμένους κυλίνδρους από PVC ύψους 5 και διαμέτρου 6,7 cm που ήταν κλειστοί από κάτω και στη βάση υπήρχε

σωλήνας εκροής. Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε κορεσμό από τη βάση για 48 h, με διαλύματα NaCl/CaCl<sub>2</sub> συγκέντρωσης 500 mmol/L και SAR 0, 5, 10, 20 και 40 (mmol/L)<sup>1/2</sup>. Μετά τον κορεσμό τα δείγματα εκπλύθηκαν με διαλύματα NaCl/CaCl<sub>2</sub> συγκέντρωσης 5, 10, 50 και 100 mmol/L και SAR 0, 5, 10, 20 και 40 (mmol/L)<sup>1/2</sup>. Η εξισορρόπηση των δειγμάτων με τα αντίστοιχα διαλύματα ελεγχόταν με μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εκπλυμάτων και επιτεύχθηκε μετά από έκπλυση με διαλύματα περίπου 35πλάσιου όγκου από τον όγκο των πόρων του κάθε δείγματος. Η μελέτη της διασποράς της αργίλου πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες παρατεταμένης και ελάχιστης μηχανικής διατάραξης και σε δύο διαφορετικά μέσα διασποράς (διαλύματα όμοια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τον κορεσμό των δειγμάτων και απιονισμένο νερό).

Για τη μελέτη της διασποράς της αργίλου σε συνθήκες παρατεταμένης μηχανικής διατάραξης, 1 g από κάθε εδαφικό δείγμα τοποθετήθηκε σε πλαστικό σωλήνα των 50 ml και προστέθηκαν 30 ml διαφορετικού σε κάθε περίπτωση διαλύματος. Οι σωλήνες με τα δείγματα, δύο επαναλήψεις για κάθε συνδυασμό τιμών SAR και συγκέντρωσης του διαλύματος που μελετήθηκαν, υποβλήθηκαν σε παλινδρομική ανακίνηση (100 παλινδρομήσεις / min) για 16 h. Στα αιωρήματα προσδιοριζόταν η άργιλος (< 2 μm) με μέτρηση της οπτικής πυκνότητας (% T) σε μήκος κύματος 640 nm [8].

Για τη μελέτη της διασποράς της αργίλου σε συνθήκες ελάχιστης μηχανικής διατάραξης, 50 g από κάθε εδαφικό δείγμα τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικό κύλινδρο 1 L. Στη συνέχεια, και με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη του δείγματος, προσετίθετο μια ποσότητα διαλύματος ώστε το δείγμα να βρεθεί στην υδατοχωρητικότητα και μετά από ~12 h προσετίθετο η υπόλοιπη ποσότητα διαλύματος μέχρι πλήρωσης του κυλίνδρου. Κατόπιν, οι κύλινδροι αναστρεφόταν με το χέρι για ~30 sec και αφηνόταν να ηρεμήσουν [9]. Από βάθος 10 cm από την επιφάνεια του εδαφικού αιωρήματος και σε χρόνο που αντιστοιχούσε, σύμφωνα με το νόμο του Stokes, σε κλάσμα αργίλου <2 μm γινόταν λήψη δείγματος στο οποίο προσδιοριζόταν η συγκέντρωση της αργίλου όπως και μετά από παρατεταμένη ανακίνηση. Για τη μελέτη της διασποράς της αργίλου σε μέσο διασποράς απιονισμένο νερό ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς διαδικασία με την αντίστοιχη σε μέσο διασποράς διαλύματα NaCl/CaCl<sub>2</sub> όπου όμως ως μέσο διασποράς χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με ανάλυση της παραλλακτικότητας και t-test.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τον Πίνακα 1 φαίνεται ότι τα εδάφη διαφέρουν ως προς τη μηχανική σύσταση, την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) του εκχυλίσματος κορεσμού, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) καθώς και την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Το pH των εδαφών κυμαίνεται από περίπου ουδέτερο έως μετρίως όξινο.

Στον Πίνακα 2 δίνεται η άργιλος σε διασπορά μετά την εξισορρόπηση των δειγμάτων με διαλύματα συγκέντρωσης (C) 5, 10, 50 και 100 mmol/L και SAR 0, 5, 10, 20 και 40 (mmol/L)<sup>1/2</sup> όταν ως μέσο διαμερισμού χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα ίδια με εκείνα με τα οποία εξισορρόπησαν τα δείγματα. Όσον αφορά την παρατεταμένη μηχανική διατάραξη φαίνεται ότι η άργιλος σε διασπορά αυξάνει με την αύξηση του SAR και τη μείωση της C των διαλυμάτων εξισορρόπησης. Συγκεκριμένα, κατά την παρατεταμένη μηχανική διατάραξη οι υψηλότερες τιμές αργίλου σε διασπορά (200,35 g/kg εδάφους) προσδιορίστηκαν όταν το διάλυμα εξισορρόπησης (και διαμερισμού) είχε τη μικρότερη συγκέντρωση (= 5 mmol/L) και το μεγαλύτερο SAR ((= 40 mmol/L)<sup>1/2</sup>). Αντίθετα, οι

Πίνακας 1. Μηχανική σύσταση και ορισμένες βασικές χημικές ιδιότητες των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν

Εδαφος	Άμμος	Ιλύς	Αργίλος <sup>1</sup>	Οργ. ουσ. <sup>2</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>3</sup>	pH <sup>4</sup>	E. C. <sup>5</sup> μS cm <sup>-1</sup>	C.E.C. <sup>6</sup> meq/ 100g
	g kg <sup>-1</sup>							
Κερασιά	535	208	257	10,8	6,1	6,7	601	17,0
Γαλάτισσα	592	228	180	9,3	16,1	6,1	431	9,1
Ζαχαράτο	432	188	380	18,7	20,4	4,9	437	15,1
Πεδινό	520	234	246	34,3	13,6	6,5	467	21,3

<sup>1</sup> μέθοδος σιφωνίου [10]

<sup>2</sup> μέθοδος υγρής καύσης [11]

<sup>3</sup> μέθοδος κιτρικού-διθειονικού Na [12]

<sup>4</sup> σε αιώρημα 1:2,5 [13]

<sup>5</sup> σε εκχύλισμα κορεσμού [14]

<sup>6</sup> μέθοδος οξικού Na-οξικού NH<sub>4</sub> [15]

χαμηλότερες τιμές αργίλου σε διασπορά (1,09 g/kg εδάφους) προσδιορίστηκαν όταν το διάλυμα εξισορρόπησης (και διαμερισμού) είχε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση (100 mmol/L) και το μικρότερο SAR ((=0 mmol/L)<sup>1/2</sup>). Οι μεταβολές αυτές ήταν αναμενόμενες και σε συμφωνία με ευρήματα άλλων ερευνητών [7,9]. Τα μεγαλύτερα ποσά αργίλου σε διασπορά προσδιορίστηκαν στο έδαφος της Κερασιάς (μ. ό.=42,41) και ακολουθούσαν κατά σειρά μειούμενης συγκέντρωσης τα εδάφη του Ζαχαράτου (μ. ό.=23,39), της Γαλάτισσας (μ. ό.=16,05) και του Πεδινού (μ. ό.=15,38 g/kg εδάφους). Στατιστικά σημαντικές (p<0,05) διαφορές δεν βρέθηκαν όμως μεταξύ των εδαφών.

Την ίδια εικόνα παρουσιάζει και η άργιλος σε διασπορά που προσδιορίστηκε μετά από την ελάχιστη διατάραξη, δηλαδή εμφανίζει αύξηση με αύξηση του SAR και μείωση της συγκέντρωσης του διαλύματος εξισορρόπησης (Πίνακας 2). Τα μεγαλύτερα ποσά αργίλου σε διασπορά που προσδιορίστηκε μετά από ελάχιστη μηχανική διατάραξη βρέθηκε στο έδαφος της Κερασιάς (μ. ό.=7,36) και ακολουθούσαν κατά σειρά μειούμενης συγκέντρωσης τα εδάφη του Ζαχαράτου (μ. ό.=4,89), του Πεδινού (μ. ό.=4,76) και της Γαλάτισσας (μ. ό.=2,61 g/kg εδάφους). Στατιστικά σημαντικές (p<0,05) διαφορές αργίλου σε διασπορά δεν βρέθηκαν μεταξύ των εδαφών.

Σε κάθε περίπτωση, το ποσό της αργίλου σε διασπορά που προσδιορίστηκαν μετά από παρατεταμένη μηχανική διατάραξη ήταν μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα ποσά που μετρήθηκαν σε δείγματα που είχαν υποστεί ελάχιστη μηχανική διατάραξη. Όμως ο λόγος της αργίλου σε διασπορά μετά από παρατεταμένη (Π) δια της αργίλου σε διασπορά μετά από ελάχιστη μηχανική διατάραξη (Ε) δεν ήταν σταθερός στις διάφορες συγκεντρώσεις και στα διάφορα SAR που χρησιμοποιήθηκαν αλλά ούτε και σε όλα τα εδάφη που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, η παρατεταμένη μηχανική διατάραξη προκάλεσε, ανάλογα με τη συγκέντρωση και το SAR των διαλυμάτων εξισορρόπησης και διαμερισμού, από 2-πλάσια έως και 25-πλάσια αύξηση της αργίλου σε διασπορά σε σύγκριση με την ελάχιστη διατάραξη. Κατά μέσο όρο, ο λόγος (Π) / (Ε) ήταν μεγαλύτερος στο έδαφος της Γαλάτισσας. Η μεγαλύτερη ευαισθησία του εδάφους της Γαλάτισσας στη μηχανική διατάραξη αποδίδεται στη μικρότερη περιεκτικότητα του σε άργιλο και οργανική ουσία (Πίνακας 1) αλλά και στην υψηλή περιεκτικότητά του σε μαρμαρυγιακά ορυκτά [16]. Οι διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (παρατεταμένη- ελάχιστη μηχανική διατάραξη) ήταν, για κάθε έδαφος ξεχωριστά αλλά

Πίνακας 2. Αργίλος σε διασπορά των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν, σε διάφορες τιμές SAR και συγκέντρωσης διαλύματος εξισορρόπησης και μέσου διαμερισμού, μετά από παρατεταμένη (Π) και ελάχιστη (Ε) ανακίνηση.

Συγκέντρωση διαλύματος	Αργίλος σε διασπορά (g / kg εδάφους)					
	Έδαφος	SAR=0	SAR=5	SAR=10	SAR=20	SAR=40
5 mmol / l	Κερασιά Π	2,74	69,57	105,23	115,81	200,35
	Κερασιά Ε	0,81	7,15	11,47	12,49	48,11
	Γαλάτισσα Π	2,78	16,93	36,83	54,48	71,30
	Γαλάτισσα Ε	0,49	5,88	7,73	8,45	9,77
	Ζαχαράτο Π	3,24	4,78	90,49	108,64	179,70
	Ζαχαράτο Ε	0,86	2,12	3,50	12,45	54,26
	Πεδινό Π	1,30	4,09	36,02	41,73	59,51
	Πεδινό Ε	0,37	1,92	3,57	14,41	30,82
10 mmol / l	Κερασιά Π	2,46	4,56	79,27	91,74	123,80
	Κερασιά Ε	0,52	1,09	10,12	11,26	31,20
	Γαλάτισσα Π	2,72	3,98	9,50	42,82	51,94
	Γαλάτισσα Ε	0,47	1,07	2,45	4,94	5,84
	Ζαχαράτο Π	2,25	3,14	5,55	17,36	34,02
	Ζαχαράτο Ε	0,81	0,94	1,86	3,24	8,98
	Πεδινό Π	1,28	3,61	21,48	27,12	55,98
	Πεδινό Ε	0,34	1,33	3,47	5,65	26,87
50 mmol / l	Κερασιά Π	1,83	3,14	3,29	4,38	23,80
	Κερασιά Ε	0,44	0,59	0,61	0,81	7,36
	Γαλάτισσα Π	2,66	3,01	3,25	4,06	4,79
	Γαλάτισσα Ε	0,37	0,49	0,54	0,57	0,88
	Ζαχαράτο Π	2,21	2,48	3,23	3,31	3,67
	Ζαχαράτο Ε	0,73	0,95	1,01	1,06	1,10
	Πεδινό Π	1,20	1,80	1,83	3,02	47,99
	Πεδινό Ε	0,25	0,28	0,31	0,63	3,19
100 mmol / l	Κερασιά Π	1,22	2,92	3,15	4,25	4,76
	Κερασιά Ε	0,36	0,56	0,58	0,72	1,01
	Γαλάτισσα Π	1,56	1,74	1,93	2,25	2,53
	Γαλάτισσα Ε	0,28	0,39	0,43	0,48	0,63
	Ζαχαράτο Π	1,97	2,11	2,77	3,29	3,57
	Ζαχαράτο Ε	0,64	0,73	0,76	0,82	0,97
	Πεδινό Π	1,09	1,68	1,79	1,98	3,19
	Πεδινό Ε	0,20	0,26	0,29	0,31	0,65

και για το σύνολο των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν, στατιστικά σημαντικές ( $p < 0,05$ ). Τα ποσά της αργίλου σε διασπορά που προσδιορίστηκαν μετά από παρατεταμένη μηχανική διατάραξη και τα αντίστοιχα μετά από ελάχιστη διατάραξη συσχετίζονται ικανοποιητικά μεταξύ τους και σε στατιστικά σημαντικό επίπεδο ( $p < 0,05$ ) και η μεταξύ τους σχέση είναι  $Y = 6,59 + 3,66X$  ( $r = 0,87$ ), όπου  $Y$  και  $X$  είναι η αργίλος αντίστοιχα μετά από παρατεταμένη και μετά από ελάχιστη μηχανική διατάραξη.

Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και όταν χρησιμοποιήθηκε ως διαμεριστικό μέσο απιονισμένο νερό (τα δεδομένα δεν παρουσιάζονται αναλυτικά στην εργασία). Στην

περίπτωση όμως αυτή η άργιλος που προσδιορίστηκε ήταν πάντα μεγαλύτερη από την αντίστοιχη άργιλο που προσδιορίστηκε μετά το διαμερισμό των δειγμάτων με διαλύματα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την εξισορρόπηση των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, μεγαλύτερη διασπορά της αργίλου προκλήθηκε όταν τα διαλύματα εξισορρόπησης είχαν τη μικρότερη συγκέντρωση και το μεγαλύτερο SAR. Το ποσοστό της αργίλου σε διασπορά που προσδιορίστηκε μετά από παρατεταμένη μηχανική διατάραξη ήταν μεγαλύτερο στο έδαφος της Κερασιάς (μ. ό.=94,45) και ακολουθούσαν τα εδάφη από το Ζαχαράτο (μ. ό.=89,42), τη Γαλάτισσα (μ. ό.=44,64) και το Πεδινό (μ.ό.=38,67). Οι διαφορές της αργίλου σε διασπορά μεταξύ των εδαφών ήταν σε ορισμένες περιπτώσεις στατιστικά σημαντικές ( $p < 0,05$ ). Την ίδια σειρά ακολουθούν τα εδάφη και για την άργιλο σε διασπορά που προσδιορίστηκε μετά από ελάχιστη διατάραξη αλλά πάντοτε τα ποσοστά της αργίλου σε διασπορά ήταν μικρότερα από τα αντίστοιχα κατά την παρατεταμένη διατάραξη. Ανάλογα με τη συγκέντρωση και το SAR των διαλυμάτων εξισορρόπησης, η παρατεταμένη (Π) προκάλεσε μέχρι και 12-πλάσια αύξηση της αργίλου σε διασπορά σε σύγκριση με την ελάχιστη (Ε) μηχανική διατάραξη. Κατά μέσο όρο ο λόγος (Π) / (Ε) ήταν σχεδόν ίσος στα εδάφη από τη Γαλάτισσα, το Ζαχαράτο και το Πεδινό. Η αραιώση του εδαφικού διαλύματος, λόγω χρησιμοποίησης απιονισμένου νερού ως διαμεριστικού, φαίνεται να παίζει μεγαλύτερο ρόλο στη διασπορά της αργίλου από αυτές καθ' αυτές τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών και γι' αυτό το λόγο επισκιάζεται ο ρόλος τους στη διασπορά της αργίλου. Οι διαφορές μεταξύ των δύο επιπέδων μηχανικής διατάραξης για κάθε έδαφος ξεχωριστά αλλά και για το σύνολο των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν στατιστικά σημαντικές ( $p < 0,05$ ).

Η διασπορά της αργίλου που προκαλείται εργαστηριακά με διαμεριστικό μέσο το απιονισμένο νερό προσομοιάζει με τη διασπορά που συμβαίνει κατά την είσοδο του νερού της βροχής και την επακόλουθη αραιώση του εδαφικού διαλύματος.

Από τα δεδομένα της εργασίας φαίνεται ότι, για οποιαδήποτε συγκέντρωση και SAR των διαλυμάτων εξισορρόπησης και για οποιοδήποτε μέσο διαμερισμού που χρησιμοποιήθηκε, η παρατεταμένη μηχανική διατάραξη προκάλεσε μεγαλύτερη διασπορά της αργίλου σε σύγκριση με την ελάχιστη μηχανική διατάραξη.

Μια άλλη σημαντική ιδιότητα που επηρεάζεται από τη μηχανική διατάραξη είναι η κρίσιμη συγκέντρωση θρόμβωσης της αργίλου (ΚΣΘ) δηλαδή η ελάχιστη συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος στην οποία η άργιλος παραμένει θρομβωμένη [17]. Από τον Πίνακα 3 φαίνεται ότι σε κάθε περίπτωση η ΚΣΘ είναι μεγαλύτερη μετά από παρατεταμένη διατάραξη σε σύγκριση με την ήπια διατάραξη. Αυτό σημαίνει ότι

Πίνακας 3. Κρίσιμες τιμές συγκέντρωσης θρόμβωσης της αργίλου των εδαφών μετά από παρατεταμένη (Π) και ελάχιστη (Ε) διατάραξη.

Έδαφος	Κρίσιμη συγκέντρωση θρόμβωσης (mmol / l)			
	SAR = 5	SAR = 10	SAR = 20	SAR = 40
Κερασιά Π	9	25	49	96
Κερασιά Ε	4	12	41	65
Γαλάτισσα Π	9	15	30	49
Γαλάτισσα Ε	5	6	8	10
Ζαχαράτο Π	4	13	25	39
Ζαχαράτο Ε	-	-	7	15
Πεδινό Π	3	25	35	89
Πεδινό Ε	-	-	11	28

για να παραμείνει θρομβωμένη η άργιλος ενός εδάφους που δέχεται αυξημένη ή παρατεταμένη μηχανική διατάραξη απαιτείται υψηλότερη συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος σε σύγκριση με το ίδιο έδαφος που υφίσταται ήπια μηχανική διατάραξη.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας συνοψίζονται στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Επιβεβαιώθηκε ότι η άργιλος σε διασπορά οποιουδήποτε εδάφους αυξάνει με τη μείωση της συγκέντρωσης και την αύξηση του SAR του εδαφικού διαλύματος.
2. Η αυξημένη μηχανική διατάραξη προκάλεσε μέχρι και 25πλάσια αύξηση της αργίλου σε διασπορά.
3. Η αυξημένη μηχανική διατάραξη είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της κρίσιμης συγκέντρωσης θρόμβωσης της αργίλου των εδαφών.
4. Επιπλέον λεπτομερής έρευνα απαιτείται για τη μελέτη των συνεπειών των διαφόρων μηχανικών επεμβάσεων και συστημάτων άρδευσης στη διασπορά της αργίλου των γεωργικών εδαφών.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Shainberg, I. and J. Letey, 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* 52: 1-57.
2. Sumner, M.E., 1993. Sodic soils: New perspectives. *Aust. J. Soil Res.* 31: 683-750.
3. Frenkel, H., J. O. Goertzen, and J. D. Rhoades, 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:32-39.
4. Goldberg, S., B. S. Kapoor, and J. D. Rhoades, 1990. Effect of aluminium and iron oxides and organic matter on flocculation and dispersion of arid zone soils. *Soil Sci.* 150:588-593.
5. Rowell, D. L., D. Payne and N. Ahmad, 1969. The effect of the concentration and movement of solution on the swelling, dispersion, and movement of clay in saline and alkali soils. *J. Soil Sci.* 20: 176-188.
6. Agassi, M., J. Morin and I. Shainberg, 1985. Effect of raindrop impact energy and water salinity on infiltration rates of sodic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 186-190.
7. Levy, G. J., H. Eisenberg and I. Shainberg, 1993. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Sci.* 155:15-22.
8. Thelcier, C. and G. Sposito, 1989. Influence of electrolyte concentration and exchangeable cation on the flocculation of Silver Hill-illite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 711-715
9. Curtin, D., H. Steppuhn, and F. Selles, 1994. Clay Dispersion in Relation to Sodicity, Electrolyte Concentration, and Mechanical Effects. *Soil Sci. Am. J.* 58:955-962.
10. Gee, G.W. and J.W. Bauder, 1986. Particle size analysis. In A. Klute (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods*, 2<sup>nd</sup> edition, p 383-411.
11. Nelson, D. W. and L. E. Sommers, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In C. A. Black et al. (eds) *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbial properties*, p 539-579.



12. Mehra, O.P. and M.L. Jackson, 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite –citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals* 7: 317-327.
13. Peech, M., 1965. Hydrogen-ion activity. In C. A. Black (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties*. p 914-926.
14. Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agric. Handbook no.60. U.S.A. Gov. Print. Office, Washington, DC.
15. Chapman, H.D., 1965. Cation-exchange capacity. In C. A. Black (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties*. p 891-901.
16. Παπατόλιος, Κ. 1999. Μελέτη της διασποράς της αργίλου σε τέσσερα ερυθρά μεσογειακά εδάφη (Alfisol). Μεταπτυχιακή Διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ, σ. 74.
17. van Olphen, H., 1997. *An introduction to clay colloid chemistry* 2nd ed. John Wiley & Sons. New York.

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΝΑΤΡΙΩΣΗΣ ΣΕ ΕΛΑΦΗ ΤΟΥ Ν. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

**Ι.Κ. Μήτσιος<sup>1</sup>, Φ.Α. Γάτσιος<sup>1</sup> και Σ.Α. Φλωράς<sup>2</sup>**

1. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Εργαστήριο Εδαφολογίας
2. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά τα έτη 1996 και 1997 αναλύθηκαν νερά προερχόμενα από 91 γεωτρήσεις του Νομού Μαγνησίας και νερά από τις στραγγιστικές τάφρους της πρώην λίμνης Κάρλας. Σε κάθε δείγμα νερού προσδιορίστηκαν οι χημικοί παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα του νερού για άρδευση. Στα εδάφη της πρώην λίμνης Κάρλας προσδιορίστηκε το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα ανταλλάξιμα κατιόντα  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$  και το ESP. Στα εδάφη της Κάρλας με  $ESP > 15$  ο κίνδυνος νατρίωσης των εδαφών είναι υπαρκτός με αποτέλεσμα τη μείωση της γονιμότητας και καταστροφή της δομής αυτών.

## IRRIGATION WATER EVALUATION, SALINITY AND SODICITY PROBLEMS IN SOILS OF MAGNESIA REGION

**I.K. Mitsios<sup>1</sup>, F.A. Gatsios<sup>1</sup> and S.A. Floras<sup>2</sup>**

1. University of Thessaly, School of Agriculture, Laboratory of Soil Science
2. National Agricultural Research Foundation, (IXTEL)

## ABSTRACT

During the years 1996 and 1997 water samples from 91 irrigation wells, as well as from the drainage ditches of the ex Karla lake plain, were analyzed. In each water sample the chemical parameters were determined. In the soil of the ex Karla lake plain, the rate of pH and electrical conductivity as well as the rate of exchangeable cations  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$  and ESP were measured. In soils with  $ESP > 15$  risk of sodicity is high and the result is the degradation of soil fertility and the soil structure destruction.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιτυχής διαχείριση των νερών άρδευσης είναι ένα πρόβλημα πολύπλοκο που για την επίλυσή του απαιτείται συνεκτίμηση πολλών παραγόντων [4,5,6] όπως :

- Η ποιότητα του νερού άρδευσης.
- Η ρυθμιστική ικανότητα του νερού άρδευσης.
- Η μηχανική σύσταση του εδάφους.
- Το είδος των ορυκτών της αργίλου.
- Το είδος και η σύνθεση των ανταλλάξιμων κατιόντων του εδάφους και το ESP.
- Το είδος της καλλιέργειας για την οποία θα χρησιμοποιηθεί το νερό άρδευσης.

Το υψηλό SAR των νερών άρδευσης και το ESP των εδαφών σε τιμές μεγαλύτερες από 15 [3,4,5] δημιουργούν τις προϋποθέσεις για τη νατρίωση και υποβάθμιση των εδαφών. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αξιολόγηση και ταξινόμηση των νερών από 91 γεωτρήσεις του Ν. Μαγνησίας ως και των νερών από τις στραγγιστικές τάφρους της πρώην λίμνης Κάρλας που χρησιμοποιείται για άρδευση των καλλιέργειών.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Κατά τα έτη 1996 και 1997 στο εργαστήριο εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας αναλύθηκαν νερά προερχόμενα από 91 γεωτρήσεις του Ν. Μαγνησίας και νερά από τις στραγγιστικές τάφρους της λίμνης Κάρλας. Προσδιορίστηκε το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το κάλιο, τα νιτρικά, και νιτρώδη ιόντα, το χλώριο, τα θειικά ιόντα, τα ανθρακικά ιόντα καθώς και τα όξινα ανθρακικά ιόντα. Το κάλιο και το νάτριο προσδιορίστηκαν με το φλογοφωτόμετρο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο ογκομετρικά με διάλυμα EDTA 0,01M [2,5,7] και τα νιτρικά ιόντα προσδιορίστηκαν διερχόμενα από ρινίσματα επιχαλκωμένου καδμίου όπου ανάγονται σχεδόν ποσοτικά προς νιτρώδη ιόντα [1]. Το χλώριο προσδιορίστηκε ογκομετρικά με διάλυμα  $\text{AgNO}_3$  0,014N [2,5,7], τα ανθρακικά και τα όξινα ανθρακικά ιόντα με διάλυμα  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05 N, τα δε θειικά ιόντα προσδιορίστηκαν υπολογιστικά. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  προσδιορίστηκαν με 1M οξικό αμμώνιο (pH=7). Οι περιοχές δειγματοληψίας των εδαφών παρουσιάζονται στο χάρτη 3.

## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την ανάλυση των εδαφών της πρώην λίμνης Κάρλας προκύπτει ότι το ανταλλάξιμο  $\text{Na}^+$  κυμαίνεται από 5 μέχρι 53 cmol/Kg εδάφους, η CEC από 27,3 μέχρι 77 cmol/Kg εδάφους το δε ESP από 14 μέχρι 97. Η στατιστική επεξεργασία των αναλυθέντων δειγμάτων νερού και η ποιοτική κατάταξη αυτών έγινε με βάση τις εξής παραμέτρους:

### 3.1 Κατάταξη με βάση την τιμή του SAR ( Sodium Adsorption Ratio) σύμφωνα με τους Christiansen et al., 1977 και Μήτσος Ι.Κ., 1996.

Η κατάταξη των νερών με βάση το SAR παρουσιάζεται ως εξής :

Νερά με SAR<3	Το 8% των νερών δεν προκαλούν κανένα κίνδυνο νατρίου στο έδαφος
SAR=3-6	Το 26% των νερών προκαλούν μικρό κίνδυνο νατρίου στο έδαφος
SAR=6-12	Το 32% των νερών προκαλούν μεγάλο κίνδυνο νατρίου στο έδαφος

SAR=12-20

Το 5% των νερών προκαλούν πολύ μεγάλο κίνδυνο νατρίου στο έδαφος

SAR>20

Το 29% των νερών είναι ακατάλληλα για άρδευση.

Τα νερά των στραγγιστικών τάφρων της λίμνης Κάρλας κατά την αρδευτική περίοδο παρουσιάζουν κατά μέσο όρο τιμή SAR=71.

### 3.2 Κατάταξη με βάση το % ποσοστό του νατρίου σύμφωνα με τους Christiansen et al., 1977 και Μήτσιοις Ι.Κ., 1996.

Η κατάταξη των νερών με βάση το % ποσοστό του νατρίου (Christiansen et al., 1977 και Μήτσιοις Ι.Κ., 1996) έχει ως εξής :

#### Περιοχή Πηλίου

Άριστη ποιότητα νερού (<40% Na)	σε ποσοστό 16,3%
Καλή ποιότητα νερού (40-60 % Na)	σε ποσοστό 62,8%
Ανεκτή ποιότητα νερού (60-70% Na)	σε ποσοστό 7%
Νερό αμφιβόλου ποιότητας (70-80% Na)	σε ποσοστό 2,3%
Νερό επιβλαβές (80-90% Na)	σε ποσοστό 11,6%
Ακατάλληλο νερό (>90% Na)	σε ποσοστό 0%

#### Περιοχή : Αλυκές, Αγγιάλος και Διμήνη

Άριστη ποιότητα νερού (<40% Na)	σε ποσοστό 7,1%
Καλή ποιότητα νερού (40-60 % Na)	σε ποσοστό 10,7%
Ανεκτή ποιότητα νερού (60-70% Na)	σε ποσοστό 10,7%
Νερό αμφιβόλου ποιότητας (70-80% Na)	σε ποσοστό 17,9%
Νερό επιβλαβές (80-90% Na)	σε ποσοστό 25%
Ακατάλληλο νερό (>90% Na)	σε ποσοστό 28,6%

#### Περιοχή : Βελεστίνου, Ριζομύλου και Κάρλας

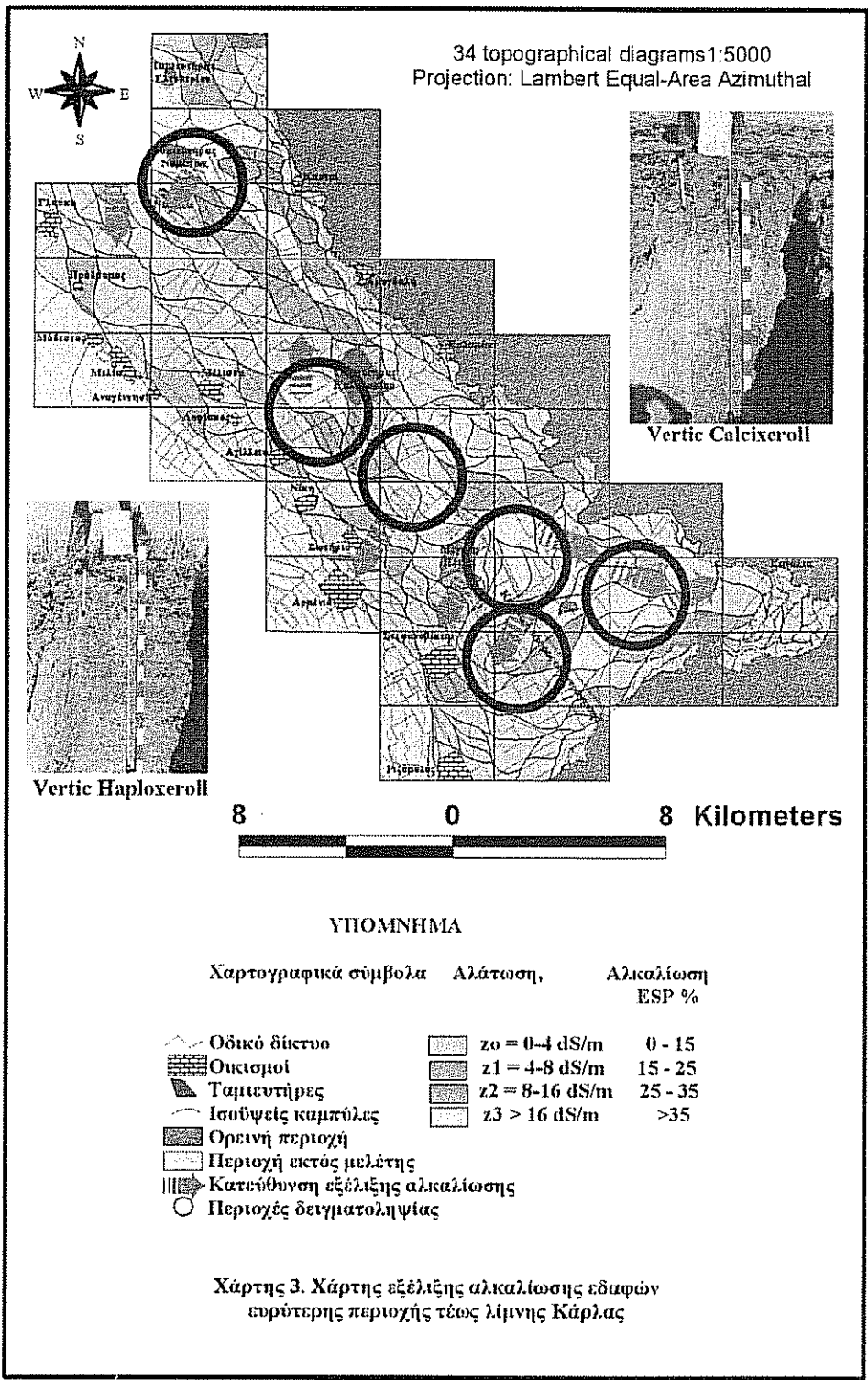
Άριστη ποιότητα νερού (<40% Na)	σε ποσοστό 0%
Καλή ποιότητα νερού (40-60 % Na)	σε ποσοστό 50%
Ανεκτή ποιότητα νερού (60-70% Na)	σε ποσοστό 16%
Νερό αμφιβόλου ποιότητας (70-80% Na)	σε ποσοστό 23%
Νερό επιβλαβές (80-90% Na)	σε ποσοστό 11%
Ακατάλληλο νερό (>90% Na)	σε ποσοστό 0%

Από την ανάλυση των δειγμάτων νερών των στραγγιστικών τάφρων της λίμνης Κάρλα το % ποσοστό του νατρίου ανέρχεται σε 75% και είναι νερό αμφιβόλου ποιότητας για άρδευση και η τιμή του SAR είναι κατά μέσο όρο 71.

Από την ανάλυση των εδαφών της πεδιάδας της πρώην λίμνης Κάρλας προκύπτει το ανταλλάξιμο Na<sup>+</sup> κυμαίνεται από 5 μέχρι 53 cmol<sub>e</sub>/Kg εδάφους, η CEC κυμαίνεται από 27,3 μέχρι 77 cmol<sub>e</sub>/Kg εδάφους, το δε ESP από 14 μέχρι 97. Στο χάρτη 1 παρουσιάζονται τα αλατούχα εδάφη της πεδιάδας της πρώην λίμνης Κάρλας και στο χάρτη 2 τα αλκαλιωμένα εδάφη της πεδιάδας αυτής. Οι χάρτες κατασκευάστηκαν με βάση τις δειγματοληψίες και τις αναλύσεις που έγιναν το 1996. Κατά τα έτη 1998 και 1999 άρθησαν πολλά δείγματα από τα αλατούχα εδάφη που βρίσκονται κοντά στη ζώνη των αλκαλιωμένων εδαφών. Με βάση τα στοιχεία των αναλύσεων της περιόδου 1998-1999 κατασκευάστηκε ο χάρτης 3 ο οποίος παρουσιάζει την επέκταση και την εξέλιξη της αλκαλίωσης στα εδάφη αυτά. Η επέκταση της αλκαλίωσης και η μετατροπή







των αλατούχων εδαφών σε αλκαλιωμένα οφείλεται στη κακή ποιότητα του νερού των στραγγιστικών τάφρων που χρησιμοποιείται για άρδευση των καλλιεργειών. Στα νερά αυτά το % Na ανέρχεται σε 75% και η τιμή του SAR είναι κατά μέσο όρο 71.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο Πήλιο το 13,9% των νερών των γεωτρήσεων περιέχουν Na % > 70, στις δε περιοχές των Αλυκών, Ν. Αγκιάλου και Διμηνίου το ποσοστό ανέρχεται σε 71,5% ενώ στις περιοχές Βελεστίνου, Ριζομύλου και Κάρλας το 34% των νερών από τις γεωτρήσεις περιέχει %Na >70. Τα νερά των γεωτρήσεων αυτών θεωρούνται ακατάλληλα για άρδευση.

Τα νερά των στραγγιστικών τάφρων επειδή έχουν κατά μέσο όρο SAR=71 ως και 75% Na είναι ακατάλληλα για άρδευση των εδαφών της λίμνης Κάρλας. Για τους λόγους αυτούς η αλκαλίωση των εδαφών της πρώην λίμνης Κάρλας επεκτείνεται με ταχείς ρυθμούς με άμεσο κίνδυνο την υποβάθμιση των εδαφών αυτών, τη μείωση της γονιμότητας και την καταστροφή της δομής των εδαφών.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. APHA, AWWA, WPCF, 1989 . Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 17<sup>th</sup> edition, Washington, D.C.
2. Arnold E., Rhodes R. and Lenore S.1985. Standard methods for the examination of water and wastewater.16<sup>th</sup> edition. APHA. ANWA. WPCE :205, 210A, 311C, 314B, 318C, 322B, 325B, 407A, 423.
3. Christiansen, J.E., Olsen, E.G. and Willardson L.S.1977.Irrigation water quality. *J'Irrig. and Drain. Div. (ASCE)*,103 (2) 155-169.
4. Μήτσιος Ι.Κ., 1996. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα (με νάτριο) εδάφη. Ποιοτική κατάταξη των νερών άρδευσης. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα .
5. Μήτσιος Ι.Κ., 1999. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα (2<sup>η</sup> Έκδοση).
6. Rowell. D.L., 1995. Soil Science, Methods and Applications. Longman Group UK Limited.
7. Vogel I. Arthur.1961. A Textbook of Quantitative Inorganic Analysis, Third Edition:16, 18, 128, 137, 139, 141, III21-24, IV1, IV2, IV4-7, IV9,IV17-19, XVII,XVI2,XVIII1.



# **ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**I.K. Μήτσιος, I.G. Σταματοπούλου και A.G. Τσάτσα**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής  
Εργαστήριο Εδαφολογίας

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εφαρμογή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) προκειμένου να συνταχθούν θεματικοί χάρτες με βάση την τιμή του pH, την % περιεκτικότητα σε  $\text{CaCO}_3$  και τον διαθέσιμο P. Για το σκοπό αυτό ελήφθησαν 410 εδαφικά δείγματα από χαρτογραφικές μονάδες των ευρύτερων περιοχών Καρδίτσας, Τρικάλων και Λάρισας στις οποίες καλλιεργείται κυρίως ο καπνός. Με βάση τον φώσφορο κατά Olsen, συντάχθηκαν πίνακες βαθμονόμησης των εδαφών προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο για τη δημιουργία θεματικών χαρτών (1:20.000) γονιμότητας και ρύπανσης των εδαφών.

## **SOIL PHOSPHORUS AVAILABILITY AT DISCRETE SOIL MAP UNITS IN THESSALY REGION**

**I.K. Mitsios, I.G. Stamatopoulou and A.G. Tsatsa**

University of Thessaly, Soil Science Laboratory

## **ABSTRACT**

Soil samples (410) were collected from discrete soil map units of Karditsa, Larisa and Trikala regions and were analyzed for soil pH, for available P and for free calcium carbonate. The soils were characterized by using P indices, according to their level of available P. The acquired data were systemized by means of a Geographical Information System (GIS) and several thematic maps (1:20.000) were compiled. These maps could be used as a tool, in order soil fertility and contamination to be estimated.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο φώσφορος είναι ένα από τα βασικά θρεπτικά στοιχεία του εδάφους ο οποίος σε αρκετές περιπτώσεις βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις [16]. Ένα από τα χαρακτηριστικά του φωσφόρου στο έδαφος είναι η χαμηλή διαλυτότητά του καθώς στα όξινα εδάφη προσροφάται και δημιουργεί ισχυρότατους δεσμούς με οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου και του αργιλίου ενώ στα ασβεστούχα εδάφη δημιουργεί σύμπλοκα με το ασβέστιο και κατακρημνίζεται [8,10,15]. Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου στο έδαφος εξαρτάται από τη συγκέντρωση του στο εδαφικό διάλυμα, από το κλίμα μιας περιοχή και από πολλούς φυσικοχημικούς παράγοντες του εδάφους όπως το pH, το ποσοστό της αργίλου, το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου κ.α. [1,6]. Η έλλειψη του στοιχείου που παρατηρείται πολύ συχνά στις καλλιέργειες οδήγησε στην αλόγιστη χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων με σκοπό την αύξηση της παραγωγής. Η σπατάλη στην κατανάλωση φωσφορικών λιπασμάτων οδηγεί στη μείωση των αποθεμάτων του φωσφόρου τα οποία είναι πολύ περιορισμένα [5]. Τα εδάφη της χώρας μας γίνονται σταδιακά πλούσια σε φώσφορο, δηλαδή έχουν P-Olsen πάνω από 10 ppm [17]. Η συσσώρευση του φωσφόρου στα καλλιεργούμενα εδάφη δημιουργεί έναν ορατό πλέον περιβαλλοντικό κίνδυνο εξαιτίας της μετακίνησης του από το έδαφος με επιφανειακή και υποεπιφανειακή απορροή και με έκπλυση, προς στους υδάτινους αποδέκτες με αποτέλεσμα το φαινόμενο του ευτροφισμού [2,13,20]. Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι είναι απαραίτητη η μελέτη των εδαφών για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του φωσφόρου στα εδάφη, ιδιαίτερα σε περιοχές που καλλιεργούνται εντατικά. Τελευταία, η ανάγκη για βέλτιστη διαχείριση των εδαφικών πόρων οδήγησε στη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για τη δημιουργία ψηφιακών χαρτών οι οποίοι μπορούν να περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό δεδομένων και πληροφοριών που αφορούν μια περιοχή. Με τους ψηφιακούς θεματικούς χάρτες επιτυγχάνεται και η μελέτη της διαθεσιμότητας του θρεπτικού στοιχείου στο χρόνο καθώς η βάση δεδομένων των χαρτών εμπλουτίζεται διαρκώς με την προσθήκη νέων στοιχείων.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της διαθεσιμότητας του εδαφικού φωσφόρου σε 410 εδαφικά δείγματα από περιοχές της Καρδίτσας, της Λάρισας και των Τρικάλων. Στα εδαφικά δείγματα προσδιορίστηκαν ο διαθέσιμος P, το pH και η περιεκτικότητα του  $\text{CaCO}_3$ . Τα εδάφη ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες διαθεσιμότητας σύμφωνα με τους υπάρχοντες δείκτες διαθεσιμότητας εδαφικού φωσφόρου [7,9,14] και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν θεματικοί ψηφιακοί χάρτες με τοπογραφικό υπόβαθρο τους λεπτομερείς εδαφολογικούς χάρτες (1:20.000) του Ινστιτούτου Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Σε αντιπροσωπευτικές χαρτογραφικές μονάδες των υπό μελέτη περιοχών (B334/A00Afx, C434/A01 Axl, B333/A00 Axl, A434/A01 Axl, C233/A00 Axl, κ.α.) συνελέγησαν 410 δείγματα εδάφους από βάθος 0-30cm επειδή το ριζικό σύστημα του καπνού αναπτύσσεται στο βάθος αυτό. Τα εδαφικά δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου αεροξηράθηκαν και πέρασαν από κόσκινα 2mm. Στα δείγματα προσδιορίστηκε στη συνέχεια η τιμή του pH, η περιεκτικότητα των εδαφών σε  $\text{CaCO}_3$  και ο διαθέσιμος φώσφορος.

Το pH του εδάφους προσδιορίστηκε σε εδαφικό υδατικό αιώρημα 1:1 [14], το ανθρακικό ασβέστιο προσδιορίστηκε με το ασβεστόμετρο Bernard [11] και ο

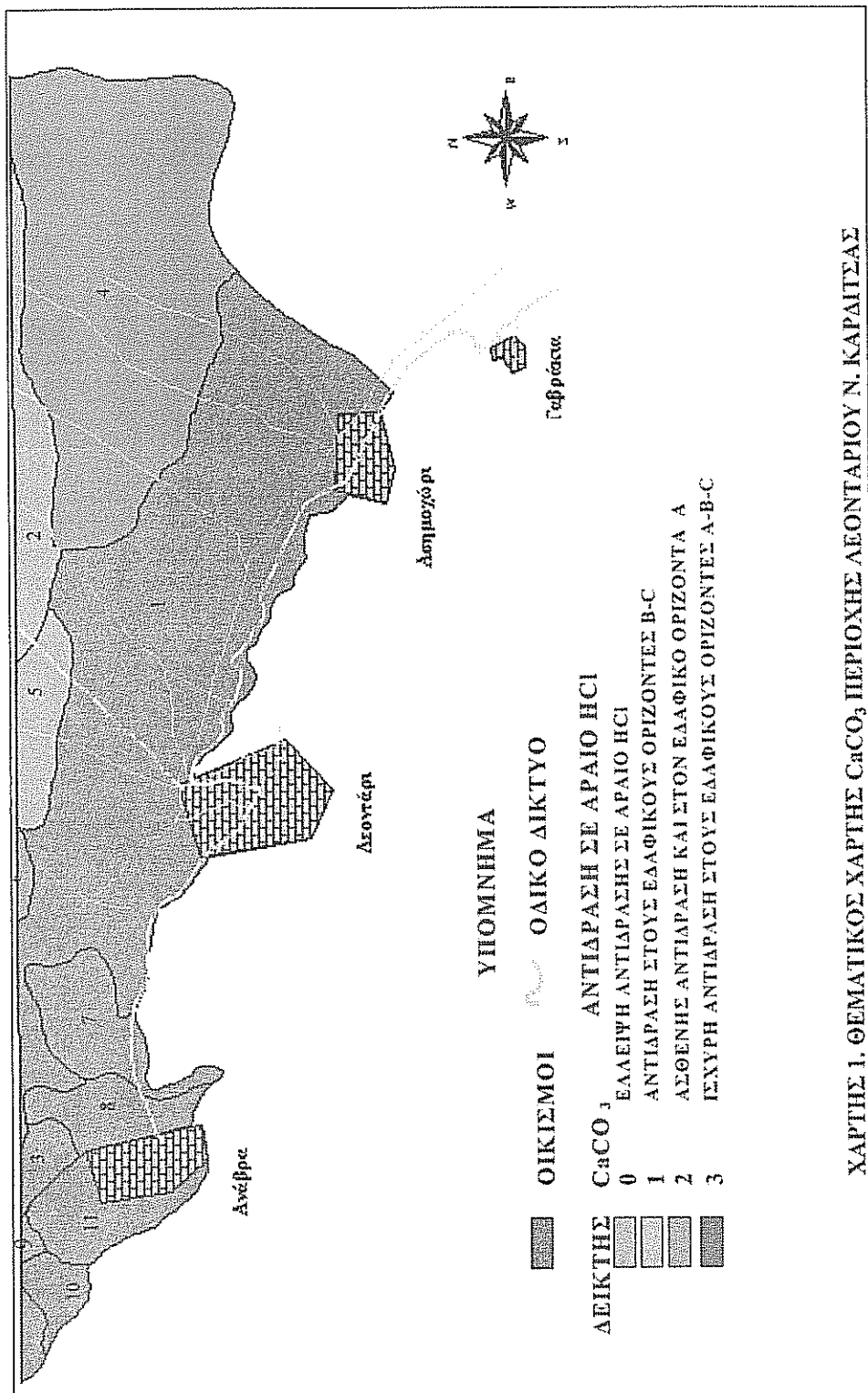
διαθέσιμος φώσφορος προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του Olsen (0,5M NaHCO<sub>3</sub>, pH=8,5, αναλογία εδάφους/εκχυλιστικού 1:20, ανακίνηση 30min) και στο εδαφικό εκχύλισμα προσδιορίστηκε ο φώσφορος χρωματομετρικά (μέθοδος του μολυβδαινικού αμμωνίου-ασκορβικό οξύ), με φασματοφωτόμετρο τύπου Shimadzu UV-120-01 [12]. Εφαρμόστηκε η μέθοδος του Olsen σε όλα τα εδάφη διότι δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα και σε όξινα εδάφη [3,4,18].

Όλα τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για τη δημιουργία θεματικών ψηφιακών χαρτών. Ως τοπογραφικό υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν οι λεπτομερείς εδαφολογικοί χάρτες (1:20.000) που δημιουργήθηκαν στο Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας. Με τη χρήση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών PC ARC/INFO 3.5.2 κατασκευάστηκαν και ψηφιοποιήθηκαν 4 διαφορετικά επίπεδα (layers) τα οποία περιλαμβάνουν: 1) το βασικό χάρτη με τα όρια των χαρτογραφηθέντων περιοχών και τις εδαφικές χαρτογραφικές μονάδες, 2) τους οικισμούς, 3) το οδικό δίκτυο και 4) την ταξινόμηση ανά δείκτη διαθεσιμότητας εδαφικού P, ανά τιμή pH και ανά ποσοστό CaCO<sub>3</sub> των μελετηθέντων περιοχών. Με τη σύνθεση των 4 επιπέδων συντάχθηκαν οι τελικοί θεματικοί χάρτες διαθεσιμότητας των αναλυθέντων στοιχείων. Η τελική απεικόνιση των χαρτών έγινε με το πρόγραμμα PC ArcView.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα εδάφη ταξινομούνται ανάλογα με το ποσοστό και το βάθος στο οποίο βρίσκεται το CaCO<sub>3</sub> ως εξής [9]: 1) εδάφη με δείκτη 0 δεν παρουσιάζουν αντίδραση, 2) εδάφη με δείκτη 1 παρουσιάζουν αντίδραση στους εδαφικούς ορίζοντες B και C της εδαφοτομής, 3) εδάφη με δείκτη 2 παρουσιάζουν ασθενή αντίδραση και στον εδαφικό ορίζοντα A της εδαφοτομής και 4) εδάφη με δείκτη 3 παρουσιάζουν ισχυρή αντίδραση στον εδαφικό ορίζοντα A της εδαφοτομής. Στην περιοχή της Καρδίτσας, σε σύνολο 146 δειγμάτων, 66% των δειγμάτων έχουν δείκτη 0, 32% των δειγμάτων έχουν δείκτη 1, 1% των δειγμάτων έχουν δείκτη 2 και 1% των δειγμάτων έχουν δείκτη 3. Στην περιοχή των Τρικάλων, σε σύνολο 95 δειγμάτων, 12% των δειγμάτων έχουν δείκτη 0, 13% των δειγμάτων έχουν δείκτη 1, 3% των δειγμάτων έχουν δείκτη 2 και 72% των δειγμάτων έχουν δείκτη 3. Στην περιοχή της Λάρισας (Ελασσόνα), σε σύνολο 169 δειγμάτων, 47% των δειγμάτων έχουν δείκτη 0, 26% των δειγμάτων έχουν δείκτη 1, 17% των δειγμάτων έχουν δείκτη 2 και 10% των δειγμάτων έχουν δείκτη 3. Οι αναλύσεις των δειγμάτων επιβεβαίωσαν το χαρτογραφικό σύμβολο των εδαφολογικών μονάδων των περιοχών δειγματοληψίας. Ο πιλοτικός, ψηφιακός θεματικός χάρτης 1 δημιουργήθηκε με βάση το ποσοστό του CaCO<sub>3</sub> στο έδαφος. Οι εδαφολογικές μονάδες B434/A00 Axh (1), C435/A01 Vxc (2) και A3\*3\*4\*/A00 Eox (3) χαρακτηρίστηκαν σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων ενώ οι εδαφολογικές μονάδες C435/A02 Vxc (4), B334/A01 Axh (5), B334/A02 Iox (6), B434/B10 Axh (7), B4\*3\*5\*/A00 Ioxv (8), C434/A00 Axh (9), B434/B10 Axh (10) και A3\*3\*4\*/B00 Eox (11) χαρακτηρίστηκαν σύμφωνα με τον δείκτη ποσοστού CaCO<sub>3</sub> του χαρτογραφικού συμπλόκου [19].

Τα εδάφη ταξινομήθηκαν επίσης με βάση την τιμή του εδαφικού pH σε: 1) πολύ ισχυρώς όξινα με pH από 4 έως 5, 2) ισχυρώς όξινα με pH από 5 έως 5,8, 3) μετρίως όξινα με pH από 5,8 έως 6,5, 4) ουδέτερα με pH από 6,5 έως 7,5, 5) αλκαλικά με pH από 7,5 έως 8,5 και 6) αλκαλιωμένα με pH >8,5. Στην περιοχή της Καρδίτσας, σε σύνολο 146 δειγμάτων, 10% των δειγμάτων είναι πολύ ισχυρώς όξινα, 17% των δειγμάτων είναι ισχυρώς όξινα, 27% των δειγμάτων είναι μετρίως όξινα, 39% των



ΧΑΡΤΗΣ 1. ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ  $CaCO_3$  ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΕΟΝΤΑΡΙΟΥ Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

δειγμάτων είναι ουδέτερα και 7% των δειγμάτων είναι αλκαλικά. Στην περιοχή των Τρικάλων, σε σύνολο 95 δειγμάτων, 3% των δειγμάτων είναι μετρίως όξινα, 16% των δειγμάτων είναι ουδέτερα και 81% των δειγμάτων είναι αλκαλικά. Στην περιοχή της Λάρισας (Ελασσόνα), σε σύνολο 169 δειγμάτων, 2% των δειγμάτων είναι πολύ ισχυρώς όξινα, 19% των δειγμάτων είναι ισχυρώς όξινα, 19% των δειγμάτων είναι μετρίως όξινα, 28% των δειγμάτων είναι ουδέτερα και 32% των δειγμάτων είναι αλκαλικά. Στον πιλοτικό, ψηφιακό χάρτη 2 παρουσιάζεται το εύρος του εδαφικού pH στις χαρτογραφικές μονάδες B434/A00 Aχh, C435/A01 Vxc και A3'3'4'/A00 Eox.

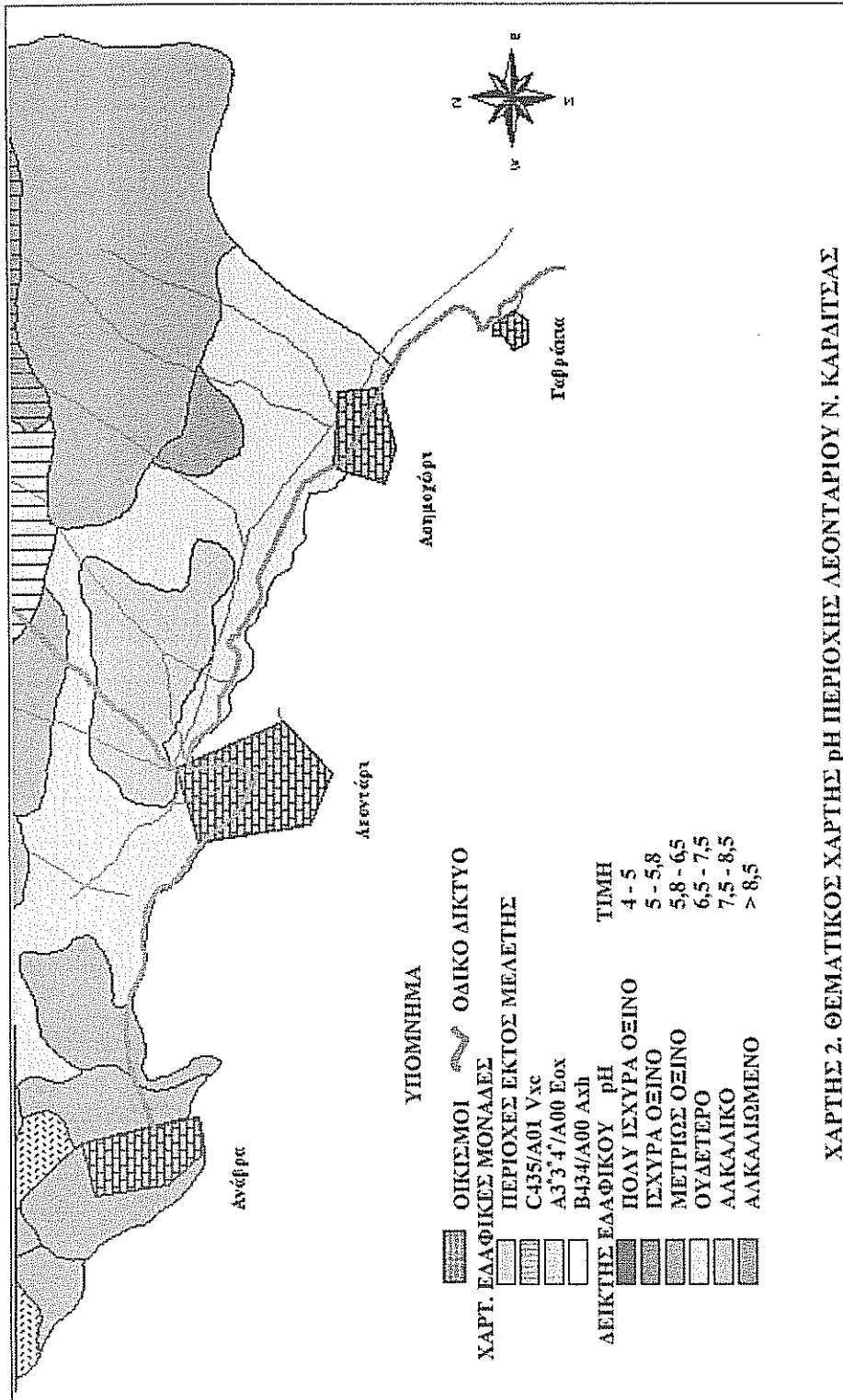
Η ταξινόμηση των εδαφών σε διαθεσιμότητα εδαφικού P έγινε με βάση τους δείκτες διαθεσιμότητας εδαφικού φωσφόρου [7,14] οι οποίοι περιλαμβάνουν τις εξής 6 κατηγορίες: 1) ο δείκτης 0 χαρακτηρίζει τα εδάφη με διαθέσιμο P 0-9 ppm ή 0-2,3 Kg/στρ (η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους στα εδάφη αυτά είναι περίπου 1,25gr/cm<sup>3</sup> εδάφους, οπότε το στρέμμα σε βάθος 20cm έχει μάζα 250t), 2) ο δείκτης 1 χαρακτηρίζει τα εδάφη με διαθέσιμο P 10-15 ppm ή 2,4-3,8 Kg/στρ, 3) ο δείκτης 2 χαρακτηρίζει τα εδάφη με διαθέσιμο P 16-25 ppm ή 3,9-6,3 Kg/στρ, 4) ο δείκτης 3 χαρακτηρίζει τα εδάφη με διαθέσιμο P 26-45 ppm ή 6,4-11,3 Kg/στρ, 5) ο δείκτης 4 χαρακτηρίζει τα εδάφη με διαθέσιμο P 46-70 ppm ή 11,3-17,5 Kg/στρ και 5) ο δείκτης 5 χαρακτηρίζει τα εδάφη με διαθέσιμο P 71-100 ppm ή 17,5-25 Kg/στρ. Στην περιοχή της Καρδίτσας, σε σύνολο 146 δειγμάτων, 2% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 0, 8% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 1, 29% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 2, 48% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 3, 12% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 4 και 1% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 5. Στην περιοχή των Τρικάλων, σε σύνολο 95 δειγμάτων, 6% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 0, 24% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 1, 38% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 2, 29% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 3 και 3% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 4. Στην περιοχή της Λάρισας (Ελασσόνα), σε σύνολο 169 δειγμάτων, 11% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 0, 27% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 1, 41% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 2, 16% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 3, 4% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 4 και 1% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται με δείκτη 5. Ο πιλοτικός, ψηφιακός θεματικός χάρτης 3 απεικονίζει τη διαθεσιμότητα του εδαφικού P στις εδαφολογικές μονάδες B434/A00 Aχh, C435/A01 Vxc και A3'3'4'/A00 Eox.

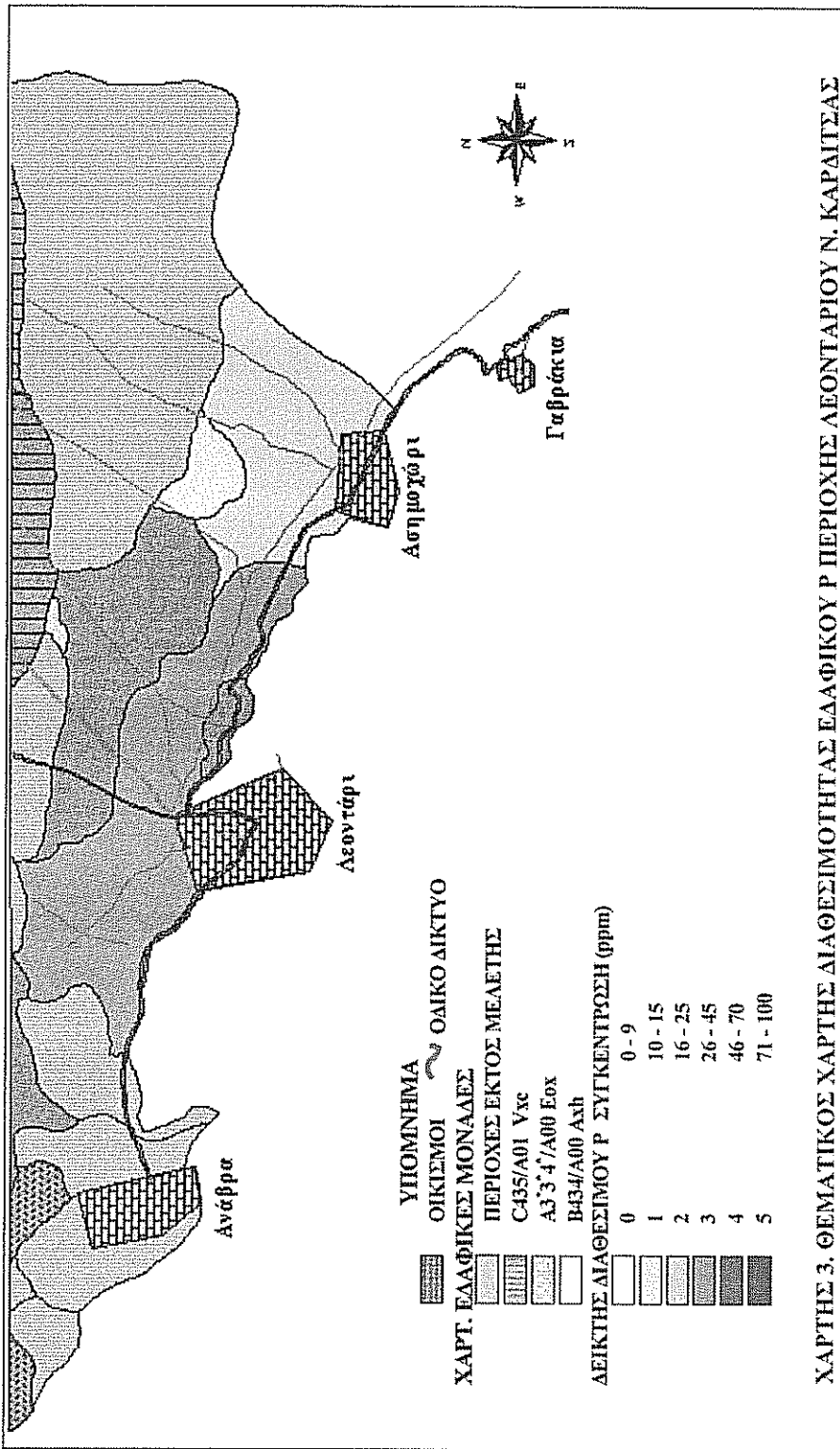
Από τη μελέτη των θεματικών χαρτών 1, 2 και 3 προκύπτει ότι η διαθεσιμότητα του εδαφικού P αυξάνει στις περιοχές με pH 5,8-7,5 και δείκτη CaCO<sub>3</sub> 0, ενώ μειώνεται σταδιακά καθώς αυξάνει η τιμή του pH και το ποσοστό του CaCO<sub>3</sub>. Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία [1,6,8,10,15,16], τα αποτελέσματα συμπίπτουν με αποτελέσματα άλλων ερευνητών.

## 1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των θεματικών χαρτών 1, 2 και 3 προκύπτει ότι η διαθεσιμότητα του εδαφικού P αυξάνει στις περιοχές με pH 5,8-7,5 και δείκτη CaCO<sub>3</sub> 0, ενώ μειώνεται σταδιακά καθώς αυξάνει η τιμή του pH και το ποσοστό του CaCO<sub>3</sub>.

Στην περιοχή της Καρδίτσας, το 61% των μελετηθέντων περιοχών χαρακτηρίζονται από δείκτες διαθεσιμότητας 3, 4 και 5 οπότε για τις περισσότερες καλλιέργειες δεν αναμένεται αντίδραση σε φωσφορική λίπανση στις περιοχές αυτές.





ΧΑΡΤΗΣ 3. ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΕΛΛΗΦΙΚΟΥ Ρ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΕΟΝΤΑΡΙΟΥ Ν. ΚΑΡΑΙΤΖΑΣ

Στην περιοχή των Τρικάλων, το 32% των μελετηθέντων περιοχών χαρακτηρίζονται από δείκτες διαθεσιμότητας 3, 4 και 5 οπότε για τις περισσότερες καλλιέργειες δεν αναμένεται αντίδραση σε φωσφορική λίπανση στις περιοχές αυτές.

Στην περιοχή της Λάρισας (Ελασσόνα), το 21% των μελετηθέντων περιοχών χαρακτηρίζονται από δείκτες διαθεσιμότητας 3, 4 και 5 οπότε για τις περισσότερες καλλιέργειες δεν αναμένεται αντίδραση σε φωσφορική λίπανση στις περιοχές αυτές.

Μεγάλο ποσοστό των εδαφών που καλλιεργούνται με καπνό στις περιοχές Καρδίτσας, Τρικάλων και Λάρισας είναι πλούσια σε φώσφορο και δεν αναμένεται να έχουν αντίδραση σε οποιαδήποτε δόση φωσφορικής λίπανσης.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barber, S.A., 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 21. ASA-CSSA-SSSA, USA.
2. Catt, J.A., Howse, K.R., Farina, R. Brockie, D., Todd, A., Chambers, B.J., Hodgkinson, R., Harris, G.L. and Quinton, J.N., 1998. Phosphorus losses from arable land in England. *Soil Use and Management*, 14, 168-174.
3. Farina, M.P.W., and P. Channon. 1979. A comparison of several P availability indexes. *Gewasproduksie* 8: 165-169.
4. Fixen P.E. and J.H. Grove., 1990. Testing soil for phosphorus. *Soil Testing and Plant Analysis*. SSSA Book Series: 3.
5. Holford, I.C.R., 1997. Soil Phosphorus: its measurement and its uptake by plants. *Aust. J. Soil Res.*, 35, 227-39.
6. Kamprath E.J. and Watson, M.E., 1980. 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 16. ASA-CSSA-SSSA, USA.
7. MAFF, 1988. Fertilizer Recommendations. Reference Book 209. HMSO, London.
8. Μήτσιος, Ι.Κ., 1999. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
9. Μήτσιος, Ι.Κ. et al., 2000. Εδαφολογική Μελέτη και Εδαφολογικός Χάρτης του αγροκτήματος του Π.Θ. στην περιοχή Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
10. Morgan, M.A., 1997. Phosphorus Loss from Soil to Water, Chapter 6. CAB International, UK.
11. Nelson, R.E., 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA-SSSA, USA.
12. Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. ASA-SSSA, USA.
13. Ritchie, G.S.P. and Weaver, D.M. 1993. Phosphorus retention and release from sandy soils of the Peel-Harvey catchment. *Fertilizer Research*, 36, 115-122.
14. Rowell, D.L., 1995. Soil Science, Methods and Application. Longman Group UK.
15. Sample, E.C., Soper, R.J. and Racz, G.J., 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 11. ASA-CSSA-SSSA, USA.
16. Sharpley, A., 2000. Handbook of Soil Science. CRC PRESS LLC.
17. Simonis, A. B., Bladenopoulou, S.B., 1990. Residual phosphate studies on calcareous soils. *10<sup>th</sup> World Fertilizer Congress of CIEC*. Nicosia Cyprus.
18. Smyth, T.J., and P.A. Sanchez. 1980. Phosphate rock and superphosphate combinations for soybeans in a Cerrado Oxisol. *Agron. J.* 74: 730-735.
19. Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Soil Conservation Service. USDA. Agr. Handbook, No 436. Washington D.C. 20402. USA.
20. Tunney, H., Carton, O.T., Brookes, P.C. and Johnston A.E., 1997. Phosphorus Loss from Soil to Water, Chapter 6. CAB International, UK.





# *Αγροτικές Κατασκευές*



# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΜΕ ΔΕΝΤΡΑ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Γ. Παπαδάκης\*, Π. Τσάμης\*\*, Ε. Μαλιδέρου, Σ. Κυρίτσης

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Τομέας: Γεωργικών Κατασκευών και Γεωργικής Μηχανολογίας  
Ιερά Οδός 75, GR 11855, Αθήνα  
E-mail: \* [gpap@aua.gr](mailto:gpap@aua.gr), \*\* [egme@aua.gr](mailto:egme@aua.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια πειραματική διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με στόχο να προσδιορίσει την επίδραση της εφαρμογής δέντρων για περιορισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στα κτίρια. Διάφορες φυσικές παράμετροι μετρήθηκαν σε δύο περιοχές στον ίδιο τοίχο ενός κτιρίου, η μια περιοχή του οποίου σκιάζονταν από δέντρα ενώ η άλλη όχι. Τα δεδομένα των μετρήσεων μιας ιδιαίτερα θερμής καλοκαιρινής περιόδου συγκρίθηκαν με στόχο να δείξουν τα έντονα φαινόμενα ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δέντρα αποτελούν μια εξαιρετική μέθοδο σκίασης.

## AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PLANTS SHADING TO SOLAR CONTROL OF BUILDINGS

G. Papadakis\*, P. Tsamis\*\*, E. Maliderou, S. Kyritsis

Agricultural University of Athens, Dept. of Agriculture Engineering,  
75 Iera Odos street, GR 11855, Athens, Greece  
E-mail: \* [gpap@aua.gr](mailto:gpap@aua.gr), \*\* [egme@aua.gr](mailto:egme@aua.gr)

## ABSTRACT

An experimental investigation was carried out to analyse the effect of using trees for solar control of buildings by shading. Several physical parameters were measured in two areas on the same façade of a building. Trees shaded one part of the façade while the other one was clear. Comparisons were made for a hot summer period between these two areas so as to determine the heat exchanges with the surrounding environment. Results indicated that plants constitute an excellent passive cooling system plus they offer significant advantages over a normal awning.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θερμική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων κατά την διάρκεια του καλοκαιριού είναι σημαντική, ιδιαίτερα σε μεγάλες πόλεις, όπου οι συνήθεις παρατηρούμενες θερμοκρασίες είναι υψηλότερες εξαιτίας των αυξημένων κυκλοφοριακών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων αλλά και της έλλειψης πρασίνου. Την ίδια στιγμή παρατηρείται μια μεγάλη ανάγκη για ικανοποιητικές συνθήκες διαβίωσης ειδικά στους χώρους εργασίας όπου οι άνθρωποι περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Σήμερα υπάρχει η τάση να χρησιμοποιούνται κλιματιστικά συστήματα για να βελτιωθεί η θερμική άνεση στα κτίρια. Γι' αυτό το λόγο η ιδέα να χρησιμοποιηθούν φυτά και δέντρα γύρω από κτίρια και ειδικά στην Νοτιοανατολική πλευρά, με στόχο τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων από την υψηλή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κτίριο και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, αποκτά τώρα ιδιαίτερο ενδιαφέρον [1],[2]. Τα χρησιμοποιούμενα δέντρα μπορεί να είναι φυλλοβόλα δηλαδή το καλοκαίρι τα φύλλα τους να σκιάζουν το κτίριο, ενώ το χειμώνα - που τα φύλλα έχουν πέσει - επιτρέπουν στις ηλιακές ακτίνες να απορροφηθούν ελεύθερα από το κτίριο. Αυτή η μέθοδος παθητικού δροσισμού οδηγεί σε περιορισμό της χρήσης των κλιματιστικών συστημάτων. Αποτέλεσμα του περιορισμού αυτού είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και ιδιαίτερα η μείωση της κορυφής ζήτησης που παρατηρείται κατά την διάρκεια της ημέρας. Η ημερήσια κορυφή ζήτησης μπορεί να είναι 4 με 5 φορές υψηλότερη από την μέση ημερήσια κατανάλωση, κάνοντας φανερό το πρόβλημα που αυτή δημιουργεί στην ΔΕΗ [3]. Η εφαρμογή φυτών στα κτίρια, εκτός από αισθητικούς σκοπούς, εξυπηρετεί και ενεργειακούς στόχους καθώς επιτυγχάνεται μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Σε αυτή της εργασία έγινε μια μελέτη σχετικά με την επίδραση των δέντρων στη μεταφορά θερμότητας μεταξύ μιας πλευράς ενός κτιρίου και του περιβάλλοντος. Για αυτό το λόγο εγκαταστάθηκε ένα πείραμα στη ΝΑ πλευρά ενός κτιρίου στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Μια ομάδα οργάνων τοποθετήθηκε σε περιοχή του τοίχου που σκιάζονταν από δέντρα, ενώ μια άλλη ομάδα σε μια περιοχή ελεύθερη από σκιά. Έγινε σύγκριση των διάφορων μετρούμενων παραμέτρων μεταξύ σκιασμένης και μη σκιασμένης περιοχής, σχετικά με τη θερμοκρασία του αέρα, της επιφάνειας, την μεταφορά ενέργειας προς και από τον τοίχο, την ταχύτητα του ανέμου και την σχετική υγρασία του αέρα.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για το πείραμα δυο ομάδες οργάνων χρησιμοποιήθηκαν, η μία τοποθετήθηκε στη σκιασμένη περιοχή από φυλλοβόλα δέντρα (*Caesalpinaceae*, *Gleditschia Triacanthus*) - στο εξής θα αναφέρεται και ως περιοχή 1 - και η άλλη ομάδα σε ελεύθερη από σκιάς περιοχή - περιοχή 2. Οι περιοχές 1 και 2 είχαν μέγεθος περίπου 1.5m επί 1.5m σε ένα ύψος 3m από την επιφάνεια του εδάφους και η μεταξύ τους απόσταση ήταν περίπου 7m. Πίσω από τον τοίχο όπου έγινε το πείραμα υπήρχαν γραφεία όπου οι συνθήκες και η θερμοκρασία ήταν παρόμοιες.

Κάθε ομάδα οργάνων αποτελούνταν από τα παρακάτω:

- Ένα πυρανόμετρο, για τη μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, τοποθετημένο κάθετα (κάθετο επίπεδο του τοίχου). Η ένδειξη του οργάνου είναι αποτέλεσμα της άμεσης αλλά και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας από το περιβάλλον.

- Ένα ακτινόμετρο καθαρής ακτινοβολίας για τη μέτρηση του ισοζυγίου ηλιακής και θερμικής ακτινοβολίας τοποθετημένο στο κάθετο επίπεδο του τοίχου.
- Ένα μετρητή θερμικής ροής στην επιφάνεια του τοίχου και μετρά την εισερχόμενη ή εξερχόμενη θερμική ροή.
- Ένα συνδυασμένο όργανο που μετρά την θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα σε απόσταση περίπου 15cm από την επιφάνεια του τοίχου.
- Ένα ανεμόμετρο που μετρά την ταχύτητα του ανέμου σε απόσταση περίπου 20cm από την επιφάνεια του τοίχου.
- Τρία θερμοζεύγη χαλκού-κωνσταντάνης (τύπου T) τα οποία τοποθετήθηκαν πάνω στην επιφάνεια του τοίχου και κάτω από το οπτικό πεδίο του ακτινομέτρου. Επίσης ένα ίδιο θερμοζεύγος ήταν τοποθετημένο κάτω από το θερμοροόμετρο.

Επίσης υπήρχε ένα θερμόμετρο τοποθετημένο σε μεγάλη απόσταση από τον χώρο του πειράματος αλλά στο ίδιο κτίριο και μετρούσε την θερμοκρασία του αέρα.

Όλα τα παραπάνω όργανα ήταν συνδεδεμένα με ένα καταγραφικό σύστημα, όπου τα δεδομένα συλλέγονταν και ο μέσος όρος μιας περιόδου 3 λεπτών καταγραφόταν ως η μέση τιμή. Η ένδειξη των τριών θερμοζευγών χρησιμοποιείτο ώστε ο μέσος όρος των τριών να δίνει την μέση θερμοκρασία του τοίχου.

Για να υπολογιστεί το ολικό ποσό ενέργειας που προσπίπτει αλλά και απορροφάται υπολογίστηκαν τα ολοκληρώματα για τις τιμές του ακτινομέτρου αλλά και του θερμορομέτρου. Η τιμή για το καθένα και για την διάρκεια του 24ώρου υπολογίστηκε ως εξής:

$$N_j = \sum_{i=1}^{480} N_{j,i} t \qquad F_j = \sum_{i=1}^{480} F_{j,i} t \qquad (1)$$

όπου  $j=1,2$  (περιοχή 1 και 2),  $N_{j,i}$  και  $F_{j,i}$  οι μέσες τιμές της καθαρής ακτινοβολίας και της θερμικής ροής αντίστοιχα, που καταγράφονται για το χρονικό διάστημα των 3 λεπτών,  $i=1,2,3 \dots 480$  (480 είναι ο αριθμός των 3λεπτων διαστημάτων μιας μέρας) και  $t$  το χρονικό διάστημα των 3 λεπτών σε δευτερόλεπτα ( $t=180s$ ).

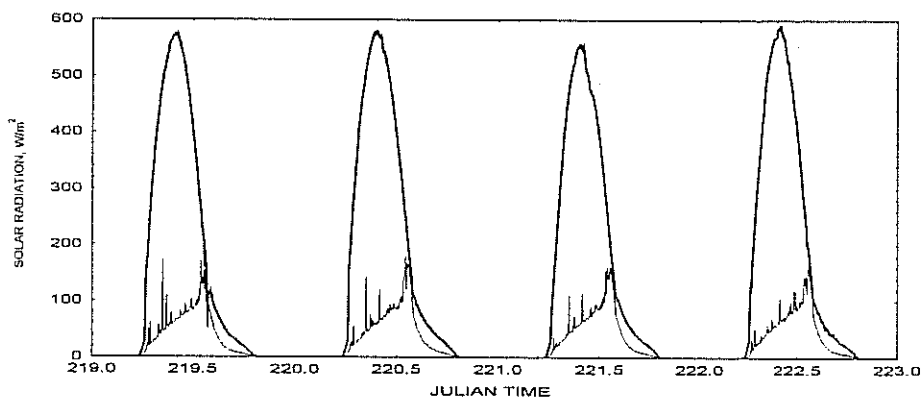
### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Για να εκτιμηθεί η επίδραση των δέντρων στην ανταλλαγή ενέργειας και θερμότητας μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος συγκρίθηκαν οι μετρούμενες φυσικές παράμετροι που καταγράφηκαν για σκιασμένη και μη σκιασμένη περιοχή. Μία περίοδος 4 ημερών, η θερμότερη, από 7/8/99 έως 10/8/99 επιλέχθηκε με στόχο να δείξει έντονα φαινόμενα ανταλλαγής ενέργειας.

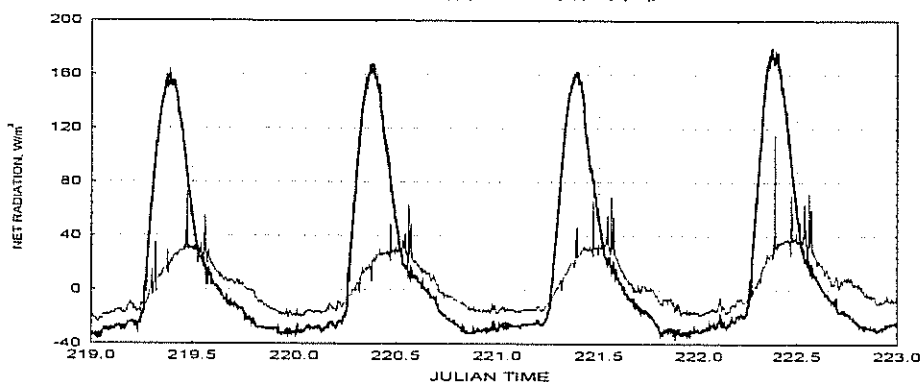
Παρατηρώντας το σχήμα 1 η επίδραση της σκίασης γίνεται αμέσως αντιληπτή. Τα φύλλα των δέντρων εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει μέχρι το επίπεδο του τοίχου. Το πυρανόμετρο στην περιοχή 1 μετρά σχεδόν συνέχεια την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία από το περιβάλλον. Οι κορυφές που παρατηρούνται στο σχήμα για την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή 1 οφείλονται σε μικρά κενά (παράθυρα) τα οποία επιτρέπουν στις ηλιακές ακτίνες να πέσουν απ' ευθείας πάνω στο όργανο. Όπως φαίνεται η μέγιστη ένταση ηλιακή ακτινοβολίας για την περιοχή 2 είναι περίπου  $600 \text{ W/m}^2$  ενώ για την περιοχή 1 η μέγιστη ένταση παρατηρείται σε κορυφή που με δυσκολία αγγίζει τα  $180 \text{ W/m}^2$ .

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η ένταση την καθαρής ακτινοβολίας στο επίπεδο του τοίχου αντίστοιχα για τις περιοχές 1 και 2. Η ένδειξη του οργάνου μεταφράζεται ως το ισοζύγιο των ακτινοβολιών στην επιφάνεια του τοίχου. Η τιμή της έντασης της

καθαρής ακτινοβολίας για την περιοχή 2 είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν της περιοχής 1 για το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Στο ίδιο σχήμα επίσης παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια της νύχτας η ένταση της καθαρής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη (λιγότερο αρνητική) από αυτήν της περιοχής 2. Το παραπάνω φαινόμενο εξηγείται με την παρουσία των δέντρων τα οποία με τον ίδιο τρόπο που εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στην επιφάνεια του τοίχου αντίστοιχα εμποδίζουν την επιφάνεια του τοίχου να ακτινοβολήσει ελεύθερα προς το περιβάλλον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο ποσό ενέργειας να εκπέμπεται από τον τοίχο στην περιοχή 1 όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.

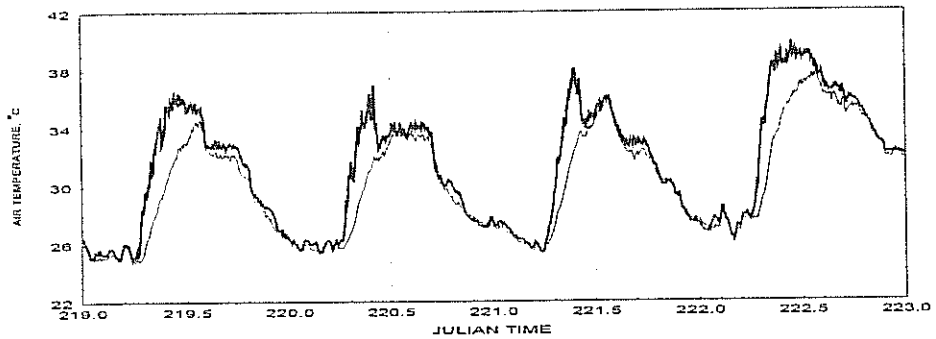


Σχήμα 1. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για την σκιασμένη (λεπτή γραμμή) και μη σκιασμένη περιοχή (έντονη γραμμή).

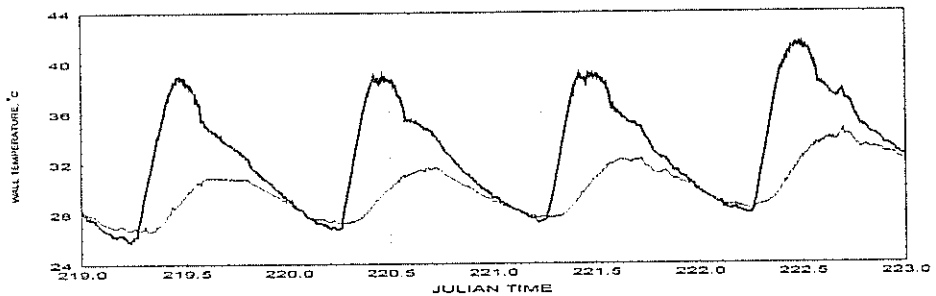


Σχήμα 2. Η ένδειξη του ακτινομέτρου καθαρής ακτινοβολίας για την σκιασμένη (λεπτή γραμμή) και μη σκιασμένη περιοχή (έντονη γραμμή).

Κατά την διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία του αέρα στην περιοχή 1 παραμένει σημαντικά χαμηλότερη από τη αντίστοιχη της περιοχής 2 όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Αυτό εξηγείται ως εξής: κατά την διάρκεια της μέρας στην σκιασμένη περιοχή η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από αυτή του τοίχου (σχήμα 4), αποτέλεσμα αυτού είναι ο αέρας να χάνει θερμότητα με συναγωγή προς τον τοίχο. Το αντίθετο συμβαίνει για την μη σκιασμένη περιοχή όπου ο αέρας θερμαίνεται με συναγωγή από τον θερμότερο τοίχο.

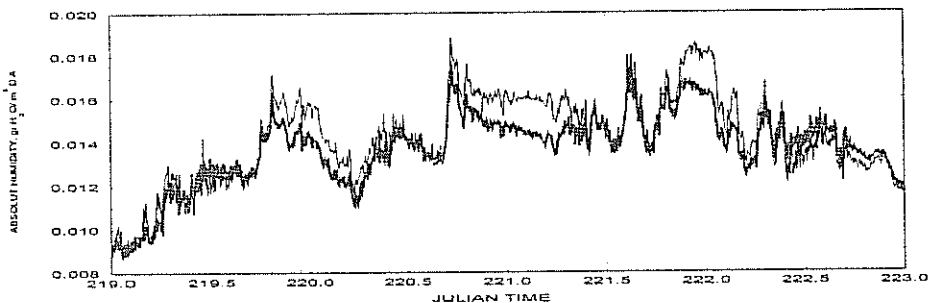


Σχήμα 3. Η θερμοκρασία του αέρα στη σκιασμένη (λεπτή γραμμή) και μη σκιασμένη περιοχή (έντονη γραμμή).



Σχήμα 4. Η θερμοκρασία της επιφάνεια του τοίχου στη σκιασμένη (λεπτή γραμμή) και μη σκιασμένη περιοχή (έντονη γραμμή).

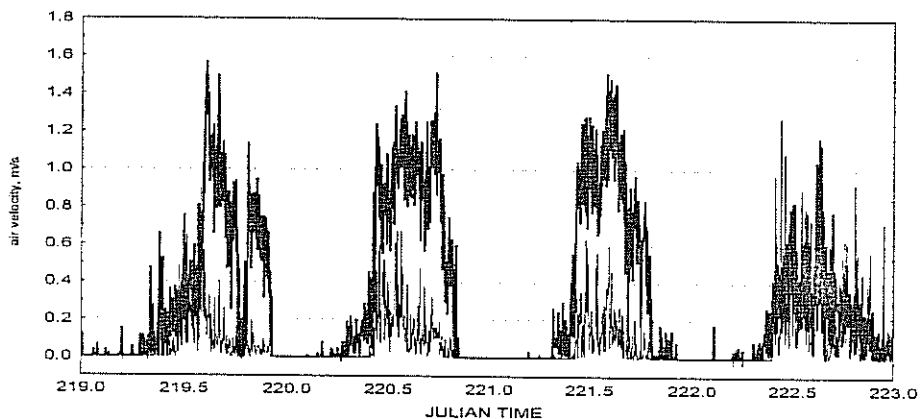
Σε συνήθεις κλιματολογικές συνθήκες (χωρίς ακραίες τιμές θερμοκρασίας αέρα και χωρίς ιδιαίτερα ισχυρό άνεμο) τα φύλλα των δέντρων καταφέρνουν να διατηρούν την θερμοκρασία τους χαμηλότερα από αυτήν του περιβάλλοντος αέρα με την λειτουργία της διαπνοής [4],[5],[6]. Αν και δεν έγινε απ' ευθείας μέτρηση της θερμοκρασίας των φύλλων των δέντρων του χώρου του πειράματος η αύξηση της υγρασίας τοπικά στην περιοχή 1, όπως αυτή φαίνεται στο σχήμα 5, συνηγορεί στην παραπάνω υπόθεση.



Σχήμα 5. Η απόλυτη υγρασία για την σκιασμένη (λεπτή γραμμή) και μη σκιασμένη περιοχή (έντονη γραμμή).



Έτσι λοιπόν ο αέρας στην περιοχή 1 χάνει ενέργεια με συναγωγή προς τον τοίχο αλλά και με την επιφάνεια των φύλλων, η θερμοκρασία των οποίων φαίνεται να είναι συγκριτικά μικρότερη. Επιπλέον τα δέντρα εμποδίζουν την ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα με αποτέλεσμα ο κρύος πια αέρας της περιοχής 1 να ανανεώνεται αργά με τον ζεστό αέρα του περιβάλλοντος. Η ένδειξη του ανεμομέτρου όπως αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 6 υποστηρίζει την παραπάνω υπόθεση.



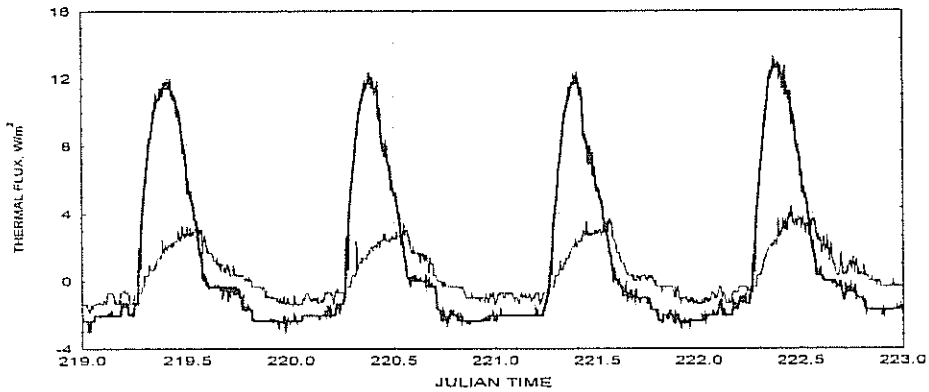
Σχήμα 6. Η ταχύτητα του ανέμου στη σκιασμένη (λεπτή γραμμή) και μη σκιασμένη περιοχή (έντονη γραμμή).

Σε περίπτωση που αντί για δέντρα χρησιμοποιηθεί κάποια τέντα για σκίαση ενώ θα περιοριστεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που θα προσπίπτει στην επιφάνεια του τοίχου, η θερμοκρασία της τέντας θα αυξηθεί σημαντικά, σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, λόγω απορρόφησης μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα η ίδια να ακτινοβολεί. Με αυτόν τον τρόπο ένα επιπλέον θερμικό φορτίο θα ακτινοβολείται προς τον τοίχο ενώ ταυτόχρονα θα θερμαίνεται και ο μεταξύ τους αέρας. Με την χρήση φυτικής κάλυψης το παραπάνω πρόβλημα δεν παρουσιάζεται γιατί τα δέντρα, όπως προαναφέρθηκε διατηρούν την θερμοκρασία των φύλλων τους κάτω από την αντίστοιχη του αέρα.

Κατά την διάρκεια της μέρας η θερμοκρασία της επιφάνειας του τοίχου στην περιοχή 2, όπως αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 4, είναι φανερά υψηλότερη από την αντίστοιχη της περιοχής 1. Το παραπάνω φαινόμενο οφείλεται στην μεγάλη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του τοίχου στην περιοχή 2. Η θερμοκρασία του τοίχου στην περιοχή 2 είναι αρκετούς βαθμούς υψηλότερη από την αντίστοιχη της περιοχής 1 κατά την διάρκεια της ημέρας ενώ την νύχτα οι δύο τιμές γίνονται περίπου ίδιες. Η μικρότερη παρατηρούμενη θερμοκρασία στην περιοχή 1 είναι ελαφρά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της περιοχής 2 κατά την διάρκεια της νύχτας. Αυτό εξηγείται με το γεγονός ότι τα δέντρα εμποδίζουν την επιφάνεια του τοίχου να ακτινοβολεί ελεύθερα με αποτέλεσμα να ψύχεται βραδύτερα. Εντούτοις το φαινόμενο αυτό δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την παρούσα μελέτη.

Αποτέλεσμα των υψηλών θερμοκρασιών στην επιφάνεια του τοίχου είναι η εμφάνιση θερμικής ροής προς το εσωτερικό του. Η ανάλυση της θερμικής ροής όπως αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 7 οδηγεί σε ανάλογα με τα προηγούμενα συμπεράσματα. Κατά την διάρκεια της μέρας περισσότερη ενέργεια ρέει προς το εσωτερικό του τοίχου, άρα και προς το εσωτερικό του κτιρίου, στην περιοχή 2 από ότι

στην περιοχή 1 εξαιτίας της άμεσης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία που έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη θερμοκρασία στην επιφάνεια της περιοχής 2. Η θερμική ενέργεια που απορροφάται από την επιφάνεια του τοίχου μεταδίδεται προς το εσωτερικό του τοίχου και τελικά θα φτάσει στην εσωτερική πλευρά όπου τελικά θα οδηγήσει στην άνοδο της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα.



Σχήμα 7. Η τιμή της θερμικής ροής στον τοίχο για τη σκιασμένη (λεπτή γραμμή) και μη σκιασμένη περιοχή (έντονη γραμμή).

Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι η αίσθηση της θερμικής άνεσης σε ένα χώρο είναι το αποτέλεσμα του ισοζυγίου της ακτινοβολούμενης ενέργειας από την επιφάνεια των τοίχων και της θερμοκρασίας του αέρα, είναι φανερό ότι ο χώρος που βρίσκεται πίσω από την σκιασμένη περιοχή θα έχει καλύτερη θερμική άνεση. Επιπλέον όταν ένα κλιματιστικό μηχανήμα χρησιμοποιείται για το δροσισμό του χώρου πίσω από την περιοχή 2 θα καταναλώνει περισσότερη ενέργεια γιατί ο αέρας θα θερμαίνεται με συναγωγή από τον τοίχο ο οποίος λόγω της μεγάλης θερμικής του αδράνειας θα παραμένει σε υψηλή θερμοκρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Στον Πίνακα 1 οι τιμές ισοζυγίου καθαρής ενέργειας και θερμικής ροής ανά ημέρα παρουσιάζονται όπως αυτές υπολογίστηκαν με τις Εξισώσεις (1). Φαίνεται στον πίνακα ότι η ακτινοβολούμενη ενέργεια καθώς και η θερμότητα που ρέει στην σκιασμένη περιοχή είναι σαφώς μικρότερη από την αντίστοιχη της μη σκιασμένης. Εντούτοις για το συγκεκριμένο διάστημα των τεσσάρων ημερών αν και η θερμοκρασιακή διαφορά αυξάνει οι λόγοι  $N_2/N_1$  και  $F_2/F_1$  τείνουν να μικρύνουν. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς η θερμοκρασία του αέρα αυξάνει για αυτή την περίοδο των τεσσάρων ημερών η θερμοκρασία του τοίχου αυξάνει επίσης κάνοντας το φαινόμενο της σκίασης λιγότερο αποτελεσματικό για ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας. Επίσης τα δέντρα και γενικά τα φυτά σε ακραίες συνθήκες χάνουν την αποτελεσματικότητά τους να διαπνεύσουν τις απαραίτητες ποσότητες νερού. Έτσι λοιπόν για την περίοδο των τεσσάρων ημερών οι μετρούμενες τιμές για την καθαρή ακτινοβολία και την θερμική ροή στην σκιασμένη περιοχή παρουσιάζουν ρυθμό αύξησης μεγαλύτερο από τις αντίστοιχες τιμές στην σκιασμένη περιοχή με αποτέλεσμα να μειώνεται ο λόγος  $N_2/N_1$  και  $F_2/F_1$ .

Πίνακας 1. Ημερήσια ακτινοβολούμενα φορτία και θερμικές ροές για σκιασμένη και μη σκιασμένη περιοχή.

Julian Day	$N_1$ , kJ/m <sup>2</sup>	$N_2$ , kJ/m <sup>2</sup>	$N_2/N_1$	$F_1$ , kJ/m <sup>2</sup>	$F_2$ , kJ/m <sup>2</sup>	$F_2/F_1$
219 (7/8/99)	107.1	1077.8	10.1	25.2	105.2	4.2
220 (8/8/99)	94.3	1129.7	12.0	26.0	91.9	3.5
221 (9/8/99)	184.3	1008.2	5.5	32.9	88.7	2.7
222 (10/8/99)	601.3	1452.0	2.4	71.7	144.1	2.0

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή φυτών και δέντρων στην σκίαση των κτιρίων μπορεί να είναι μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος παθητικού δροσισμού και ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα ακτινοβολούμενα και θερμικά φορτία που προσπίπτουν στην σκιασμένη από δέντρα περιοχή των κτιρίων αποδεικνύεται ότι είναι σημαντικά μειωμένα έναντι περιοχών όπου δεν υπάρχουν δέντρα. Επιπλέον το φαινόμενο της διαπνοής από τα φύλλα οδηγεί σε μια περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας του αέρα που περιβάλλει το κτίριο, που μαζί με την βελτίωση της αισθητικής του χώρου κάνουν την ιδέα της εφαρμογής δέντρων και φυτών για βελτίωση της θερμικής άνεσης των κτιρίων ιδιαίτερα ενδιαφέροντα.

#### 5. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Santamouris M., Asimakopoulos D. (Eds). *Passive Cooling of Buildings*. James & James (Science Publishers) Ltd, 1996, pp 472
2. Granados E., Hupont N., Izard J.L., Marco J., Papadakis G., Ronco L. *Plants: Their application to improve summer thermal comfort in buildings*. Proceedings, International Conference, AgEnergy '99, June 2-5 1999, Athens Greece, Vol. 2, pp 888-895
3. Rozakis S., Soldatos P.G., Papadakis G., Kyritsis S., Papantonis D. *Evaluation of an integrated renewable energy system for electricity generation in rural areas*. Energy Policy, 1997, Vol. 25/3 pp 337-347
4. Monteith J.L., Unsworth M.H. (Eds) *Principles of Environmental Physics*. Edward Arnold, 1991, pp 291
5. Papadakis G., Frangoudakis A., Kyritsis S. *Experimental investigation and modelling of heat and mass transfer between a tomato crop and the greenhouse environment*. Journal of Agricultural Engineering Research, 1994, 57 pp 217-227
6. Parker J. *The effectiveness of vegetation on residential cooling*. Passive Solar Journal, 1983, Vol 2(2).

# ΔΙΚΤΥΑ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

**Π. Γιαγλάρας, Θ. Μπαρτζάνας και Κ. Κίττας**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής  
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος  
Πεδίον Άρεως, 38334, Βόλος, Ελλάδα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση δικτύων εντομοστεγανότητας εμφανίζει θεαματική εξάπλωση στα θερμοκήπια των μεσογειακών χωρών. Παρόλα αυτά η διερεύνηση της επίδρασής τους στην παραγωγικότητα της καλλιέργειας είναι αποσπασματική. Σε αυτή την εργασία αναπτύσσεται ένα πλαίσιο για την συστηματική διερεύνηση του οφέλους των δικτύων εντομοστεγανότητας, με κριτήριο την εμπορική αξία της παραγωγής ανά μονάδα χρησιμοποιούμενων χημικών ουσιών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σύγχρονες εξελίξεις με αντικείμενο την επίδραση των δικτύων στο μικροκλίμα των θερμοκηπίων

## INSECT-PROOF NETS FOR GREENHOUSE CROPS SYSTEM ANALYSIS AND REVIEW

**P. Giaglaras, Th. Bartzanas and C. Kittas**

University of Thessaly, School of Agriculture, Crop and Animal Production  
Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control  
Pedion Areos, 38334, Volos, Ellada

## ABSTRACT

Insect-proof nets are widely used in Mediterranean climates. However research on their effects on crop growth is very scattering. In this paper a framework is presented for the evaluation of the usefulness on insect nets using as criterion the commercial value of the product per unit of chemical pesticides used. Following a review of the current evolutions in the investigation of the effect of insect - proof nets on the greenhouse microclimate.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο έλεγχος των εντόμων με χημικά μέσα στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, γίνεται ολοένα και πιο δύσκολος. Το μειωμένο εύρος των εντομοκτόνων, το υψηλό κόστος δημιουργίας νέων καθώς και η ανθεκτικότητα των εντόμων σε αυτά, καθιστά τα χημικά μέσα αναποτελεσματικά για τον έλεγχο των εντομολογικών προσβολών. Ειδικότερα όσον αφορά τα θερμοκήπια, ορισμένα εντομοκτόνα έχουν καταστρεπτική επίδραση στα πλαστικά υλικά κάλυψης [1]. Έτσι την τελευταία δεκαετία, σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο προβληματισμό σχετικά με τη ρύπανση του περιβάλλοντος, τις απαιτήσεις για τροφές χωρίς υπολείμματα φυτοφαρμάκων, το θέμα της προστασίας της υγείας των παραγωγών, καθώς με την ανάγκη για μείωση του κόστους παραγωγής, εφαρμόζεται όλο και περισσότερο η «ολοκληρωμένη διαχείριση» των εντόμων (IPM), η οποία περιλαμβάνει τη χρήση παρασιτοειδών, αρπαικτικών, ανθεκτικών στα έντομα φυτών, καλλιεργητικών (κανονική λίπανση, άρδευση, υγιεινή των φυτών) και φυσικών μεθόδων. Τα δίχτυα εντομοστεγανότητας είναι χιτά, πλεκτά ή διάτρητα υλικά κάλυψης τα οποία τοποθετούνται στα ανοίγματα των θερμοκηπίων με σκοπό να παρεμποδίσουν την είσοδο των εντόμων και συγκαταλέγονται μεταξύ των φυσικών (ή μηχανικών) μεθόδων εντομοπροστασίας [2, 3, 4].

Η χρησιμοποίηση δικτύων εντομοστεγανότητας στα ανοίγματα αερισμού των θερμοκηπίων έχει εξαπλωθεί σημαντικά τα τελευταία 5 χρόνια στα θερμοκήπια των Μεσογειακών κυρίως χωρών, όπου τα εντομολογικά προβλήματα είναι πιο έντονα. Παρά την ταχεία εξάπλωσή τους, η τελική επίδρασή τους στην παραγωγικότητα της καλλιέργειας και στη μείωση της χρήσης χημικών φυτοπροστατευτικών ουσιών δεν έχει αποτελέσει μέχρι σήμερα αντικείμενο ολοκληρωμένης διερεύνησης και τα διαθέσιμα ερευνητικά αποτελέσματα είναι αποσπασματικά.

Σε αυτή την εργασία γίνεται αρχικά μια ανάλυση του συστήματος «Θερμοκήπιο με δίχτυ εντομοστεγανότητας» με στόχο τον εντοπισμό των μηχανισμών που παρεμβαίνουν και εξηγούν την επίδραση των δικτύων εντομοστεγανότητας στην παραγωγικότητα των θερμοκηπίων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των εργασιών που σχετίζονται με τους μηχανισμούς που καθορίζουν την επίδραση των δικτύων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, δίνοντας έμφαση στην επίδρασή τους στον αερισμό.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η εγκατάσταση δικτύων εντομοστεγανότητας στα ανοίγματα αερισμού των θερμοκηπίων έχει σαν στόχο την μείωση της οικονομικής ζημίας που προκαλούν τα έντομα στα φυτά χωρίς ή με μειωμένη χρήση χημικών ουσιών για περιβαλλοντικούς λόγους. Η αξιολόγηση συνεπώς της καταλληλότητας και της αποτελεσματικότητας ενός δικτύου πρέπει να βασίζεται σε σύγκριση της ποσότητας των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται ανά μονάδα εμπορικής αξίας του παραγόμενου προϊόντος μεταξύ διαφορετικών θερμοκηπίων χωρίς και με δίχτυα διαφόρων τύπων. Είναι προφανές ότι ο αριθμός δυνατών συνδυασμών είναι μεγάλος και αυτό αποκλείει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σε λογικά χρονικά πλαίσια με πειράματα. Για το λόγο αυτό θεωρείται σκόπιμη η ανάπτυξη προσομοιωμάτων (μοντέλων) που θα επιτρέπουν την εκτίμηση της παραγόμενης ποσότητας & ποιότητας προϊόντος και της κατανάλωσης χημικών ουσιών λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των δικτύων.

Τα δίχτυα εντομοστεγανότητας επηρεάζουν την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα της καλλιέργειας με δύο τρόπους:

- τροποποιούν το μικροκλίμα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

- παρεμβαίνουν στην επίδραση των εχθρών και ασθενειών στην ανάπτυξη της καλλιέργειας και στην ποσότητα και ποιότητα του προϊόντος

Η τροποποίηση του κλίματος προέρχεται κυρίως από την επίδραση των δικτύων στον αερισμό και στην περατότητα του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία. Η παρεμβάσεις στην επίδραση των εχθρών και ασθενειών στην ανάπτυξη της καλλιέργειας και στην ποσότητα και ποιότητα του προϊόντος μπορεί να είναι άμεσες και έμμεσες. Η άμεση επίδραση αφορά την μηχανική παρεμπόδιση της εισόδου επιβλαβών οργανισμών στο θερμοκήπιο που επηρεάζει την δυναμική των πληθυσμών τους και κατά συνέπεια την ζημία που προκαλείται στη καλλιέργεια. Οι έμμεσες αφορούν την επίδραση των δικτύων στην είσοδο και στους πληθυσμούς «ωφέλιμων» οργανισμών και στην επίδραση του τροποποιημένου μικροκλίματος τόσο στην δυναμική των πληθυσμών των εχθρών, ασθενειών και ωφέλιμων οργανισμών που βρίσκονται ήδη μέσα στο θερμοκήπιο όσο και στην ευαισθησία της καλλιέργειας στους εχθρούς και ασθένειες.

Με βάση τα παραπάνω, για να είναι δυνατή η ολοκληρωμένη διερεύνηση της επίδρασης των δικτύων εντομοστεγανότητας στη παραγωγικότητα και στη χρήση χημικών ουσιών σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια θα πρέπει να αναπτυχθούν μοντέλα τα οποία να μπορούν να προβλέψουν:

- το μικροκλίμα του θερμοκηπίου από τα ισοζύγια ενέργειας και μάζας στο εσωτερικό του λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία ή όχι δικτύων,
- την δυναμική των πληθυσμών επιβλαβών και ωφέλιμων οργανισμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου συναρτήσει του μικροκλίματος του θερμοκηπίου, του πληθυσμού στο εξωτερικό περιβάλλον, της δυνατότητας εισόδου-εξόδου από τα ανοίγματα της εφαρμογής χημικών ουσιών και της αλληλεπίδρασης μεταξύ τους και με την καλλιέργεια
- την ανάπτυξη και παραγωγικότητα της καλλιέργειας σε σχέση με το μικροκλίμα λαμβάνοντας υπόψη και την επίδραση των πληθυσμών επιβλαβών οργανισμών
- την λήψη αποφάσεων για εφαρμογή και τις χρησιμοποιούμενες ποσότητες χημικών ουσιών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση με αντικείμενο μόνο την πρόβλεψη της επίδρασης των δικτύων στο μικροκλίμα των θερμοκηπίων, λόγω περιορισμένου χώρου.

### 3. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το μικροκλίμα του θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται από τρεις κυρίως μεταβλητές: την ηλιακή (ή/και την φωτοσυνθετικά ενεργή) ακτινοβολία που προσπίπτει στο επίπεδο της καλλιέργειας και από τη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα. Η ακτινοβολία μπορεί να εκτιμηθεί από το ισοζύγιο ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο, ενώ η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα υπολογίζονται από το ισοζύγιο αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας [5]. Η επίδραση των δικτύων στο μικροκλίμα έχει προσεγγιστεί τόσο με στατιστικά (ή black box) όσο και με επεξηγηματικά, φυσικά, μοντέλα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κυρίως οι επεξηγηματικές προσεγγίσεις του προβλήματος.

#### 3.1. Ισοζύγιο ακτινοβολίας θερμοκηπίου με δίχτυ

Λόγω της επίδρασης της ακτινοβολίας στο ισοζύγιο ενέργειας του θερμοκηπίου και της καλλιέργειας και στην φωτοσύνθεση και στην διαπνοή της καλλιέργειας, το ισοζύγιο ακτινοβολίας στα θερμοκήπια έχει αποτελέσει αντικείμενο μεγάλου αριθμού ερευνών και μαθηματικών προσομοιωμάτων μέχρι σήμερα [6, 7]. Η ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται από το φάσμα της την

έντασή της και την γωνία πρόσπτωσης της στη καλλιέργεια. Τα απλά μαθηματικά προσομοιώματα που είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία εκτιμούν την ολική ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο χρησιμοποιώντας έναν σταθερό συντελεστή περατότητας της προσπίπτουσας ολικής ακτινοβολίας για όλο θερμοκήπιο και την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία από το λόγο φωτοσυνθετικά ενεργής/προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία στο εσωτερικό. Πιο επεξηγηματικά προσομοιώματα του ισοζυγίου ακτινοβολίας, λαμβάνουν υπόψη την κατανομή της φωτεινότητας στον ουρανό, το ποσοστό άμεσης διάχυτης ακτινοβολίας, την γωνία πρόσπτωσης στο υλικό κάλυψης, την φασματική περατότητα, ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα του υλικού και του σκελετού, και υπολογίζουν την φασματική κατανομή και γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και στα φυτά [6].

Η εκτίμηση της επίδρασης των διχτύων στην ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου διαφοροποιείται από τις άλλες μελέτες περατότητας των θερμοκηπίων ως προς το ότι τα δίχτυα είναι τοποθετημένα μόνο στα ανοίγματα αερισμού (πλαϊνά και οροφής), είναι διάτρητα και όχι συνεχή όπως τα υλικά κάλυψης και ότι όταν τα παράθυρα είναι κλειστά πρόκειται για περίπτωση διέλευσης από δύο υλικά κάλυψης εκ των οποίων το ένα είναι διάτρητο. Όμως τα οπτικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά και η φυσική συμπεριφορά των διχτύων εντομοστεγανότητας προσομοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με αυτά των θερμοκουρτίνων και των διχτύων σκίασης. Την περατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία σε θερμοκήπια με δίχτυα σκίασης (εσωτερικά) προσομοίωσαν πρόσφατα οι Miguel *et al.* [8].

### 3.2. Ισοζύγιο αισθητής θερμότητας θερμοκηπίου με δίχτυ

Το ισοζύγιο αισθητής θερμότητας εξαρτάται από την προσπίπτουσα και εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, τις ανταλλαγές αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον (διαφυγές και φυσικός ή/και δυναμικός αερισμός), τις ανταλλαγές θερμότητας (αγωγή, συναγωγή, ακτινοβολία) μέσω του καλύμματος και τις μεταβολές του ισοζυγίου υδρατμών του αέρα (κυρίως διαπνοή των φυτών και συμπύκνωση υδρατμών) [5]. Με βάση τα παραπάνω προβλέπεται ότι η εγκατάσταση διχτύων εντομοστεγανότητας στα ανοίγματα αερισμού θα επηρεάσει το ισοζύγιο θερμότητας.

- άμεσα, μέσω της επίδρασής τους στη περατότητα της ακτινοβολίας (ηλιακής και θερμικής), για την οποία μιλήσαμε στη προηγούμενη παράγραφο και μέσω της τροποποίησης που επιφέρουν στον αερισμό και στις ανταλλαγές θερμότητας μέσω του καλύμματος.
- και έμμεσα μέσω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο ισοζύγιο λανθάνουσας θερμότητας (κυρίως στη διαπνοή των φυτών).

### 3.3. Αερισμός θερμοκηπίων με δίχτυ

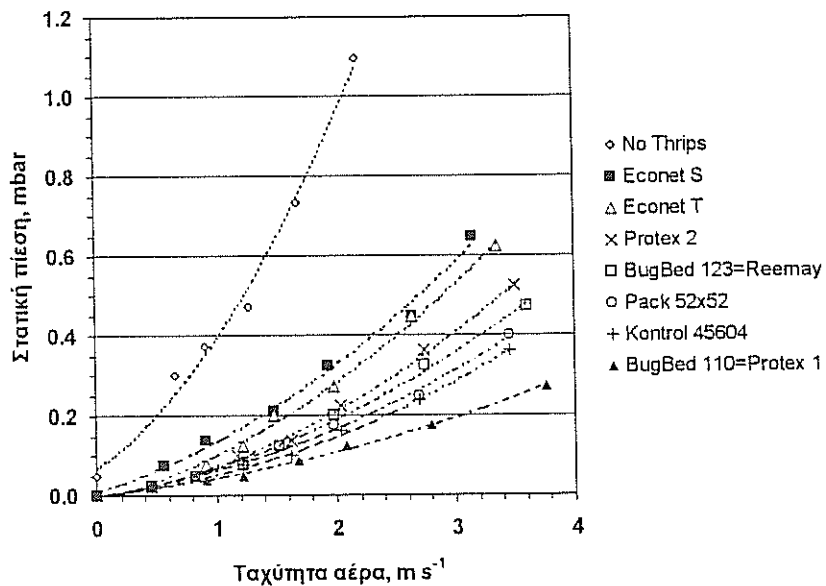
Οι πρώτες εργασίες για τον αερισμό των θερμοκηπίων με δίχτυ εμφανίστηκαν στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας και αφορούν είτε τις αεροδυναμικές ιδιότητες των διχτύων είτε τον δυναμικό υπολογισμό της παροχής αερισμού με φυσικό αερισμό. Οι αεροδυναμικές ιδιότητες των διχτύων καθορίζουν την σχέση μεταξύ της πτώσης πίεσης και της ταχύτητας αέρα και χρησιμοποιούνται άμεσα στην εκτίμηση της επίδρασης των διχτύων στον δυναμικό αερισμό ο οποίος διαφοροποιείται από τον φυσικό ως προς το ότι η παροχή αερισμού μπορεί να θεωρηθεί σταθερή (ίση με την παροχή των ανεμιστήρων).

### 3.3.1. Δυναμικός αερισμός

Στη περίπτωση του δυναμικού αερισμού τα δίχτυα δημιουργούν μια πρόσθετη αντίσταση στη ροή του αέρα (στατική πίεση) η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην διαστασιολόγηση των ανεμιστήρων και των ανοιγμάτων αερισμού για την επίτευξη της επιθυμητής παροχής αερισμού.

Για το σκοπό αυτό η Ένωση Κατασκευαστών Θερμοκηπίων των ΗΠΑ (NGMA) [9] έχει εκδώσει πρόσφατα οδηγίες διαστασιολόγησης ανεμιστήρων και ανοιγμάτων αερισμού σε θερμοκήπια με δίχτυ. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να είναι διαθέσιμα στοιχεία για τις σχέσεις παροχής - στατικής πίεσης των ανεμιστήρων και ταχύτητας αέρα - στατικής πίεσης των δικτύων.

Ο υπολογισμός των καμπυλών παροχής - στατικής πίεσης αποτελεί διαδικασία ρουτίνας για τους κατασκευαστές ανεμιστήρων. Όσον αφορά την σχέση ταχύτητας αέρα - στατικής πίεσης των δικτύων η NGMA συνιστά τον υπολογισμό της με βάση το πρότυπο ASHRAE STD. 52.1-1992, από το οποίο υπολογίζεται η πτώση πίεσης του δικτύου με ταχύτητες αέρα από 0 έως 3 m s<sup>-1</sup> χωρίς και με αμμοβολή (σκόνη διοξειδίου του πυριτίου 150 - 180 μm).



Σχήμα 1. Σχέση της πτώσης πίεσης και της ταχύτητας του αέρα.

Οι κατασκευαστές δικτύων εντομοστεγανότητας έχουν ήδη αρχίσει να παρέχουν πληροφορίες για τη πτώση πίεσης των υλικών που εμπορεύονται είτε με τη μορφή καμπυλών πτώσης πίεσης - ταχύτητας αέρα είτε με τη μορφή μιας τιμής πτώσης πίεσης σε ορισμένη ταχύτητα αέρα, συνήθως 1.5 m s<sup>-1</sup> (300 ft min<sup>-1</sup>, ΔP<sub>1.5</sub>). Ο υπολογισμός της ΔΡ για διαφορετικές τιμές ταχύτητας γίνεται με βάση την εξίσωση ΔΡ = C<sub>1.5</sub> x u<sup>2</sup>, όπου C<sub>1.5</sub> (mbar m<sup>-2</sup>sec<sup>-2</sup>) η αντίσταση στη ροή του αέρα με ταχύτητα 1.5 m s<sup>-1</sup> (C<sub>1.5</sub> = ΔΡ<sub>1.5</sub>/1.5<sup>2</sup>). Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται οι σχέσεις ταχύτητας αέρα - πτώσης πίεσης ορισμένων εμπορικών δικτύων που προσδιόρισαν πειραματικά οι Baker *et al.* [10]. Στην πράξη συνιστάται να παρέχεται ένα εύρος ασφαλούς λειτουργίας της τάξης των 124.5 Pa (ή 0.001245 bar ή 0.001229 atm), για την περίπτωση φραγής των δικτύων από



έντομα και σκουπίδια. Για παράδειγμα αν η επιθυμητή παροχή επιτυγχάνεται με στατική πίεση 500 Pa, τότε η υπολογιζόμενη πτώση πίεσης των ανοιγμάτων με το δίχτυ δεν πρέπει να ξεπερνά τα 375.5 Pa.

Η πτώση πίεσης κατά μήκος των δικτύων μπορεί επίσης να υπολογιστεί θεωρητικά χρησιμοποιώντας θεμελιώδεις σχέσεις της μηχανικής των ρευστών, θεωρώντας τα δίχτυα ως πορώδη υλικά τα οποία χαρακτηρίζονται αεροδυναμικά από δύο παραμέτρους το πορώδες και τη διαπερατότητα:

- **Πορώδες (porosity):** Ως πορώδες ενός υλικού ορίζεται ο λόγος του όγκου που καταλαμβάνουν οι οπές προς τον συνολικό όγκο. Επειδή τα δίχτυα είναι φτιαγμένα συνήθως από πολύ λεπτά υλικά το πορώδες υπολογίζεται από τον λόγο της επιφάνειας που καταλαμβάνουν οι οπές προς την συνολική επιφάνεια.

$$\varepsilon = A_v/A \quad (\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \quad (1)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (1) το πορώδες ενός υλικού μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας με την βοήθεια ενός μικροσκοπίου τις επιφάνειες  $A_v$  (επιφάνεια οπών) και  $A$  (συνολική επιφάνεια) αντίστοιχα.

- **Διαπερατότητα (permeability):** καθορίζει την ικανότητα του υλικού να μεταδίδει το ρευστό (αέρας) διαμέσου του όγκου του. Η διαπερατότητα εξαρτάται από το πορώδες του υλικού, τα χαρακτηριστικά των οπών και είναι ανεξάρτητη από την φύση του ρευστού. Δεν υπάρχουν γενικές σχέσεις οι οποίες να συνδέουν το πορώδες ενός υλικού και την διαπερατότητά του. Οι λίγες υπάρχουσες εμπειρικές σχέσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς με βάση τους οποίους αναπτύχθηκαν.

Οι Miguel *et al.* [11] ανέπτυξαν θεωρητικά και εξακρίβωσαν πειραματικά μια μεθοδολογία εκτίμησης της πτώσης πίεσης των δικτύων συναρτήσει του πορώδους τους η οποία βασίζεται στην εξίσωση του Forchheimer, η οποία είναι της γενικής μορφής:

$$\Delta P = bu^2 + au \quad (2\alpha)$$

$$a = K/\mu \quad (2\beta)$$

$$b = \rho (Y/K^{0.5}) \quad (2\gamma)$$

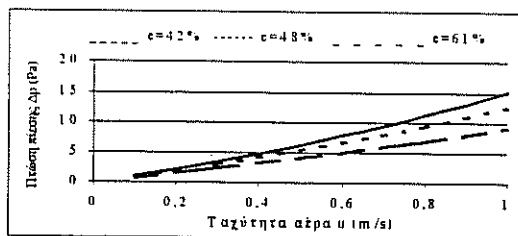
όπου,  $p$  η στατική πίεση (Pa),  $K$  η διαπερατότητα (permeability,  $\text{m}^2$ ) και  $\mu$  το δυναμικό ιξώδες ( $\text{Kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$ ),  $\rho$  η πυκνότητα του ρευστού (αέρας) και  $Y$  ένας αδιάστατος συντελεστής.

Μετρώντας σε αεροσήραγγα την πτώση πίεσης διαμέσου της επιφάνειας δικτύων με διαφορετικά πορώδη ( $\varepsilon$ ), υπολόγισε τις ακόλουθες σχέσεις μεταξύ των συντελεστών  $K$ ,  $Y$  και  $\varepsilon$ :

$$K = 3.44 \text{ e-}9 \varepsilon^{1.6} \quad (3)$$

$$Y = 4.30 \text{ e-}2 \varepsilon^{2.13} \quad (4)$$

Από τις σχέσεις (2) - (4) είναι δυνατός ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης ενός δικτύου για διαφορετικές ταχύτητες του αέρα συναρτήσει του πορώδους του. Το σχήμα 1 παρουσιάζει την σχέση μεταξύ της πτώσης πίεσης και της ταχύτητας του αέρα για



Σχήμα 2. Σχέση της πτώσης πίεσης με την ταχύτητα του αέρα για υλικά με διαφορετικά πορώδη

δίχτυα με τρία διαφορετικά πορώδη ( $\varepsilon = 42\%$ ,  $48\%$ ,  $61\%$ ).

Τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά όμως των δικτύων μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου λόγω της φυσικής φθοράς των δικτύων αλλά και λόγω πιθανής κακής χρήσης. Το πορώδες των δικτύων μπορεί να αυξηθεί έως και 2 φορές με

συνέπεια η διαπερατότητά τους (Κ) να αυξάνει από 3 έως 5 φορές.

Με τη μεθοδολογία των Miguel *et al.* [11], η πτώση πίεσης υπολογίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια για ταχύτητες αέρα της τάξεως αυτών που συναντώνται στην επιφάνεια των δικτύων σε θερμοκήπια με φυσικό αερισμό.

### 3.3.2. Φυσικός αερισμός

Η παροχή αέρα διαμέσου ενός ανοίγματος αερισμού των θερμοκηπίου μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση [12]:

$$G = S/2 C_d C_w^{0.5} u \quad (5)$$

όπου S είναι η επιφάνεια των ανοιγμάτων,  $C_d$  ο συντελεστής αποφόρτισης, και  $C_w$  ο συνολικός συντελεστής επίδρασης του ανέμου. Μεταξύ του  $C_w$  και της πτώσης πίεσης ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta P = 0.5 C_w u^2 \quad (6)$$

Οι συντελεστές  $C_d$  και  $C_w$  μπορούν να υπολογιστούν με τις κλασσικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του φυσικού αερισμού (π.χ. μέτρηση της πτώσης πίεσης, υπολογισμός της παροχής αερισμού με τη μέθοδο αερίου δείκτη) [13].

Η πρόβλεψη της επίδρασης των δικτύων στον φυσικό αερισμό με τη σχέση (5) και τον συντελεστή  $C_w$ , απασχόλησε αρκετούς ερευνητές μέχρι σήμερα [14, 15, 16, 17]. Οι Munoz *et al.* [16], υπολόγισαν τις τιμές των συντελεστών  $C_w$  και  $C_d$  σε θερμοκήπιο με και χωρίς δίχτυ (50 mesh), για διάφορα εύρη ταχυτήτων τόν εξωτερικού αέρα και τύπους ανοιγμάτων (aspect ratio) και κατέληξαν στις ακόλουθες δύο σχέσεις για τον υπολογισμό της παροχής αερισμού χωρίς και με δίχτυ, αντίστοιχα:

$$\text{χωρίς δίχτυ} \quad G = 3.44u + 3.79 \quad (7a)$$

$$\text{με δίχτυ} \quad G = 1.64u - 0.77 \quad (7b)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζεται ότι στην περίπτωση για παράδειγμα που η ταχύτητα του εξωτερικού αέρα είναι  $u=3 \text{ m s}^{-1}$  η παροχή αερισμού για το θερμοκήπιο χωρίς δίχτυ θα είναι  $14.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , ενώ για θερμοκήπιο με δίχτυ θα είναι  $4.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν και οι Montero *et al.* [17] οι οποίοι προσδιόρισαν τον συντελεστή αποφόρτισης με διάφορους τύπους δικτύων τοποθετημένων σε συνεχόμενα ανοίγματα αερισμού. Διαπίστωσαν μείωση των εναλλαγών αέρα έως και 50% σε σχέση με θερμοκήπιο χωρίς δίχτυ.

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Από την ανάλυση του συστήματος προέκυψε ένα πλαίσιο για τη συστηματική διερεύνηση και αξιολόγηση του οφέλους από την εγκατάσταση δικτύων εντομοστεγανότητας στα θερμοκήπια χρησιμοποιώντας σαν κριτήριο την εμπορική αξία της παραγωγής ανά μονάδα χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται.

Για το σκοπό αυτό απαιτούνται βιοφυσικά μοντέλα που να προβλέπουν την δυναμική του μικροκλίματος του θερμοκηπίου, των επιβλαβών και ωφέλιμων οργανισμών, και της καλλιέργειας που να λαμβάνουν υπόψη την επίδραση των δικτύων στο μικροκλίμα και στους οργανισμούς καθώς και των επιβλαβών οργανισμών στην παραγωγικότητα της καλλιέργειας.

Η ανασκόπηση τέλος των μεθόδων πρόβλεψης της επίδρασης των δικτύων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου έδειξε ότι από το 1990 που ξεκίνησε η διερεύνηση του προβλήματος μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές εξελίξεις όσον αφορά την πρόβλεψη της επίδρασης των δικτύων τόσο στον δυναμικό όσο και στον φυσικό αερισμό ενώ η επίδρασή τους στο ισοζύγιο ακτινοβολίας δεν έχει ακόμα διερευνηθεί παρά το γεγονός ότι υπάρχουν ήδη αρκετά μοντέλα τα οποία θα μπορούσαν να εφαρμοστούν άμεσα. Το ίδιο ισχύει και για την επίδραση των δικτύων στις ανταλλαγές

θερμότητας από το κάλυμμα, με συναγωγή, αγωγή και θερμική ακτινοβολία. Η προτίμηση προς τη διερεύνηση της επίδρασης στο αερισμό οφείλεται στο γεγονός ότι τα δίχτυα εντομοστεγανότητας χρησιμοποιούνται κυρίως από άνοιξη έως αρχές Σεπτεμβρίου, σε Μεσογειακές περιοχές, όπου υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης των θερμοκηπίων λόγω μειωμένου αερισμού.

Εξελίξεις αναμένονται στη πρόβλεψη της κατανομής των κλιματικών παραμέτρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με τη χρήση σύγχρονων εργαλείων ρευστομηχανικής (C.F.D.), οι οποίες θα επιτρέψουν την διερεύνηση των συνθηκών που δημιουργούνται στο μικροπεριβάλλον των φυτών και των φύλλων καθώς και τον εντοπισμό των σημείων εκείνων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όπου πιθανόν να δημιουργούνται συνθήκες ευνοϊκές για την ανάπτυξη επιβλαβών οργανισμών, λόγω της μείωσης της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου που προκαλούν τα δίχτυα.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Desriac, Ph., 1991. The effect of pesticides on the life of greenhouse films. *Plasticulture* 1: 9-16
2. Berlinger, M.J., Lebiush-Mordechai, S. and Leeper, A., 1991. Application of screens to prevent whitefly penetration into greenhouses in the Mediterranean basin. *Bull. IOBC/WPRS*, XIV/5:105-110.
3. Berlinger, M.J. and Lebiush-Mordechai, S., 1995. Bemisia 1995. Taxonomy, Biology, Damage control and management, Edited by Gerlin D., Intercept Ltd. Andover, Hants. UK, 617-634.
4. Teitel, M., Barak, M., Berlinger, M.J. and Lebiush-Mordechai, S., 1999. Insect proof screens: their effect on roof ventilation and insect penetration. *Acta Horticulturae* 507:29-37.
5. Παπαδάκης, Γ., 1989. Πειραματική ανάλυση και δυναμική προσομοίωση του μικροκλίματος στο θερμοκήπιο. Διδακτορική διατριβή, Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 166 σελίδες.
6. Baille, A. and Tchamitchian, M., 1992. Solar Radiation in greenhouses. In: *Crop Structure and Light Microclimate. Characterisation and applications*. Varlet-Grancher, C., R. Bonhomme, H. Sinoquet (eds), Science Update, INRA Editions.
7. Critten, D.L., 1993. A review of the light transmissivity into glasshouse crops. *Acta Hortic.*, 328: 9 - 31.
8. Miguel, A.F., Silva, A.M. and Rosa, R., 1994. Solar radiation inside a single span greenhouse with shading screens. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59: 61-79.
9. NGMA, 1997. National Greenhouse Manufacturers Association. Greenhouse construction recommendations.
10. Baker, J.R. and Shearin, E.A., 1994. An update on screening for the exclusion of insect pests. *N.C Flower Growers Bulletin* 39(2):6-11.
11. Miguel, A.F., van de Braak, N.J. and Bot, G.P.A., 1997. Analysis of the airflow Characteristics of greenhouse screening materials. *J.Agric. Engng Res.* 67:105-112.

12. Kittas, C., Boulard, T. and Papadakis, G., 1997. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: Sensitivity to temperature and wind effects. *Transactions of the ASAE*, 40 (2) :415-425.
13. Kittas, C., Boulard, T., Mermier, M. and Papadakis, G., 1996. Wind induced air exchange rates in a greenhouse tunnel with continuous side openings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65:37-49.
14. Sase, S. and Christianson, L.L., 1990. Screening greenhouse – some engineering considerations. ASAE Paper No. NABEC:90-201.
15. Kosmos, S.R., Riskowski, G.L. and Christianson, L.L., 1993. Force and static pressure resulting from airflow through screens. *Transactions of the ASAE*, 36:1467-1472.
16. Munoz, P., Montero, J.I., Anton, A. and Giuffrida, F., 1999. Effect of insect –proof screens and roof openings on greenhouse ventilation. *J.Agric. Engng Res.*73: 171-178.
17. Montero, J I., Munoz, P. and Anton, A., 1996. Discharge coefficients of greenhouse windows with insect-proof screens, *Acta Horticulturae* 443:71-77.

# ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΝΟΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

**Χ. Νικήτα - Μαρτζοπούλου, Τ. Talab, Γ. Μαρτζόπουλος**  
Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσ/νίκης.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα υβριδικό ηλιακό σύστημα, που αποτελείται από σωλήνες πολυαιθυλενίου με νερό που θερμαίνεται επιπρόσθετα με μια απλή εγκατάσταση συλλογής και διανομής του ζεστού αέρα του θερμοκηπίου, συγκρίνεται με ένα παθητικό ηλιακό σύστημα που αποτελείται μόνο από σωλήνες πολυαιθυλενίου με νερό. Η πειραματική εγκατάσταση έγινε σε δύο πανομοιότυπα θερμοκήπια με υλικό κάλυψης πολυαιθυλένιο στο Μ.Α.Ι.Χ. στην Κρήτη. Για τον υπολογισμό των αποδόσεων έγιναν μετρήσεις της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας, των θερμοκρασιών του νερού των σωλήνων (συλλεκτών) και του περιβάλλοντος στα δύο θερμοκήπια. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι η θερμική απόδοση του υβριδικού συστήματος ήταν κατά 20% υψηλότερη από την αντίστοιχη του παθητικού.

## ESTIMATION OF HEAT PRODUCTION OF A PASSIVE AND A HYBRID SOLAR HEATING SYSTEM OF GREENHOUSES

**C.Nikita - Martzopoulou, T. Talab, G. Martzopoulos**  
Department of Agricultural Engineering, School of Agriculture,  
Aristotle University of Thessaloniki, Greece

## ABSTRACT

A hybrid solar system consisted of water - filled polyethylene sleeves which are additionally heated by a simple installation for collection and distribution of the warm air inside the greenhouse is compared with a common passive solar system consisted only of water - filled polyethylene sleeves. The experiment was carried out in two similar greenhouses with polyethylene cover installed in M.A.I.C.H. - Crete.

To estimate the efficiency of the two systems, the incident solar energy, the temperatures of the water-sleeves (collectors) and of the greenhouses environment were measured. By the comparison of the results it came out that the heat efficiency of the hybrid solar system was 20% higher than this of the passive one.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θερμοκήπιο είναι ένας μεγάλος παθητικός ηλιακός συλλέκτης. Είναι βέβαια γνωστό ότι οι θερμικές απώλειες της θερμοκηπιακής κατασκευής κατά τη διάρκεια της νύχτας αλλά και της ημέρας, όταν επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία αέρα και εδάφους μέσα στο θερμοκήπιο να είναι χαμηλότερες των optimum θερμοκρασιών για τις καλλιέργειες.

Έτσι προκύπτει η ανάγκη χρήσης συμπληρωματικής τεχνητής θέρμανσης. Όταν γίνεται χρήση της ηλιακής ενέργειας αντί συμβατικών καυσίμων χρησιμοποιούνται συστήματα παθητικά, ενεργητικά ή υβριδικά.

Στην έρευνα αυτή αξιολογείται ένα νέο υβριδικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίων σε σχέση με ένα βελτιωμένο παθητικό ηλιακό σύστημα. Τα δύο συστήματα βασίζονται στη συλλογή της ηλιακής ενέργειας σε νερό που αποθηκεύεται μέσα σε σωλήνες πολυαιθυλενίου (συλλέκτης). Στο υβριδικό σύστημα υπάρχει επιπλέον μια εγκατάσταση για την ανάκτηση της πλεονάζουσας θερμότητας του θερμοκηπίου.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο υπολογισμός της θερμικής απόδοσης των δύο συστημάτων.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η απώλεια θερμότητας από τους σωλήνες πολυαιθυλενίου με νερό στο περιβάλλον γίνεται με μεταφορά, ακτινοβολία και αγωγή και υπολογίζεται από την εξίσωση (1) :

$$q_{\text{loss}} = q_{\text{cv}} + q_r + q_{\text{cd}} \quad (1)$$

όπου

$q_{\text{loss}}$  : συνολική απώλεια,  $W/m^2$

$q_{\text{cv}}$  : απώλεια με μεταφορά στον αέρα,  $W/m^2$

$q_r$  : απώλεια με ακτινοβολία  $W/m^2$

$q_{\text{cd}}$  : απώλεια με αγωγή στο έδαφος,  $W/m^2$

Η απώλεια με μεταφορά  $q_{\text{cv}}$  υπολογίζεται σύμφωνα με τον νόμο του Newton ως εξής:

$$q_{\text{cv}} = h_{\text{cv}} \frac{A_{\text{gs}}}{A_{\text{GIS}}} (T_w - T_a) \quad (2)$$

όπου

$h_{\text{cv}}$  : συντελεστής θερμικής μεταφοράς,  $W/m^2 \cdot ^\circ K$

$A_{\text{gs}}$  : ελεύθερη επιφάνεια του ηλιακού συστήματος,  $m^2$

$A_{\text{GIS}}$  : επιφάνεια εδάφους που καλύπτεται από το σύστημα,  $m^2$

$T_w$  : θερμοκρασία νερού,  $^\circ K$

$T_a$  : θερμοκρασία αέρα,  $^\circ K$

Ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς  $h_{\text{cv}}$ , για μεταφορά με στρωτή ροή σε οριζόντιους κυλίνδρους με διάμετρο  $d_{\text{cv}}$  μπορεί να προσδιορισθεί από την παρακάτω εξίσωση [ 3 ]:

$$h_{cv} = 5 \left( \frac{T_w - T_a}{(T_a - 273) d_{cv}} \right)^{0.25} \quad (3)$$

Εάν η ροή είναι στροβιλώδης δεν εξαρτάται από τη διάμετρο του σωλήνα και στην περίπτωση αυτή ο  $h_{cv}$  υπολογίζεται ως εξής [ 8 ]:

$$h_{cv} = C_T (T_w - T_a)^{0.333} \quad (4)$$

όπου ο συντελεστής  $C_T$  εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του κυλίνδρου και του περιβάλλοντος χώρου. Μία μέση τιμή ίση με 1.96 για συνθήκες θερμοκηπίου γίνεται γενικά αποδεκτή [ 6 ].

Σύμφωνα με άλλες έρευνες [ 4 ], [ 7 ] ο  $h_{cv}$ , σε περίπτωση θερμικής απώλειας από το συλλέκτη ( θερμοκρασία αέρα χαμηλότερη του νερού) μπορεί να υπολογισθεί με την εξίσωση :

$$h_{cv} = 1.24 ((T_w - T_a) / d_{cv})^{0.333} \quad (5)$$

Η απώλεια θερμότητας με ακτινοβολία μπορεί να προσδιορισθεί από την παρακάτω εξίσωση [ 5 ], όπου λαμβάνονται υπόψη η ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία μεταξύ του συλλέκτη και του περιβάλλοντος χώρου :

$$q_r = (A_{ss} / A_{GS}) C_s 10^{-8} (T_w^4 - T_{SR}^4) \quad (6)$$

όπου

$C_s$  : συντελεστής ανταλλαγής ακτινοβολίας,  $W/m^2 \cdot ^\circ K^4$

$T_{SR}$  : θερμοκρασία επιφάνειας, περιβάλλοντος χώρου  $^\circ K$ .

Για συνθήκες θερμοκηπίου με υλικό κάλυψης πλαστικό οι τιμές  $C_s$  έχουν βρεθεί να κυμαίνονται από  $5.0 - 5.5 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot ^\circ K^4$  [ 5 ].

Η απώλεια θερμότητας με αγωγή στο έδαφος υπολογίσθηκε για βάθος εδάφους 0.30 m διότι σ' αυτό το βάθος η θερμοκρασία είναι περίπου ίση με τη μέση ημερήσια [1]. Η θερμοκρασία εδάφους ήταν χαμηλότερη από αυτήν του νερού από το μεσημέρι μέχρι τα μεσάνυχτα ή μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες. Το διάστημα αυτό η απώλεια με αγωγή στο έδαφος βρέθηκε να είναι πολύ μικρή και συγκεκριμένα μόλις 2%. σε σχέση με τις απώλειες λόγω μεταφοράς στον αέρα και λόγω ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει διότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ νερού και εδάφους είναι μικρή. Η απώλεια θερμότητας με αγωγή δεν υπολογίσθηκε στη συνολική απώλεια θερμότητας λόγω του μικρού ποσοστού συμμετοχής της.

Η ενέργεια που συλλέγεται ( $E_c$ ) και αυτή που αποδίδεται ( $E_r$ ) από το νερό των σωλήνων πολυαιθυλενίου υπολογίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$E_c = M_w (T_{w_{\min 1}} - T_{w_{\max}}) C_p \quad (7)$$

$$E_r = M_w (T_{w_{\max}} - T_{w_{\min 2}}) C_p \quad (8)$$

όπου

$E_c$  = ενέργεια που συλλέγεται. MJ

$E_r$  = ενέργεια που απελευθερώνεται. MJ

$M_w$  = μάζα νερού, kg

$C_p$  = ειδική θερμότητα νερού,  $4.186 \cdot 10^{-1} MJ/kg \cdot ^\circ C$

$T_{w_{\min 1}}$  = ελάχιστη θερμοκρασία νερού στις 7 :00

$T_{w_{\max}}$  = μέγιστη θερμοκρασία νερού κατά τη δύση του ήλιου

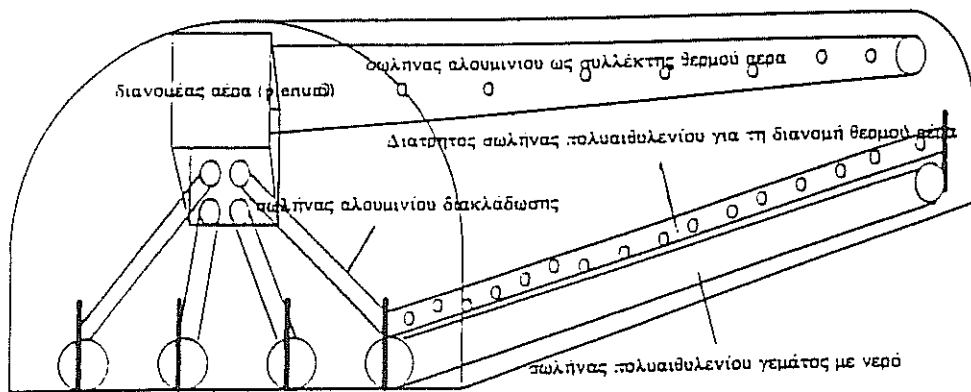
$T_{w_{\min 2}}$  = ελάχιστη θερμοκρασία νερού την επόμενη στις 7 :00

### 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων όπου χρησιμοποιήθηκαν δύο πανομοιότυπα θερμοκήπια τύπου τροποποιημένου τοξωτού, με καλλιέργειες τομάτας και αγγουριού. Οι διαστάσεις των θερμοκηπίων ήταν 20.00 m x 7.7 m με υλικό κάλυψης πολυαιθυλένιο. Στη μία από τις κατασκευές (μάρτυρας) εγκαταστάθηκε ένα παθητικό ηλιακό σύστημα και στην άλλη ένα υβριδικό.

Το παθητικό σύστημα περιελάμβανε διαφανείς σωλήνες πολυαιθυλενίου τοποθετημένους σε τέσσερις γραμμές στο έδαφος κατά μήκος της κατασκευής και μεταξύ των γραμμών της καλλιέργειας. Η περίμετρος των σωλήνων ήταν 1.50 m, το μήκος τους 18.00 m και το πάχος του τοιχώματος  $15 \times 10^{-5}$  m. Κάτω από κάθε σωλήνα τοποθετήθηκε ένα μαύρο πλαστικό φύλλο πλάτους 0.80 m και πάχους  $8 \times 10^{-5}$  m. Κάθε σωλήνας είχε 30001 νερού ύδρευσης ώστε ο συνολικός όγκος νερού να είναι 120001 ( $77.9 \text{ l/m}^2$ ) ανά θερμοκήπιο. Ένα μυκητοκτόνο σκεύασμα χαλκού προστέθηκε στο νερό σε αναλογία 43.3 mg/l νερού για την αποφυγή ανάπτυξης αλγών.

Στο θερμοκήπιο με το υβριδικό ηλιακό σύστημα τοποθετήθηκαν παρόμοιοι σωλήνες γεμάτοι με νερό όπως και στο θερμοκήπιο "μάρτυρας". Για να αυξηθεί η απόδοση του παθητικού συστήματος έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί η επιπλέον θερμότητα, που διαφεύγει λόγω αερισμού, για τη θέρμανση των σωλήνων με νερό, όταν αυτοί είναι υπό σκιά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη διανομή του εγκλωβισμένου κάτω από την οροφή του θερμοκηπίου θερμού αέρα, στην περιοχή των σωλήνων με νερό. Για το σκοπό αυτό ένας φυγοκεντρικός ανεμιστήρας, CBM 270/270 του οίκου SOLER & PALAV (Ισπανίας) με μηχανική ισχύ 1/2 hp, και παροχή  $4500 \text{ m}^3/\text{h}$ , τοποθετήθηκε στην είσοδο ενός μεταλλικού διανομέα αέρα (plenum), διαστάσεων 0.60 m x 0.49 m x 0.48 m που είχε τέσσερις εξόδους διαμέτρου 0.195 m [Σχ. 1].



Σχήμα 1. Το υβριδικό σύστημα για τη συλλογή και διανομή του θερμού αέρα.

Ένας σπειροειδής σωλήνας αλουμινίου διαμέτρου 0.406 m και συνολικού μήκους 18.00 m, τοποθετήθηκε κάτω από την τροφοί ως κύριος αγωγός συλλογής θερμού αέρα. Η ανώτερη επιφάνεια του σωλήνα αλουμινίου χρωματίστηκε με μαύρο ματ χρώμα ώστε να ελαχιστοποιείται η ανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και έτσι να αυξάνεται η



απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Ο σωλήνας αλουμινίου ήταν συνδεδεμένος με την πλευρά της εισόδου στον διανομέα αέρα. Ο διανομέας αέρα είχε τέσσερις εξόδους με ρυθμιζόμενες βαλβίδες για τον έλεγχο διανομής του αέρα. Στην πραγματικότητα βρέθηκε ότι δεν ήταν απαραίτητος ο έλεγχος της ροής του αέρα. Οι σπειροειδείς σωλήνες αλουμινίου, διαμέτρου 0.20 m, ήταν συνδεδεμένοι με τις εξόδους του διανομέα και διοχέτευαν το θερμό αέρα στο επίπεδο των σωλήνων δια μέσου διάτρητων διαφανών αγωγών πολυαιθυλενίου (διαμέτρου 0.191 m) τοποθετημένων πάνω από τους σωλήνες με νερό, που χρησιμοποιούν για θερμοσυσσώρευση (Σχ. 1).

Ο έλεγχος λειτουργίας του ανεμιστήρα γινόταν με τη βοήθεια ενός θερμοστάτη τοποθετημένου στο κέντρο της οροφής, 0.05 m από τον αγωγό αλουμινίου. Όταν η θερμοκρασία αέρα κοντά στο θερμοστάτη έφθανε στους 23° C, ο ανεμιστήρας ενεργοποιείτο αυτόματα, εξάγοντας αέρα από το πάνω μέρος της κατασκευής και διανέμοντας τον δια μέσου των οπών των αγωγών πολυαιθυλενίου πάνω από τους σωλήνες θερμοσυσσώρευσης. Με βελτίωση των κλιματικών συνθηκών, η θερμοκρασία του νερού έφθασε στους 20° C και έτσι το σημείο ρύθμισης του θερμοστάτη κατά τη διάρκεια των πειραμάτων αυξήθηκε μέχρι τους 27.5° C.

Ο ανεμιστήρας δεν λειτουργούσε ποτέ τη νύχτα λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας αέρα από τη ρυθμισμένη του θερμοστάτη.

Όταν η θερμοκρασία του αέρα ήταν πάνω από 29° C τα πλευρικά παράθυρα άνοιγαν για να επιτρέπουν φυσικό αερισμό. Φυσικός αερισμός επιτρεπόταν σε μικρές περιόδους για τη μείωση της σχετικής υγρασίας και την αύξηση του CO<sub>2</sub> μέσα στο θερμοκήπιο ακόμα και όταν η θερμοκρασία ήταν μικρότερη των 23° C.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα αυτό ήταν τα ακόλουθα:

- Υδραργυρικά θερμοόμετρα ελαχίστου - μεγίστου (θερμοκρασία του αέρα),
- Υδραργυρικά θερμοόμετρα επαφής (θερμοκρασία του νερού),
- Ηλιόμετρο Quantum Delta T, QS-10040,
- Ένα PLC τύπου PS 74-U, 75 καναλιών που ήταν συνδεδεμένο με :
  - α - αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου PT 100,
  - β - πυρανόμετρο τύπου Campbell, SP 1100,
  - γ - υγρασιόμετρο τύπου Johnson, W 99.

#### 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων έγιναν μετρήσεις των θερμοκρασιών νερού, αέρα, εδάφους και ηλιακής ακτινοβολίας.

Η θερμοκρασία του νερού είχε διακυμάνσεις στα δύο συστήματα και ήταν εξαρτώμενη από τις καιρικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια εξαερισμού, η μέση θερμοκρασία του νερού στο υβριδικό σύστημα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με το παθητικό σύστημα. Η μέγιστη θερμοκρασία του νερού στο υβριδικό ήταν μεγαλύτερη με στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο P = 5% απ' ότι στο παθητικό, ενώ δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των συστημάτων στην ελάχιστη θερμοκρασία νερού (Σχ. 2, 3).

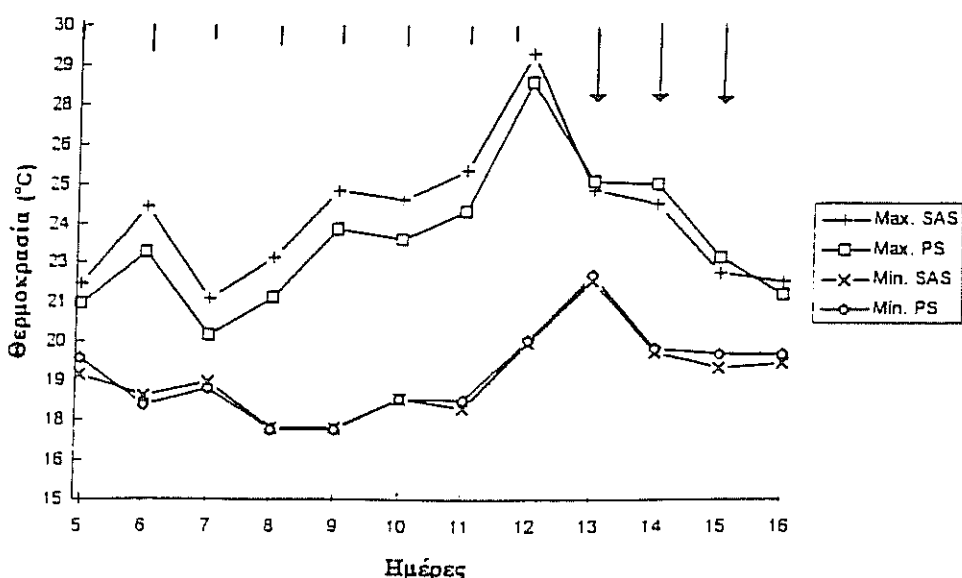
Γενικά το υβριδικό σύστημα παρουσίασε υψηλότερη συλλογή και κατά συνέπεια απελευθέρωση ενέργειας απ' ότι το παθητικό, η οποία κατά μέσο όρο ανήλθε στο 20%, το μήνα Απρίλιο, όταν λειτουργούσε ο ανεμιστήρας (Σχ. 4).

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι θερμοκρασίες νερού και η ενέργεια που συλλέγεται και απελευθερώνεται από τα δύο συστήματα.

Πίνακας 1. Θερμοκρασίες νερού ( $T_w$ ) και ενέργεια που συλλέγεται ( $E_c$ ) και ( $E_r$ ) απελευθερώνεται από τα δύο συστήματα στις 7, 8 Απριλίου.

	SAS w1	SAS w2	SAS w3	SAS w4	PS w1	PS w2	PS w3	PS w4
$T_w$ min1	18.5	18.8	19.5	18	18.2	18	19.2	18.5
$T_w$ max	21.5	21.5	21.5	21	20	20.2	20.5	20
$T_w$ min2	17.2	17.2	18	16.5	17	16.5	18	17.2
$E_c$	37.67	33.91	25.12	37.67	22.60	27.63	16.33	18.84
$E_r$	54.00	54.00	43.95	56.51	37.67	46.46	31.40	35.16

\*SAS: υβριδικό ηλιακό σύστημα PS: παθητικό ηλιακό σύστημα



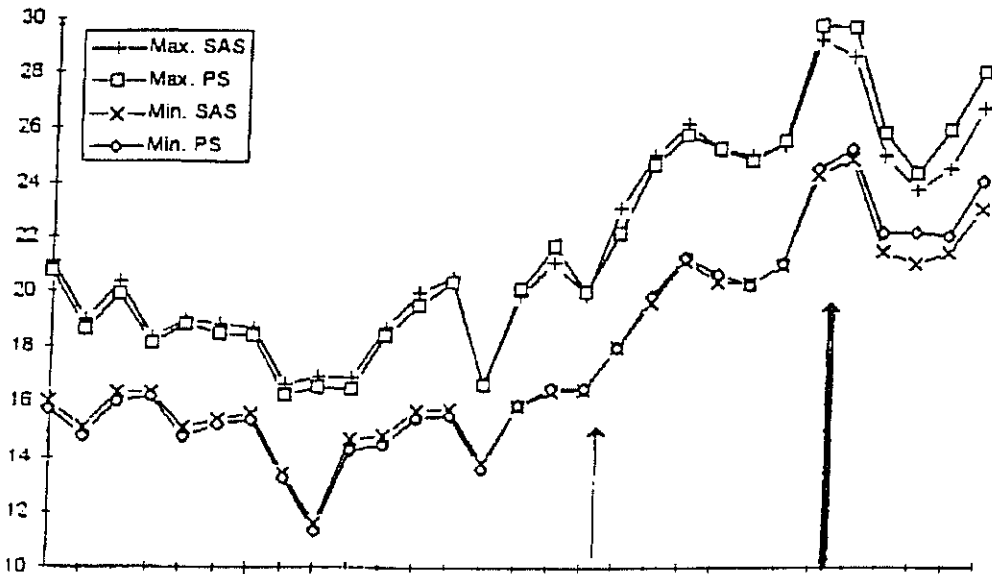
Σχήμα 2. Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες νερού στο υβριδικό και στο παθητικό σύστημα (Απρίλιος 1994).

Οι ράβδοι στο επάνω μέρος του σχήματος είναι οι ελάχιστες σημαντικές διαφορές σε επίπεδο 5%, ενώ τα βέλη δείχνουν τις ημέρες που ο ανεμιστήρας δεν λειτουργούσε ή λειτουργούσε μόνο για λίγα λεπτά.

Κατά τη διάρκεια του πειραματικού σταδίου από Φεβρουάριο μέχρι Απρίλιο έγιναν 278 μετρήσεις τις ώρες που οι σωλήνες πολυαιθυλενίου απέδιδαν θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτό συνέβαινε περίπου από τις 20:00 απογευματινή ώρα μέχρι τις 7:00 πρωινή ώρα της επομένης, όταν η θερμοκρασία του νερού στους σωλήνες ήταν υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα.

Για τον υπολογισμό της απώλειας θερμότητας με ακτινοβολία χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (6). Για τον υπολογισμό της απώλειας θερμότητας με μεταφορά η εξίσωση (2), ενώ για τον συντελεστή θερμικής μεταφοράς οι εξισώσεις (3), (4) και (5). Τα πειραματικά

δεδομένα βρήκαν καλή εφαρμογή στις εξισώσεις (3) και (5) αλλά η εξίσωση (5) ήταν πιο κοντά στην πραγματική απώλεια θερμότητας. Από την εφαρμογή αυτής της εξίσωσης ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς βρέθηκε να κυμαίνεται από  $2.74 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  στο υβριδικό σύστημα μέχρι  $2.79 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  στο παθητικό. Η εφαρμογή της εξίσωσης (3) έδωσε τιμές από  $1.67 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  μέχρι  $1.69 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  για το υβριδικό και παθητικό σύστημα αντίστοιχα.

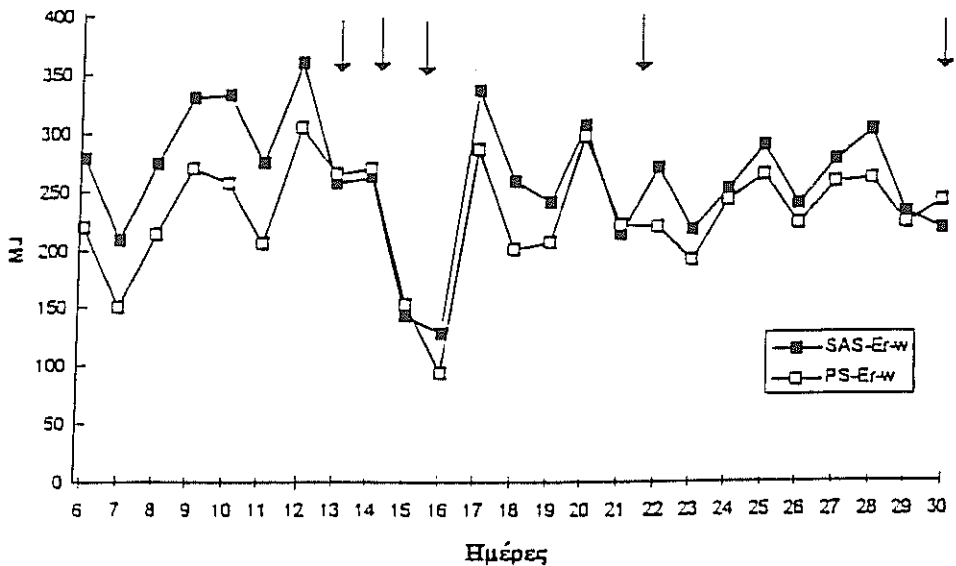


Σχήμα 3. Εβδομαδιαία μέση μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία νερού από τις 12 Δεκεμβρίου 1993 ως τις 29 Ιουνίου 1994.

Το βέλος με συνεχή γραμμή δείχνει το χρόνο έναρξης λειτουργίας του ανεμιστήρα, ενώ αυτό με την έντονη γραμμή δείχνει το χρόνο βαφής (σκίασης) των θερμοκηπίων.

Κατά τη διάρκεια του πειραματικού σταδίου από Φεβρουάριο μέχρι Απρίλιο έγιναν 278 μετρήσεις τις ώρες που οι σωλήνες πολυαιθυλενίου απέδιδαν θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτό συνέβαινε περίπου από τις 20:00 απογευματινή ώρα μέχρι τις 7:00 πρωινή ώρα της επομένης, όταν η θερμοκρασία του νερού στους σωλήνες ήταν υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα.

Για τον υπολογισμό της απώλειας θερμότητας με ακτινοβολία χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (6). Για τον υπολογισμό της απώλειας θερμότητας με μεταφορά η εξίσωση (2), ενώ για τον συντελεστή θερμικής μεταφοράς οι εξισώσεις (3), (4) και (5). Τα πειραματικά δεδομένα βρήκαν καλή εφαρμογή στις εξισώσεις (3) και (5) αλλά η εξίσωση (5) ήταν πιο κοντά στην πραγματική απώλεια θερμότητας. Από την εφαρμογή αυτής της εξίσωσης ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς βρέθηκε να κυμαίνεται από  $2.74 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  στο υβριδικό σύστημα μέχρι  $2.79 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  στο παθητικό. Η εφαρμογή της εξίσωσης (3) έδωσε τιμές από  $1.67 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  μέχρι  $1.69 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  για το υβριδικό και παθητικό σύστημα αντίστοιχα.



Σχήμα 4. Ημερήσια ενέργεια που απελευθερωνόταν (MJ) από το νερό των σωλήνων πολυαιθυλενίου στο διάστημα 6 - 30 Απριλίου 1994.

Το βέλος δείχνει τις ημέρες που ο ανεμιστήρας δεν λειτουργούσε ή λειτουργούσε για λίγα λεπτά.

Για τον υπολογισμό της απώλειας θερμότητας με ακτινοβολία και μεταφορά χρησιμοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης και για τα δύο συστήματα. Βρέθηκε ότι η εξίσωση (5) είχε καλή εφαρμογή στα πειραματικά δεδομένα, αφού το  $R^2$  ήταν 0.9985 και 0.9992 και οι συντελεστές συσχέτισης 1.229 και 1.065, για το υβριδικό και το παθητικό σύστημα αντίστοιχα (Σχ.5.6).

Η συνολική θερμότητα που απελευθερώθηκε με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες στο υβριδικό σύστημα ήταν 5393 MJ ενώ η υπολογισθείσα ήταν 4451 MJ και 3852 MJ, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (5) και (3) αντίστοιχα. Η συνολική θερμότητα από τους σωλήνες στο παθητικό σύστημα ήταν 4931 MJ ενώ οι υπολογισμοί έδωσαν τις τιμές 4684 MJ και 4040 MJ. Αυτό δείχνει ότι η θερμότητα που απελευθερώθηκε από τους σωλήνες πολυαιθυλενίου με νερό και η θερμότητα που υπολογίστηκε με την εξίσωση (5) ήταν πιο κοντά σε σύγκριση με τις τιμές που υπολογίσθηκαν με την εξίσωση (3).

Παρότι η υπολογισθείσα απώλεια θερμότητας από τις εξισώσεις (2),(5) και (6) βρέθηκε να έχει υψηλή συσχέτιση με την πραγματική απώλεια θερμότητας των δύο συστημάτων οι μεταξύ τους διαφορές θεωρήθηκαν μεγάλες. Αυτό έγινε με την επίλυση της παρακάτω εξίσωσης :

$$q_{cv} = q_{loss} - q_r$$

Το  $q_{cv}$  υπολογίστηκε από τις εξισώσεις (2) και (5).

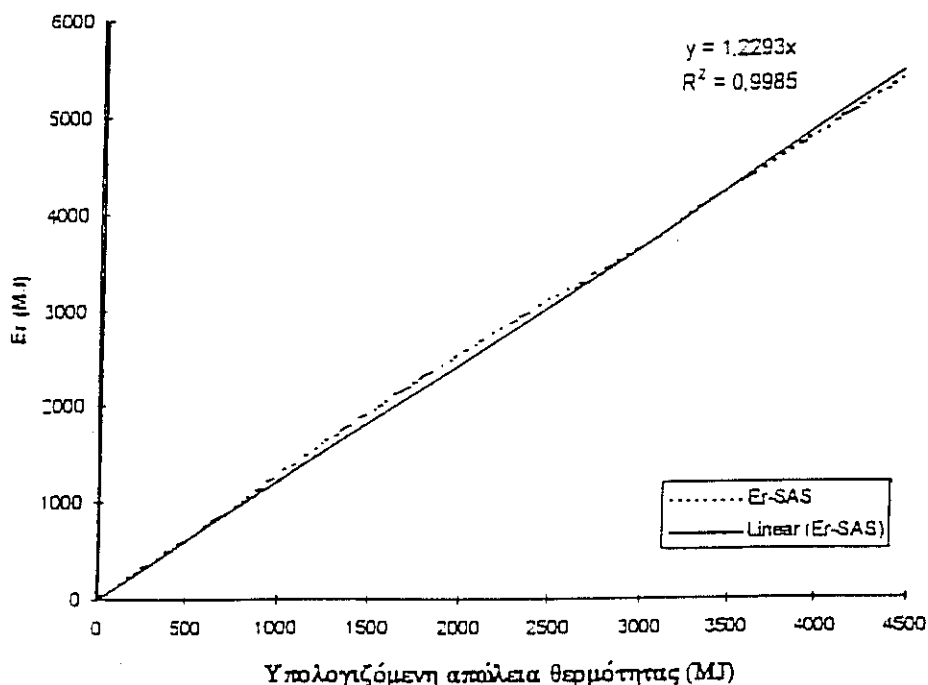
Κατόπιν υπολογίστηκε το  $q_{cv}$  βάσει των πειραματικών δεδομένων. Συγκεκριμένα το  $q_{loss}$  από την εξίσωση (8) και το  $q_r$  από την εξίσωση (6).

Η υπολογισθείσα απώλεια με μεταφορά από τα πειραματικά δεδομένα ήταν μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα από τις εξισώσεις (2) και (5).

Κατόπιν τούτου, προτείνονται οι εξής μετατροπές για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμικής μεταφοράς.

Για το υβριδικό σύστημα :  $h_{cv} = 2.07 \left( (T_w - T_a) / d_{cv} \right)^{0.133}$

Για το παθητικό σύστημα :  $h_{cv} = 1.47 \left( (T_w - T_a) / d_{cv} \right)^{0.133}$



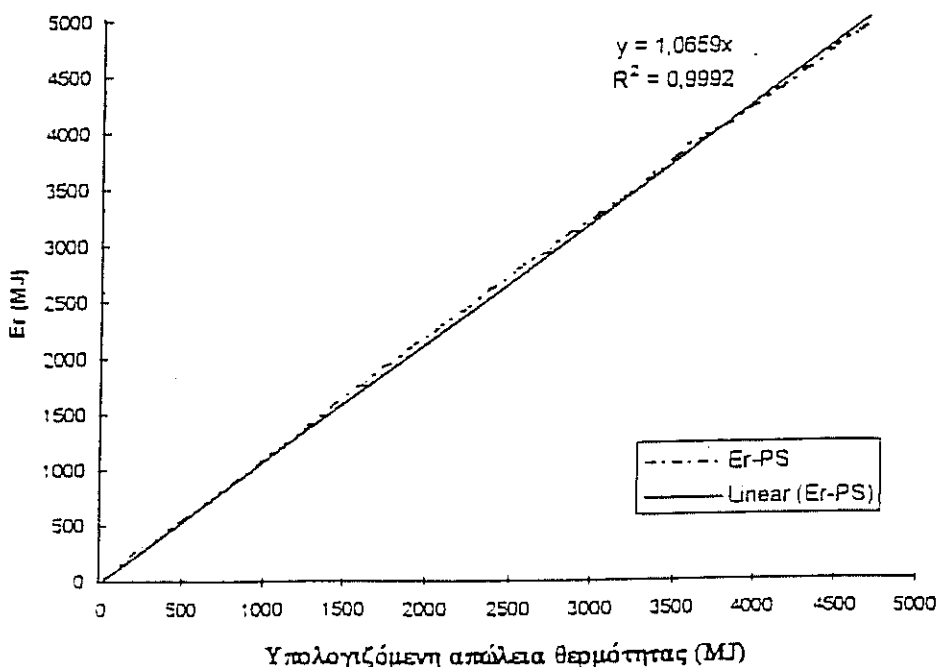
Σχήμα 5. Συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής απώλειας θερμότητας ( $E_r$ ) από το νερό των σωλήνων πολυαιθυλενίου στο υβριδικό σύστημα (SAS) και της υπολογισθείσας απώλειας θερμότητας, χρησιμοποιώντας τους Μανρογιαποπουλος και Kyritsis (1993) και Jens (1994).

$E_r$  : απελευθερωμένη ενέργεια

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το υβριδικό σύστημα δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης της θερμότητας που χάνεται από τον εξαερισμό με την ανύψωση της θερμοκρασίας των σωλήνων με νερό. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς ο θερμός αέρας που εξαναγκάζεται να κινηθεί πάνω από τους σωλήνες νερού προσθέτει θερμότητα με βεβαιωμένη μεταφορά και ανυψώνει τη θερμοκρασία του νερού.

Κατά την περίοδο που ο ανεμιστήρας λειτουργούσε στο υβριδικό σύστημα, η μέση θερμοκρασία του νερού ήταν σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με το παθητικό σύστημα. Γενικά, το υβριδικό σύστημα παρουσίασε υψηλότερη συλλογή και κατά συνέπεια απελευθέρωση ενέργειας απ' ότι το παθητικό, η οποία ανήλθε στο 20%, κατά τη διάρκεια της άνοιξης και όταν λειτουργούσε ο ανεμιστήρας.



Σχήμα 6. Συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής απώλειας θερμότητας ( $E_r$ ) από το νερό των σωλήνων πολυαιθυλενίου στο παθητικό σύστημα (PS) και η εκτιμώμενη απώλεια θερμότητας, χρησιμοποιώντας τους Μανρογιανοπουλος και Kyritsis (1993) και Jens (1994).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Campbell, G. S. 1997. An introduction to Environmental Biophysics Springer - Verlag, New York Inc.
2. Hell, F., 1982. Grundlagen der Wärmeübertragung. ( Basic of heat transfer ). VDI - Verlag GmbH, Dusseldorf.
3. Holman, J. P., 1989. Heat transfer. McGraw - Hill Book Company, Singapore.
4. Jens, Th., 1994. Investigation for optimization and suitability of water - filled plastic tubes as collector and storage elements in greenhouse. PhD. Thesis, Hannover University.
5. Kanthak, J., 1970. The influence of different heating systems to the climatic characteristic of hall - buildings with great glass surfaces, especially of greenhouses. Fortschritt - Berichte. Reihe 6 N. 28.
6. Mavroyanopoulos, G. and Kyritsis, S., 1993. Analysis and performance of a greenhouse with water - filled passive solar sleeves. Agricultural and Forest Meteorology, 65.
7. Tantan, H. J., 1975. Der Einflub von Doppelbedachungen auf das Klima und den Warmehaushalt von Gewachshausern. Gartenbautechnische Information 4., Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft. Universität Hannover.

# **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗ ΓΗΡΑΝΣΗ ΦΙΛΜ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ (LDPE) ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΩΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΟΥ**

**Αδαμαντία Αριστοπούλου, Δημήτρης Μπριασούλης**

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών,  
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της γήρανσης του πολυαιθυλενίου υπό την επίδραση κρίσιμων παραγόντων. Η επίδραση της τάσης εφελκυσμού είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος και μελετήθηκε κάτω από συνθήκες τεχνητής γήρανσης. Επίσης έγινε έκθεση του υλικού σε φυσικές συνθήκες γήρανσης, ακολουθώντας τις σχετικές διεθνείς προδιαγραφές. Το φιλμ πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιήθηκε στη πρώτη αυτή φάση της έρευνας ήταν καθαρό χωρίς την προσθήκη σταθεροποιητών. Η μελέτη αφορά τη μηχανική και χημική συμπεριφορά του πολυαιθυλενίου πριν και μετά την έκθεση σε συνθήκες γήρανσης.

## **THE EFFECT OF CRITICAL FACTORS ON THE AGEING OF POLYETHYLENE FILM (LDPE) AS A GREENHOUSE COVERING MATERIAL**

**Adamadia Aristopoulou, Demetres Briassoulis**

Agricultural University of Athens, Department of Agricultural Engineering,  
Iera Odos 75, 11855 Athens Greece

## **ABSTRACT**

The purpose of this research is the ageing of low density polyethylene affected by some critical factors. External stress is a very important variable of weathering and is studied under artificial conditions. The first approach of exposure of the polyethylene was performed on racks and at an inclination of 45°. The low density polyethylene tested was pure, without additives. The results obtained concerns the mechanical and chemical properties of the polyethylene before and after weathering.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πιο διαδεδομένο πολυμερές που χρησιμοποιείται ως υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων είναι το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας. Οι μηχανικές και οπτικές του ιδιότητες είναι σχετικά καλές [1]. Οι πιο σημαντικοί τύποι αποικοδόμησής του είναι:

- **Φωτο-οξειδωτική αποικοδόμηση**

Υπεύθυνη για αυτού του είδους την αποικοδόμηση είναι η υπεριώδης ακτινοβολία. Τα πολυμερή απορροφούν ακτινοβολία λόγω των χρωμοφόρων ομάδων που βρίσκονται μέσα στη μάζα τους [2,3]. Οι χρωμοφόρες ομάδες μπορεί να είναι υπόλοιπα καταλυτών, πρόσθετα, ίχνη μετάλλων, μεταλλικά οξειδία και γενικά προσμίξεις μέσα στη δομή του πολυμερούς. Μετά την έναρξη της αποικοδόμησης διάφορες οξειδωτικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στις άμορφες περιοχές του πολυμερούς.

- **Θερμική αποικοδόμηση**

Η θερμοκρασία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στην γήρανση αφού αυξάνει τον ρυθμό διάφορων χημικών αντιδράσεων. Ερευνητικά αποτελέσματα προτείνουν ότι ο ρυθμός της φωτο-οξείδωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία και κατά προσέγγιση διπλασιάζεται για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C [3]. Επιπλέον, κυκλικές θερμοκρασιακές αλλαγές, όπως αυτές που αναπτύσσονται στα μεταλλικά μέρη του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της μέρας σε συνδυασμό με τις χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύχτας, μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση του ρυθμού της θερμικής αποικοδόμησης [1].

- **Χημική αποικοδόμηση**

Μερικές φορές η μόλυνση του περιβάλλοντος και/ή η χρήση αγροχημικών στο θερμοκήπιο επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής των πολυμερών μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται χημική αποικοδόμηση. Η μόλυνση του περιβάλλοντος μπορεί να είναι επιβλαβής για το πολυαιθυλένιο εξαιτίας της χημικής προσβολής των πολυμερικών δεσμών. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως τα οξειδία του αζώτου, τα οξειδία του θείου, το όζον και οι υδρογονάνθρακες μπορούν να προάγουν την αποικοδόμηση [1]. Τα πιο κοινά αγροχημικά που χρησιμοποιούνται σήμερα, περιέχουν ενώσεις του θείου και αλογόνων. Δοκιμές έδειξαν ότι συνδυασμοί αγροχημικών μπορούν να επιταχύνουν την αποικοδόμηση των φύλλων του πολυαιθυλενίου και να περιορίσουν τη διάρκεια ζωής του ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων [4].

- **Μηχανική αποικοδόμηση**

Οι μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών εξαρτώνται από το υψηλό μοριακό τους βάρος, την κρυσταλλικότητά τους, την παρουσία διακλαδώσεων και τις διασταυρώσεις που έχουν. Μερικές από τις πιο σημαντικές αλλαγές που συμβαίνουν σε ένα πολυμερές που ακτινοβολείται αφορούν τις μηχανικές του ιδιότητες [5]. Πάντως αυτές οι ιδιότητες δεν αλλάζουν με τον ίδιο ρυθμό, όταν συμβαίνουν οι διάφορες χημικές αντιδράσεις (φωτο-οξείδωση κ.α.) στο πολυμερές.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η κατανόηση των μηχανισμών της γήρανσης του καθαρού πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (χωρίς σταθεροποιητές). Για το λόγο



αυτό το πολυαιθυλένιο εκτέθηκε σε συνθήκες φυσικής και τεχνητής γήρανσης. Η μελέτη των μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων του υλικού χωρίς σταθεροποιητές πριν και μετά την έκθεση μας επιτρέπει να παρακολουθήσουμε σε μικρή χρονική διάρκεια τις μεταβολές τους σε συνάρτηση με το χρόνο.

### 3. ΤΕΧΝΗΤΗ ΓΗΡΑΝΣΗ

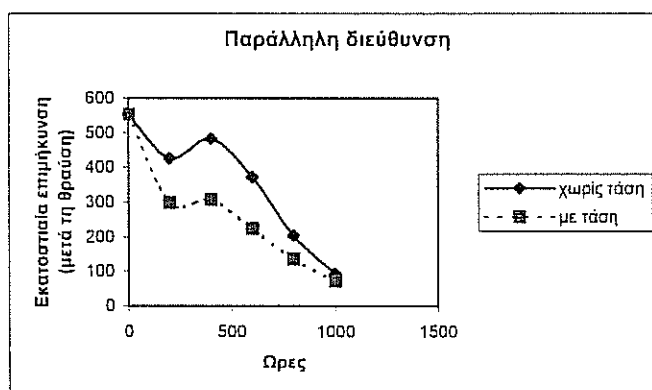
Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε καθαρό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (χωρίς σταθεροποιητές), πάχους 200 μμ. Όλα τα δείγματα εκτέθηκαν σε συνθήκες τεχνητής γήρανσης κατά το πρότυπο ASTM G26. Οι συνθήκες έκθεσης ήταν οι ακόλουθες:

Λαμπτήρας	: τόξο ξένου
Ακτινοβολία	: 0.35 W/m <sup>2</sup>
Θερμοκρασία μαύρης πλάκας	: 63 °C
Σχετική υγρασία	: 30%
Ξηρός κύκλος	

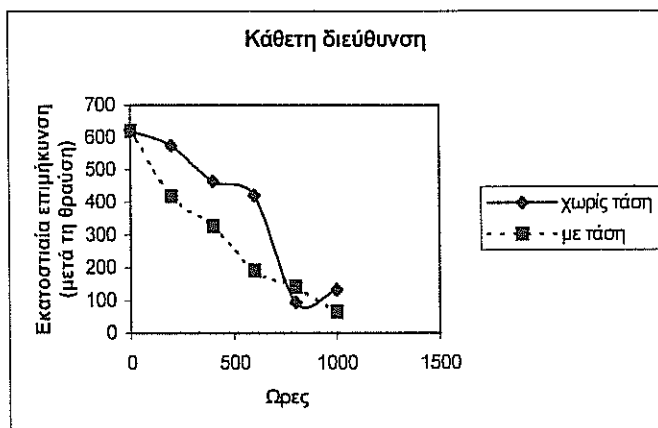
Η διάρκεια έκθεσης ξεκινούσε από 200 ώρες και έφτανε μέχρι και τις 1000 ώρες συνολικής έκθεσης, με τμηματική αύξηση ανα 200 ώρες. Δέκα δείγματα προεντάθηκαν μέχρι το 50% της μετρούμενης τάσης διαρροής τους. Η προ-ένταση πραγματοποιήθηκε σε μηχανή εφελκυσμού και στην συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα κατασκευασμένα διπλά πλαίσια από ανοξείδωτο ατσάλι. Άλλα δέκα δείγματα τοποθετήθηκαν στα ειδικά πλαίσια χωρίς προ-ένταση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- **μηχανικές ιδιότητες**

Η ιδιότητα εφελκυσμού που παρουσιάστηκε να είναι περισσότερο ευαίσθητη σε αυτήν την έκθεση είναι η εκατοστιαία επιμήκυνση μετά τη θραύση. Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται αυτή η συμπεριφορά.



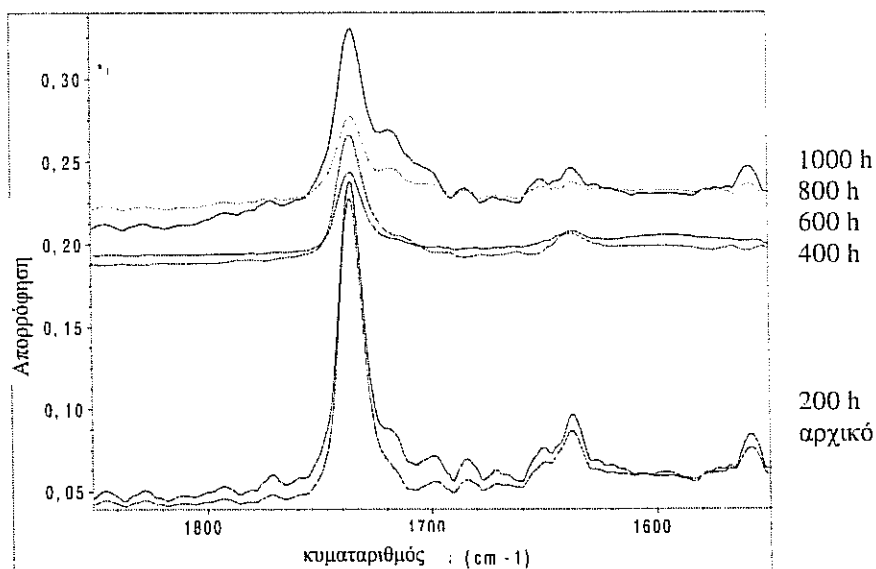
Σχήμα 1: Εκατοστιαία επιμήκυνση σε σχέση με τις ώρες έκθεσης για τα δείγματα χωρίς τάση και με τάση (παράλληλη διεύθυνση).



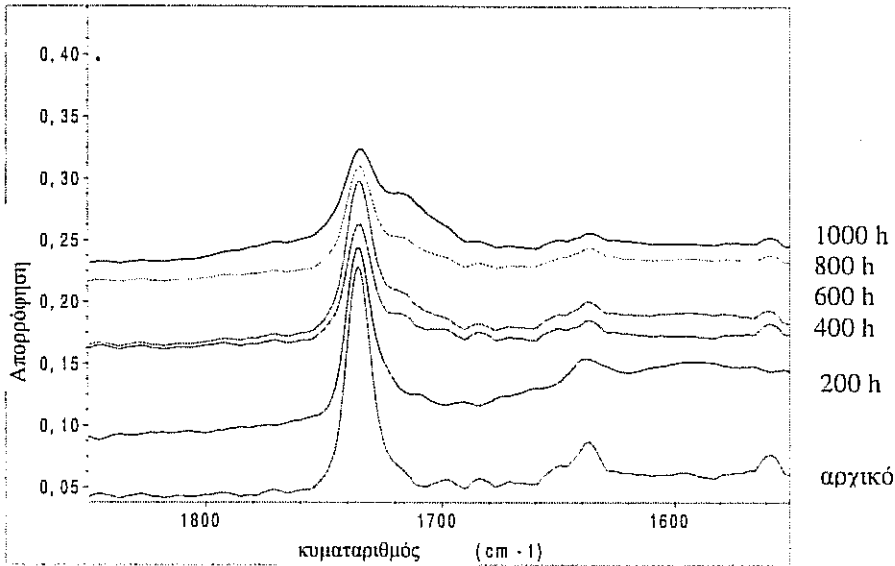
Σχήμα 2: Εκατοστιαία επιμήκυνση σε σχέση με τις ώρες έκθεσης για τα δείγματα χωρίς τάση και με τάση (κάθετη διεύθυνση).

• *χημικές ιδιότητες*

Οι χημικές ιδιότητες μελετήθηκαν σε φασματοφωτόμετρο FTIR. Η περιοχή που έχει υποστεί τις σημαντικότερες αλλαγές είναι η περιοχή των καρβονυλίων. Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνονται οι αλλαγές του καθαρού υλικού σε σχέση με το γηρασμένο. Είναι φανερό ότι τα δείγματα υπό τάση έχουν υποστεί πιά έντονη φωτο-οξειδωτική αποικοδόμηση καθώς τα παρα-προϊόντα της (καρβονύλια) παρουσιάζονται αυξημένα.



Σχήμα 3: Περιοχή καρβονυλίων (υλικό χωρίς τάση, εκτεθειμένη πλευρά).



Σχήμα 4: Περιοχή καρβονυλίων (υλικό με τάση, εκτεθειμένη πλευρά).

#### 4. ΦΥΣΙΚΗ ΓΗΡΑΝΣΗ

Για την έκθεση σε φυσικές συνθήκες χρησιμοποιήθηκε καθαρό πολυαιθυλένιο πάχους 100  $\mu\text{m}$  και 200  $\mu\text{m}$ . Η έκθεση είχε διάρκεια 10 εβδομάδες (κατά τους μήνες Ιούλιο έως Σεπτέμβριο) και τα πλαστικά εκτέθηκαν υπό γωνία 45°. Τα αποτελέσματα των μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων παρουσιάζονται παρακάτω.

- **μηχανικές ιδιότητες**

Η φυσική γήρανση συνοδεύεται από σημαντική αύξηση του μέτρου ελαστικότητας και κυρίως από δραματική μείωση της εκατοστιαίας επιμήκυνσης μετά τη θραύση. Το μικρότερο πάχος φιλμ παρουσιάζεται πιο ευαίσθητο στη διαδικασία της γήρανσης.

Πίνακας 1: Μηχανικές ιδιότητες του πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (100  $\mu\text{m}$ .)

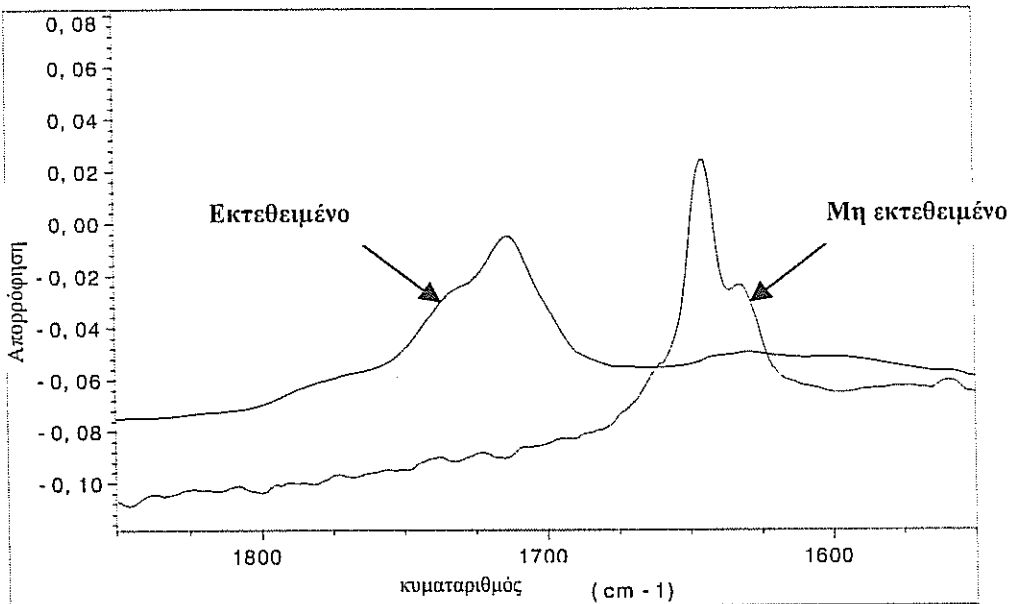
100 $\mu\text{m}$						
<i>Παράλληλη διεύθυνση</i>						
Εβδομάδες	Τάση στο όριο διαρροής (MPa)	Επιμήκυνση στο όριο διαρροής (%)	Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	Τάση στο μέγιστο φορτίο (KN)	Επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο (mm)	Επιμήκυνση στη θραύση (%)
0	9,1 (0,4)	25,9 (0,4)	171,6 (13)	15,6 (1,8)	3,8 (0,6)	380,4 (56)
10	11,4 (0,1)	24,9 (0,7)	265,9 (14,0)	16,0 (0,2)	0,2 (0,0)	84,0 (35,8)
<i>Κάθετη διεύθυνση</i>						
Εβδομάδες	Τάση στο όριο διαρροής (MPa)	Επιμήκυνση στο όριο διαρροής (%)	Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	Τάση στο μέγιστο φορτίο (KN)	Επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο (mm)	Επιμήκυνση στη θραύση (%)
0	8,8 (0,1)	25,8 (0,2)	166,1 (4,4)	17,6 (2,8)	4,6 (0,7)	461,0 (70,0)
10	10,8 (0,7)	24,3 (0,4)	265,6 (20,8)	15,7 (0,1)	0,2 (0,0)	67,1 (17,4)

Πίνακας 2: Μηχανικές ιδιότητες του πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (200  $\mu\text{m}$ .)

200 $\mu\text{m}$						
<i>Παράλληλη διεύθυνση</i>						
Εβδομάδες	Τάση στο όριο διαρροής	Επιμήκυνση στο όριο δαιρροής	Μέτρο ελαστικότητας	Τάση στο μέγιστο φορτίο	Επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο	Επιμήκυνση στη θραύση
	(MPa)	(%)	(MPa)	(KN)	(mm)	(%)
0	6,9 (0,1)	28,2 (0,4)	85,9 (2,9)	26,0 (1,1)	5,5 (0,2)	552,7 (18,1)
10	7,7 (0,1)	27,4 (0,6)	110,3 (2,8)	10,4 (1,9)	1,9 (1,9)	289,8 (114,6)
<i>Κάθετη διεύθυνση</i>						
Εβδομάδες	Τάση στο όριο διαρροής	Επιμήκυνση στο όριο δαιρροής	Μέτρο ελαστικότητας	Τάση στο μέγιστο φορτίο	Επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο	Επιμήκυνση στη θραύση
	(MPa)	(%)	(MPa)	(KN)	(mm)	(%)
0	6,4 (0,1)	27,4 (0,8)	88,6 (5,4)	25,3 (2,2)	6,2 (0,3)	621,5 (32,1)
10	7,5 (0,1)	26,9 (0,5)	118,9 (1,5)	9,5 (0,9)	1,3 (1,6)	298,7 (67,5)

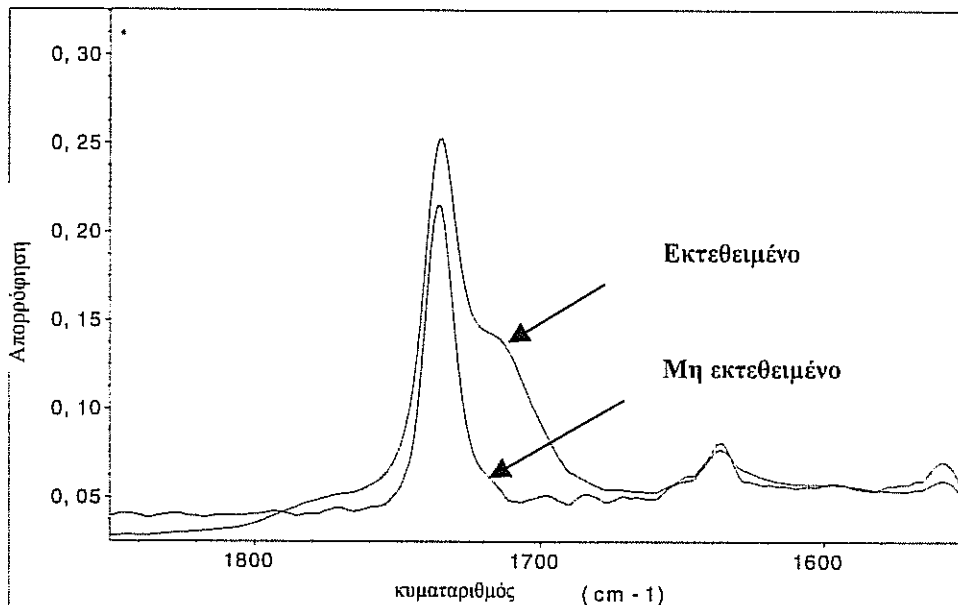
• χημικές ιδιότητες

Και σε αυτή την περίπτωση η περιοχή των καρβονυλίων έδειξε τις σημαντικότερες αλλαγές στην μακρομοριακή δομή του υλικού. Στην περίπτωση του πολυαιθυλενίου



Σχήμα 5: Περιοχή καρβονυλίων (πολυαιθυλένιο 100  $\mu\text{m}$ ).

των 200  $\mu\text{m}$  η μεταβολή παρουσιάζεται ποιοτικά παρόμοια με εκείνη της τεχνητής γήρανσης. Πάντως, οι μεταβολές υπό συνθήκες τεχνητής γήρανσης προσομοιάζουν τις αντίστοιχες μεταβολές υπό συνθήκες φυσικής γήρανσης, ανηγμένες στην αντίστοιχη έκθεση υπεριώδους ακτινοβολίας.



Σχήμα 6: Περιοχή καρβονυλίων (πολυαιθυλένιο 200  $\mu\text{m}$ ).

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας τα αποτελέσματα και των δύο ειδών γήρανσης μπορούμε να καταλήξουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Από πλευράς μηχανικών ιδιοτήτων δύο ιδιότητες παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές ανάμεσα στο αρχικό και το γηρασμένο υλικό. Το μέτρο ελαστικότητας έδειξε ότι αυξάνεται σημαντικά ενώ η εκατοστιαία επιμήκυνση στη θραύση μειώνεται [6]. Επίσης πολύ σημαντική είναι η επίδραση της τάσης εφελκυσμού στο υλικό αφού φαίνεται ότι η μεταβολή των παραπάνω ιδιοτήτων είναι πιο έντονη για το υλικό που έχει υποστεί την προ-ένταση.

Από πλευράς χημικών ιδιοτήτων οι περιοχές που έδειξαν ότι επηρεάστηκαν περισσότερο είναι η περιοχή των ομάδων του καρβονυλίου και η περιοχή της ομάδας άνθρακα-υδρογόνου λόγω δονήσεων παραμόρφωσης [6]. Στη δε πρώτη περιοχή είναι ολοφάνερο ότι με την πάροδο του χρόνου γήρανσης σχηματίζονται και άλλες ομάδες καρβονυλίου πέρα από αυτές που προυπήρχαν στο αρχικό υλικό. Στη δεύτερη περιοχή, η οποία σχετίζεται και με την κρυσταλλικότητα του υλικού, φαίνεται ότι γίνεται μια αλλαγή στην τακτοποίηση των μακρομοριακών αλυσίδων με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της κρυσταλλικότητας του υλικού [6].

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: P.A.Dilara and D. Briassoulis, "Degradation and Stabilization of Low Density Polyethylene(LDPE) Films Used as Greenhouse Covering Materials", A7(1998).
- [2]: P.A.Dilara and D. Briassoulis, "Standard Testing Methods for Mechanical Properties and Degradation of Low Density Polyethylene (LDPE) Films Used as Greenhouse Covering Materials", *Polymer Testing*, 17, 549-585, (1998).
- [3]: Jan F. Rabek, *Photodegradation of polymers. Physical Characteristics and Applications*, Springer, Berlin, 1996.
- [4]: F. Henninger and E. Pedrazzetti, *Plasticulture*, N° 86 (1990/2), 6-20.
- [5]: M.B. Amin, H.S. Hamid and J.H. Khan, *Journal of Polymer Engineering*, Vol. 14, No 4, 253-267, (1995).
- [6]: Αριστοπούλου Αδαμαντία, *Επίδραση κρίσιμων παραγόντων στη γήρανση φιλμ πολυαιθυλενίου (LDPE) κατά τη χρήση του σαν υλικό κάλυψης θερμοκηπίου*, Μεταπτυχιακή εργασία, ΓΠΑ, 2000.

# Αριθμητική προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς LDPE φύλλων θερμοκηπίου

**Δ. Μπριασούλης και E. Schettini**<sup>1</sup>

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής  
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μηχανική συμπεριφορά LDPE φύλλων θερμοκηπίου προσομοιώνεται με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Το μοντέλο που αναπτύσσεται βασίζεται στη αντίστοιχη μηχανική συμπεριφορά και ιδιότητες που μετρώνται στο εργαστήριο με εφαρμογή προτύπων μεθόδων ελέγχου. Η συμπεριφορά συγκεκριμένων πεπερασμένων στοιχείων όπως το στοιχείο μεμβράνης και το στοιχείο κελύφους με μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις εξετάζεται σε σχέση με την καλύτερη δυνατή προσομοίωση της συμπεριφοράς του φύλλου κάτω από συνθήκες εργαστηριακού ελέγχου.

## Numerical simulation of the mechanical behaviour of greenhouse LDPE film

**D. Briassoulis and E. Schettini**<sup>1</sup>

Agricultural University of Athens  
Department of Agricultural Engineering, Iera Odos 75, 11855 Athens

## SUMMARY

The mechanical behaviour of the LDPE film material is simulated using the finite element method of analysis. The model developed is based on the corresponding behaviour and the mechanical properties obtained in the laboratory by applying standard testing methods. The performance of specific finite elements, such as a membrane shell and a plastic large strain shell element, is investigated with respect to the best possible simulation of the film's behaviour under testing configurations.

---

<sup>1</sup> *Post doctoral fellow supported by the European Commission (SMT4- CT98-9034, DG 12-RSMT)*

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι οικονομικές και τεχνικές εξελίξεις του τελευταίου αιώνα έχουν προάγει μια συνεχή ανάπτυξη και διάδοση της χρήσης πλαστικών στη γεωργία λόγω των καλών τους μηχανικών ιδιοτήτων, την ευκολία μορφοποίησής τους και του χαμηλού κόστους τους [1, 2]. Η χρήση προϊόντων καλής ποιότητας με προβλεπόμενο χρόνο ζωής απαιτείται στις θερμοκηπιακές κατασκευές που καλύπτονται με πλαστικά φύλλα για να επιτευχθεί αυξημένη ποιοτικά και ποσοτικά παραγωγή και να αποφευχθούν διάφορα προβλήματα σχετικά με τον σχεδιασμό των θερμοκηπίων, την πρόωρη γήρανση των υλικών κάλυψης και την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων πλαστικών αποβλήτων που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν σχετικά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Στη Νότια Ευρώπη, φύλλα πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) αποτελούν το κυρίαρχο υλικό κάλυψης θερμοκηπίων. Το υλικό LDPE χαρακτηρίζεται ως θερμοπλαστικό, ημι-κρυσταλλικό υλικό [2- 6].

Μεταξύ όλων των ιδιοτήτων των πλαστικών υλικών, οι μηχανικές ιδιότητες είναι συχνά οι πιο σπουδαίες επειδή τελικά όλες οι συνθήκες λειτουργίας και η πλειονότητα των εφαρμογών τελικού-χρήστη περιλαμβάνουν κάποιο βαθμό μηχανικής καταπόνησης [7- 12]. Ειδικά για τα πλαστικά φύλλα θερμοκηπίου, η λειτουργία τους ως στοιχείων ανάληψης και ανακατανομής φορτίου, απαιτεί να μην παραμορφώνονται σε συνθήκες λειτουργίας πέρα από όρια που περιγράφονται από λειτουργικές ανάγκες και να μην αστοχούν με θραύση, σχίσιμο, ή άλλους τρόπους, μέσα στον προσδοκώμενο χρόνο ζωής τους.

Η κατανόηση της συμπεριφοράς και ανταπόκρισης των πλαστικών φύλλων κάτω από φορτία είναι σημαντική για τον έλεγχο ποιότητας και επιτρέπει συγκρίσεις διαφόρων εναλλακτικών υλικών. Η κατανόηση αυτή της μηχανικής συμπεριφοράς επιτρέπει να παρέχονται στον χρήστη οι βασικές μηχανικές ιδιότητες, ή μηχανικές ιδιότητες αναφοράς, όπως είναι η αντοχή σε εφελκυσμό, σχίσιμο και κρούση, ερπυσμό και κόπωση και τα σχετικά μέτρα ελαστικότητας που απαιτούνται για σκοπούς ανάλυσης και σχεδιασμού. Παράγοντες όπως ο ρυθμός μεταβολής του εφαρμοζόμενου φορτίου και η ιστορία της καταπόνησης με τάσεις, η θερμοκρασία και οι εξωτερικές συνθήκες, τα χημικά πρόσθετα και ο προσανατολισμός των μακρομορίων επηρεάζουν τις ιδιότητες αυτές.

Η έρευνα της εντατικής κατάστασης που αναπτύσσεται στα φύλλα LDPE κάτω από διάφορες συνθήκες φόρτισης θεωρείται ότι αποτελεί σημαντικό θέμα αναφορικά με την σωστή τους χρήση ως υλικών κάλυψης θερμοκηπίων. Η παρούσα εργασία αντιπροσωπεύει μια πρώτη προσπάθεια να προσομοιωθεί η μηχανική συμπεριφορά των LDPE φύλλων θερμοκηπίων με την χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Το μοντέλο υλικού που χρησιμοποιείται βασίζεται στην συμπεριφορά και τις μηχανικές ιδιότητες που μετρήθηκαν στο εργαστήριο με την εφαρμογή διεθνών προτύπων μέτρησης των αντίστοιχων μηχανικών ιδιοτήτων.

## 2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ LDPE ΦΥΛΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Οι Dilara και Briassoulis [13] έχουν περιγράψει κριτικά τις διάφορες μεθόδους για έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων LDPE φύλλων θερμοκηπίων. Οι μηχανικές ιδιότητες των πλαστικών φύλλων προσδιορίζονται κυρίως με έλεγχο των εφελκυστικών ιδιοτήτων με βάση πρότυπες μεθόδους δοκιμών. Πρόσθετοι έλεγχοι που γίνονται συνήθως για εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς των πλαστικών φύλλων περιλαμβάνουν δοκιμές αντοχής σε σχίσιμο, αντοχής σε κρούση και συμπεριφοράς ερπυσμού. Οι μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται μπορεί όμως να ποικίλουν (εξαρτώμενοι από τα πρότυπα και τις συγκεκριμένες μεθόδους δοκιμών που



επιλέγονται). Σε ορισμένες περιπτώσεις, ακατάλληλες μέθοδοι χρησιμοποιούνται δίνοντας λάθος τιμές των ιδιοτήτων που μετρώνται, ή οι τιμές που επιτυγχάνονται δεν ορίζονται ή δεν αναφέρονται σωστά [13].

Η συμπεριφορά παραμορφώσεων των πλαστικών μελετάται με βάση τις σχέσεις τάσεων-ανηγμένων παραμορφώσεων. Το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που επιτυγχάνεται από την απλή δοκιμή εφελκυσμού δίνει πληροφορίες για τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού, τον χαρακτήρα και την έκταση της πλαστικής του παραμόρφωσης και την αντοχή του σε εφελκυσμό και διαρροή. Η δοκιμή αυτή του εφελκυσμού δεν παίρνει υπόψη την χρονική εξάρτηση των ιδιοτήτων του υλικού. Στην παρούσα εργασία δεν μελετάται η χρονική εξάρτηση της μηχανικής συμπεριφοράς των φύλλων LDPE (βίσκο-ελαστική συμπεριφορά π.χ. συμπεριφορά ερπυσμού).

Το πολυαιθυλένιο παρουσιάζει διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων εφελκυσμού τυπικά ενός μαλακού και ανθεκτικού υλικού με χαμηλό μέτρο ελαστικότητας, χαμηλή τάση διαρροής αλλά πολύ υψηλή επιμήκυνση και τάση θραύσης [8].

Παράγοντες του φυσικού περιβάλλοντος, όπως βροχή, χαλάζι υπερϊώδης ακτινοβολία, ακραίες θερμοκρασίες και άλλοι, καθώς και του τεχνητού περιβάλλοντος, όπως χημικά, υψηλές θερμοκρασίες και άλλοι, παίζουν σημαντικό ρόλο στις μηχανικές ιδιότητες, τη διάρκεια ζωής και τον τρόπο αστοχίας των πλαστικών φύλλων. Ιδιαίτερα η επίδραση παραγόντων του φυσικού περιβάλλοντος και του μικρο-περιβάλλοντος των θερμοκηπίων, που αναφέρονται ως γήρανση, είναι επιζήμια για τις μηχανικές ιδιότητες των πλαστικών [14].

Τα πραγματικά υλικά είναι πάντοτε ανισότροπα: σε μερικές περιπτώσεις οι διαφορές των ιδιοτήτων στις διαφορετικές διευθύνσεις είναι μικρές και το υλικό μπορεί να θεωρηθεί ως ισότροπο ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις αυτές οι διαφορές είναι τόσο μεγάλες ώστε η ανάλυση η οποία υποθέτει συμπεριφορά ισότροπου υλικού δεν μπορεί να θεωρηθεί πια λογική προσέγγιση [15]. Αυτή είναι και η περίπτωση του φύλλου πολυαιθυλενίου μια και η διαδικασία επεξεργασίας του υλικού κατά την διάρκεια της παραγωγής του εισάγει ανισοτροπία. Μία από τις κύριες διευθύνσεις είναι η αποκαλούμενη διεύθυνση μηχανής (δηλ. η διεύθυνση κατά μήκος του σωλήνα που δημιουργείται κατά την εξώθηση) ενώ η άλλη κύρια διεύθυνση είναι η εγκάρσια διεύθυνση (δηλ. η διεύθυνση κατά την περιφέρεια του σωλήνα του φύλλου).

Οι σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων για ανισότροπα γραμμικά ελαστικά υλικά δίνονται ως εξής:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E_x} \sigma_x - \frac{\nu_{yx}}{E_y} \sigma_y - \frac{\nu_{zx}}{E_z} \sigma_z \\ \varepsilon_y &= -\frac{\nu_{xy}}{E_x} \sigma_x + \frac{1}{E_y} \sigma_y - \frac{\nu_{zy}}{E_z} \sigma_z \\ \varepsilon_z &= -\frac{\nu_{xz}}{E_x} \sigma_x - \frac{\nu_{yz}}{E_y} \sigma_y + \frac{1}{E_z} \sigma_z \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= G_{xy} \gamma_{xy} \\ \tau_{yz} &= G_{yz} \gamma_{yz} \\ \tau_{zx} &= G_{zx} \gamma_{zx} \end{aligned} \quad (2)$$

όπου  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  και  $\sigma_z$  είναι οι τάσεις στην κατά μήκος (x), την εγκάρσια (y) και την κατά το πάχος του φύλλου (z) διεύθυνση, ενώ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$  και  $\tau_{zx}$  είναι οι διατμητικές τάσεις στα επίπεδα xy, yz και xz. Ομοίως,  $\varepsilon_i$  και  $E_i$  ( $i = x, y, z$ ) είναι η ανηγμένη παραμόρφωση και το μέτρο ελαστικότητας στην διεύθυνση  $i$ , αντίστοιχα, ενώ  $\gamma_{ij}$  και  $G_{ij}$  ( $i \neq j$ ;  $i, j = x, y, z$ ) είναι οι διατμητικές παραμορφώσεις και το διατμητικό μέτρο ελαστικότητας στο επίπεδο  $ij$ , αντίστοιχα. Οι λόγοι του Poisson's στο επίπεδο  $ij$ ,  $\nu_{ij} = -\varepsilon_j / \varepsilon_i$  και  $\nu_{ji} = -\varepsilon_i / \varepsilon_j$  σχετίζονται με τα αντίστοιχα μέτρα ελαστικότητας ως εξής [15]:

$$\frac{\nu_{ij}}{E_i} = \frac{\nu_{ji}}{E_j} \quad (3)$$

και το διατμητικό μέτρο ελαστικότητας  $G_{ij}$  υπολογίζεται ως εξής [15]:

$$G_{ij} = \frac{(1 + \nu_{ij})E_i + (1 + \nu_{ji})E_j}{4(1 + \nu_{ij})(1 + \nu_{ji})} \quad (4)$$

όπου  $i \neq j$  και  $i, j = x, y, z$ .

Οι εξισώσεις (1-2) απλοποιούνται αν η γεωμετρία του υλικού μπορεί να περιγραφεί στο επίπεδο x-y, έχοντας σχετικά μικρό πάχος στην διεύθυνση z. Σε αυτή την περίπτωση  $\sigma_{zz} = \tau_{zx} = \tau_{yx} = 0$  [2]. Οι υποθέσεις για επίπεδη ένταση είναι ακριβείς μόνο αν το στοιχείο έχει σταθερό πάχος και για σώματα με μικρό πάχος που υπόκεινται σε φορτία και παραμορφώσεις επί του επιπέδου τους. Για ισότροπα υλικά  $E_x = E_y = E_z = E$ ;  $\nu_{xy} = \nu_{yz} = \nu_{xz} = \nu$  και  $G_{xy} = G_{yz} = G_{xz} = G$ .

### 3. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΦΥΛΛΟΥ LDPE

Το μοντέλο του υλικού που έχει αναπτυχθεί βασίζεται στην αντίστοιχη συμπεριφορά και τις μηχανικές ιδιότητες που μετρώνται στο εργαστήριο με την εφαρμογή μεθόδων δοκιμών που δίδονται από διεθνείς κανονισμούς. Πιο συγκεκριμένα, οι ιδιότητες εφελκυσμού μετρήθηκαν με την εφαρμογή της μεθόδου δοκιμής του κανονισμού ASTM D 882 [16] (ή την αντίστοιχη της ISO 1184 [17]), η οποία είναι κατάλληλη για φύλλα πάχους μικρότερου από 0.25 mm. Η βασική διαδικασία της μεθόδου συνίσταται στη χρήση δοκιμών με τη μορφή λωρίδων ομοιόμορφου πλάτους και πάχους υπό το κλασικό σχήμα δοκιμής εφελκυσμού. Ειδικές προβλέψεις λαμβάνονται όσον αφορά τις εξειδικευμένες αρπάγες που απαιτούνται ώστε να αποφεύγονται προβλήματα ολίσθησης των λεπτών φύλλων LDPE ή θραύσης στο επίπεδο των αρπαγών, οδηγώντας σε πρόωρη αστοχία [18]. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών [18] για ένα τυπικό φύλλο LDPE θερμοκηπίου παρουσιάζονται στα σχήματα 1 και 2, με τη μορφή των διαγραμμάτων τάσεων-παραμορφώσεων, για την παράλληλη και εγκάρσια διεύθυνση, αντίστοιχα.

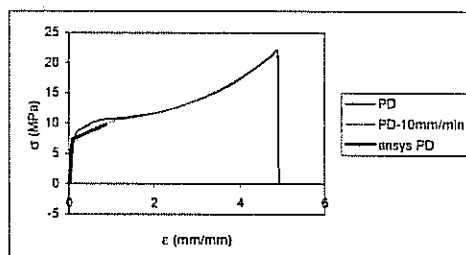
Οι ιδιότητες εφελκυσμού, σύμφωνα με τους ορισμούς της αναφοράς [18], δίνονται στον Πίνακα 1. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι το μέτρο ελαστικότητας και οι σχετικές με αυτό ιδιότητες μετρώνται με την εφαρμογή χαμηλού ρυθμού μεταβολής

παραμορφώσεων (10 mm/min) ενώ οι υπόλοιπες ιδιότητες εφελκυσμού υπολογίζονται με την χρήση μικρού μήκους δοκιμίων με υψηλό ρυθμό μεταβολής παραμορφώσεων (500 mm/min) [18]. Οι εκτιμώμενες τιμές του εφαπτομενικού μέτρου ελαστικότητας του διαγράμματος μετά την διαρροή,  $E'_i$ , βασίζονται στις ακόλουθες υποθέσεις:

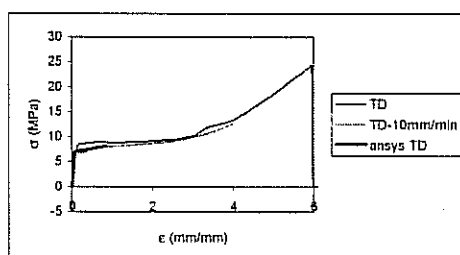
- Στην παράλληλη διεύθυνση, το τμήμα της καμπύλης μετά το (ονομαστικό) σημείο διαρροής και μέχρι το σημείο της μέγιστης τάσης (αντοχής σε εφελκυσμό) θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει συμπεριφορά γραμμικής κράτνσης (Σχήμα 1). Έτσι, η συμπεριφορά του φύλλου στην παράλληλη διεύθυνση εξιδανικεύεται με ένα πρότυπο ελαστοπλαστικού υλικού με γραμμική κράτνση.
- Στην εγκάρσια διεύθυνση, το τμήμα της καμπύλης μετά το σημείο διαρροής μπορεί να θεωρηθεί ότι παρουσιάζει συμπεριφορά διγραμμικής κράτνσης. Το πρώτο γραμμικό τμήμα της κράτνσης έχει πολύ χαμηλό εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας μέχρι μια τιμή παραμόρφωσης ίσης με το μισό της επιμήκυνσης θραύσης (παραμόρφωση 300%) και ακολουθείται από ένα γραμμικό τμήμα κράτνσης με πιο απότομη κλίση μέχρι το σημείο της μέγιστης τάσης (Σχήμα 2). Για τους σκοπούς της ανάλυσης, υποθέτοντας ότι οι παραμορφώσεις παραμένουν σχετικά χαμηλές, η συμπεριφορά του φύλλου στην εγκάρσια διεύθυνση εξιδανικεύεται επίσης με πρότυπο ελαστοπλαστικού υλικού με γραμμική κράτνση (χρησιμοποιώντας για την κράτνση το χαμηλό εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας του πρώτου τμήματος της πραγματικής διγραμμικής κράτνσης).

Πίνακας 1: Ιδιότητες υλικού: τιμές που μετρήθηκαν στο εργαστήριο εφαρμόζοντας κανονισμούς δοκιμών εφελκυσμού και εκτιμώμενες τιμές (\*).

Διεύθυνση -i	$E_i$ [MPa]	$E'_i$ [MPa]	$\sigma_i$ διαρροής [MPa]	επίπεδο ij	$G_{ij}$	$\nu_{ij}$
x	93.928	3.033	7.38	xy	35.77347*	0.424*
y	106.130	1.102	7.00	xz	34.6477*	0.412*
z	100.029*	2.067*	7.19*	yz	36.82595*	0.411*



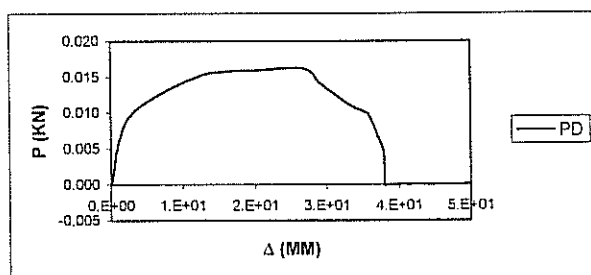
Σχήμα 1: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων στην παράλληλη διεύθυνση (PD) για φύλλο πολυαιθυλενίου θερμοκηπίου LDPE.



Σχήμα 2: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων στην εγκάρσια διεύθυνση (TD) για φύλλο πολυαιθυλενίου θερμοκηπίου LDPE.

Από μηχανικής άποψης, το φύλλο πολυαιθυλενίου είναι μεμβράνη. Έτσι η προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς του φύλλου πολυαιθυλενίου LDPE είναι ισοδύναμη με εκείνη μεμβράνης που αποτελείται από υλικό με τις ιδιότητες που δίνονται στον Πίνακα 1. Το ερώτημα εδώ αφορά τη χρήση κατάλληλων προτύπων που να προσομοιώνουν αυτή τη συμπεριφορά μεμβράνης του συγκεκριμένου φύλλου σωστά. Ένας τρόπος για την εκτίμηση τέτοιων προτύπων μεμβράνης είναι μέσω αριθμητικής προσομοίωσης ειδικών εργαστηριακών δοκιμών και σύγκρισης των

αριθμητικών αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται στο εργαστήριο. Επειδή η μεμβράνη δεν έχει αντίσταση σε θλίψη, αναζητήθηκε μια εργαστηριακή δοκιμή η οποία εισάγει σύμπλοκη εντατική κατάσταση, συμπεριλαμβανομένων θλιπτικών τάσεων. Μια τέτοια δοκιμή είναι εκείνη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της αντοχής σε έναρξη σχισίματος, μιας ιδιότητας που είναι σημαντική για το φύλλο πολυαιθυλενίου LDPE. Η έναρξη του σχισίματος μετράται με την συμβατική μηχανή δοκιμής εφελκυσμού σε όρους δύναμης για έναρξη και διάδοση του σχισίματος [13]. Το δοκίμιο έχει ένα ιδιαίτερο σχήμα που επιτρέπει την ανάπτυξη συγκεντρώσεων τάσεων σε συγκεκριμένη περιοχή όπου έχουμε και έναρξη σχισίματος. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος δοκιμής έναρξης σχισίματος του κανονισμού ASTM-D 1004 [19] (ή του ισοδύναμου ISO 34-1 [20]). Ένα τυπικό διάγραμμα από δοκιμή στο εργαστήριο [18] παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.



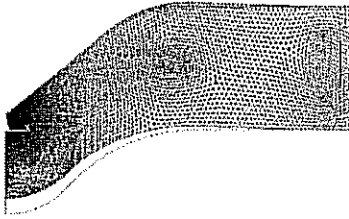
Σχήμα 3: Διάγραμμα δύναμης (P)-μετατόπισης (Δ) από δοκιμή έναρξης σχισίματος στο εργαστήριο.

#### 4. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

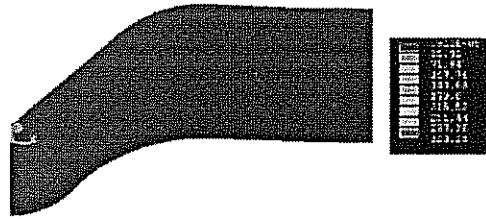
Η μηχανική συμπεριφορά του φύλλου πολυαιθυλενίου LDPE προσομοιώνεται με τη μέθοδο ανάλυσης των πεπερασμένων στοιχείων, χρησιμοποιώντας ένα εμπορικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων [21]. Η συμπεριφορά δύο συγκεκριμένων στοιχείων, ενός στοιχείου κελύφους-μεμβράνης και ενός στοιχείου κελύφους μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων, εξετάστηκαν αναφορικά με την καλύτερη δυνατή προσομοίωση της συμπεριφοράς του φύλλου πολυαιθυλενίου LDPE υπό τις αντίστοιχες διατάξεις ελέγχου των δοκιμών. Το στοιχείο μεμβράνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για γραμμική ελαστική ανάλυση. Το στοιχείο κελύφους επιτρέπει προσομοίωση της πλαστικής συμπεριφοράς αλλά υπάρχει ανάγκη έμμεσης εισαγωγής τεχνητής δράσης μεμβράνης.

Πρότυπα δοκιμών φύλλου πολυαιθυλενίου συγκεκριμένης γεωμετρίας (δοκιμών εφελκυσμού και έναρξης σχισίματος) με ιδιότητες ανισότροπου υλικού (Πίνακας 1), μελετήθηκαν αριθμητικά υπό ανάλογες οριακές συνθήκες και εφαρμόζοντας διαφορετικές εναλλακτικές επιλογές ανάλυσης όπως γραμμική ελαστική ανάλυση, δράση μεμβράνης και πλαστικότητα. Γεωμετρικές μη-γραμμικότητες όπως μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις δεν έχουν εισαχθεί στην ανάλυση στην παρούσα φάση. Χρονικά εξαρτώμενη συμπεριφορά δεν συμπεριλαμβάνεται στην εργασία αυτή.

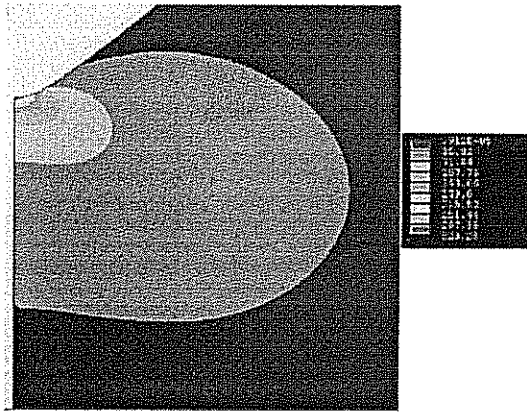
Τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης εργαστηριακών δοκιμών εφελκυσμού παρουσιάζονται στα Σχήματα 1 και 2. Η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων με χρήση ελαστο-πλαστικού προτύπου με γραμμική κράτυνση προσομοιώνει ρεαλιστικά τις εργαστηριακές δοκιμές (σε εγκάρσια διεύθυνση, μέχρις μιας μέγιστης τιμής παραμορφώσεων ίσης με την μισή τιμή της επιμήκυνσης θραύσης).



Σχήμα 4: Αρχικό και παραμορφωμένο πρότυπο πεπερασμένων στοιχείων



Σχήμα 5: Τάσεις κατά τη διεύθυνση φόρτισης.



Σχήμα 6: Τάσεις κατά τη διεύθυνση φόρτισης κατά μήκος του δοκιμίου.

Τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης της δοκιμής έναρξης σχισίματος με την χρήση του στοιχείου μεμβράνης παρουσιάζονται στα Σχήματα 4-6. Το αρχικό (διακεκομμένη γραμμή) και παραμορφωμένο (συνεχής γραμμή) πρότυπο πεπερασμένων στοιχείων παρουσιάζονται στο Σχήμα 4 (χρησιμοποιώντας ως πρότυπο το μισό συμμετρικό του δοκιμίου). Η γραμμική ελαστική, αλλά μη-γραμμική συμπεριφορά μεμβράνης, προσομοιώθηκε με ένα μάλλον χαμηλό φορτίο λόγω της υψηλής συγκέντρωσης τάσεων που αναπτύσσεται στην γωνία-εγκοπή όπου αρχίζει η έναρξη σχισίματος (Σχήματα 5 και 6) και των σχετικών προβλημάτων σύγκλισης που προέκυψαν σε υψηλότερα φορτία. Για την αποφυγή προβλημάτων σχετικών με σημεία ανωμαλίας η γωνία προσομοιώθηκε με καμπύλη μικρής ακτίνας. Είναι ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι η αριθμητική μη-γραμμική συμπεριφορά μεμβράνης που οδηγεί σε συγκλίνουσα λύση είναι το αποτέλεσμα του ιδιαίτερου σχήματος του δοκιμίου σε συνδυασμό με την δράση μεμβράνης. Είναι η δράση μεμβράνης που δεν επιτρέπει την ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων (οι οποίες θα συνεισέφεραν στην ανάπτυξη επίπεδων ροπών κάμψης για λόγους στατικής ισορροπίας), και είναι το σχήμα του δοκιμίου που οδηγεί σε υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτή η μη-γραμμική συμπεριφορά προσομοιώνει ικανοποιητικά την αντίστοιχη συμπεριφορά που παρατηρείται στο εργαστήριο κατά την διάρκεια της πρώτης φάσης της δοκιμής (γραμμική ελαστική συμπεριφορά πριν την έναρξη τοπικής διαρροής του υλικού και την έναρξη σχισίματος). Να σημειωθεί ότι

εκτός από την συγκέντρωση τάσεων με διεύθυνση κατά μήκος του δοκιμίου (Σχήμα 5) υπάρχουν επίσης συγκεντρώσεις τάσεων κατά την εγκάρσια διεύθυνση καθώς και διατμητικών τάσεων στην ίδια περιοχή της εγκοπής. Θα πρέπει να τονισθεί ότι ο σκοπός αυτής της εργασίας δεν είναι η προσομοίωση της έναρξης και διάδοσης σχισμάτος αλλά μάλλον να επιβεβαιώσει την γραμμική ελαστική δράση μεμβράνης του προτύπου πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς φύλλων πολυαιθυλενίου LDPE που περιγράφεται στην παρούσα εργασία αποτελεί το πρώτο βήμα για την ανάλυση της εντατικής κατάστασης φύλλων πολυαιθυλενίου για θερμοκήπια κάτω από διάφορες συνθήκες φόρτισης. Συγκεκριμένα, τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί θα εφαρμοστούν στη συνέχεια για την μελέτη των μηχανισμών ανάληψης και αναδιανομής φορτίων που αναπτύσσονται από τα φύλλα πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται ως υλικά κάλυψης θερμοκηπίων για να μεταφέρουν εξωτερικά φορτία όπως ανεμοπίεση και χιόνι στον φέροντα οργανισμό. Ο τελικός στόχος αυτής της έρευνας είναι η ετοιμασία τεχνικών οδηγιών για τον αξιόπιστο σχεδιασμό θερμοκηπίων με κάλυψη από φύλλα πολυαιθυλενίου LDPE ο οποίος θα κάνει αποδοτική αξιοποίηση των φύλλων πολυαιθυλενίου LDPE για θερμοκήπια.

## 6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Briassoulis, D.; Waaijberg, D.; Gratraud, J. and von Elsner B. 1997 (a). Mechanical properties of covering materials for greenhouses. Part 1: General Overview. *J. Agric. Engng. Res.*, 67, 81-96.
2. Osswald, T. A. and Menges, G. 1996. *Material Science of Polymers for Engineers*. Hanser/ Gardner Publications, Inc. Cincinnati.
3. Grulke, E. A. 1994. *Polymer Process Engineering*. PTR Prentice Hall.
4. Mills, N. J. 1993. *Plastics: Microstructure & Engineering Applications*. 2 Rev. ed. Edward Arnold, G.B.
5. Segmoar, R. B. 1982. *Plastics vs corrosive*. J. Wiley & Sons.
6. Whelam, T. and Goff, J. 1950. *Injection molding of thermoplastic materials*. Reinhold P.C., New York.
7. Billmeyer, F. W. 1984. *Textbook of Polymer Science*. Willey Interscience Publication.
8. Briassoulis, D.; Waaijberg, D.; Gratraud, J. and von Elsner B. 1997 (b) Mechanical properties of covering materials for greenhouses. Part 2: Quality Assessment. *J. Agric. Engng. Res.*, 67, 171-217.
9. Courtney, T. H. 1990. *Mechanical behaviour of materials*. McGraw-Hill.
10. Ogorkiewicz, R. M. 1977. The engineering properties of plastics *Engineering Design Guides 17*, Design Council, Oxford University Press.
11. Shah, V. 1984. *Handbook of Plastics: Testing Technology*. J. Wiley & Sons.
12. Simonds, H. R. 1961. *Source book of the new plastics*. Reinhold Publishing Corporation, New York.
13. Dilara P.A. and Briassoulis D. 1998. Standard testing methods for mechanical properties and degradation of Low Density Polyethylene (LDPE) films used as greenhouse covering materials: a critical evaluation. *Polymer Testing*, 17, 549-585.
14. Dilara P.A., Briassoulis D., Degradation and Stabilisation of Low Density Polyethylene (LDPE) Films Used as Greenhouse Covering Materials, *to be published in Jour. of Agricultural Engineering Research*.
15. Dowling N. E. 1993. *Mechanical behavior of materials*. Prentice-Hall International Editions.
16. ASTM D 882. 1991. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting.
17. ISO/R 1184 Plastics - Determination of tensile properties of films.
18. Briassoulis, D. Aristopoulou, A., Vitali, M. Adaptation and Harmonisation of Standard Testing Methods for Mechanical Properties of Low Density Polyethylene (LDPE) Films. *Proceedings AgEng 2000 Conference*, Warwick, UK.
19. ASTM-D 1004. 1990. Standard test method for initial tear resistance of plastic film and sheeting.
20. ISO 34-1. 1994. Rubber, vulcanised or thermoplastics - Determination of tear strength - Part 1 - Trouser, angle and crescent test pieces.
21. ANSYS 1999. v. 5.5, ANSYS Inc., Canonsburg, USA.

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Μπαρτζάνας Θ<sup>1</sup>., Fatnassi Η<sup>2</sup>., Φεΐδαρος Δ<sup>3</sup>., Βλάχος Ν<sup>3</sup>., Κίττας Κ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωϊκής Παραγωγής, Εργ.Γεωργικών Κατασκευών & Ελέγχου Περιβάλλοντος, Πεδίον Άρεως, 38334, Βόλος

<sup>2</sup> Universite Ibn Zohr Faculte Des Sciences, Laboratoire de Thermodynamique Mitallurgique et Rhologie des Matriaux Agadir -Maroc

<sup>3</sup> Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργ. Ρευστομηχανικής & Στροβιλομηχανών, Πεδίον Άρεως, 38334, Βόλος

## Περίληψη

Στην εργασία αυτή επιχειρείται η προσομοίωση της ροής του φυσικού αερισμού θερμοκηπίων για διάφορους τύπους ανοιγμάτων με την βοήθεια της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν με τον εμπορικό κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής CFD2000. Οι οριακές συνθήκες όπως η θερμοκρασία των τοιχωμάτων, του καλύμματος, της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου λαμβάνονται από πειραματικές μετρήσεις. Ανάλογα με την γεωμετρία του μοντέλου εφαρμόζεται διδιάστατη ή τρισδιάστατη μοντελοποίηση ανάλογα με την γεωμετρία θερμοκηπίου χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η καλλιέργεια. Τα αποτελέσματα δείχνουν την επίδραση των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στην εσωτερική ροή του αέρα εντός του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με αυτά που αναφέρονται στην σχετική βιβλιογραφία και μπορούν να αξιοποιηθούν για την βελτίωση του σχεδιασμού των ανοιγμάτων αερισμού του θερμοκηπίου.

## SIMULATION OF GREENHOUSE NATURAL VENTILATION

Bartzanas Th<sup>1</sup>., Fatnassi Η<sup>2</sup>., Feidaros D<sup>3</sup>., Vlahos N<sup>3</sup>., Kittas C<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Thessaly, School of Agriculture, Crop & Animal Production

<sup>2</sup>Universite Ibn Zohr Faculte Des Sciences, Laboratoire de Thermodynamique Mitallurgique et Rhologie des Matriaux Agadir -Maroc

<sup>3</sup>University of Thessaly, School of Mechanical and Industrial Engineering, Fluid Mechanics & Turbomachinery Lab.

## Abstract

A CFD analysis was conducted focussing on the natural ventilation processes into a greenhouse. It was examined various openings of two main greenhouse types (tunnel and span) which are the most widespread types in Greece. The simulations were performed with the commercial code CFD2000. The turbulence influence was approached by the two-equations k-ε model. For the definition of the boundary conditions was used data,

coming from experimental measurements. In the case, where the ventilations openings were set along of the greenhouse, the corresponding simulations were performed in two dimensions. The simulations were conducted within various wind seep with absence of crop. The results could be used to optimize the design of the greenhouse openings in order to improve the air flow into it.

### Εισαγωγή

Ο φυσικός αερισμός είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύθμισης του εσωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Η ροή αέρα, όπως αυτή δημιουργείται από την διαφορά πιέσεων στα ανοίγματα αερισμού ή λόγω φαινομένων άνωσης, ρυθμίζει τα επίπεδα θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκεντρώσεως CO<sub>2</sub> στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο ρόλος του φυσικού αερισμού είναι ιδιαίτερα κρίσιμος σε θερμοκήπια τα οποία δεν διαθέτουν εναλλακτικούς τρόπους εξαερισμού. Στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες για εξαερισμό είναι μεγάλες από νωρίς την άνοιξη έως αργά το φθινόπωρο. Τα περισσότερα ελληνικά θερμοκήπια χρησιμοποιούν μόνο ανοίγματα φυσικού αερισμού, αφού ελάχιστα είναι αυτά τα οποία διαθέτουν συστήματα δυναμικού αερισμού. Επομένως ο σωστός σχεδιασμός αλλά τοποθέτηση των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού είναι ιδιαίτερα κρίσιμος στις περιοχές αυτές, αφού είναι και ο μοναδικός τρόπος αποφυγής των υπερθερμάνσεων.

Μέχρι πρόσφατα η μελέτη και μοντελοποίηση του φυσικού αερισμού στηριζόταν στην μέθοδο του αέριου δείκτη. Η πρόσφατη πρόοδος στην μοντελοποίηση των ροών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με την βοήθεια αριθμητικών μεθόδων (CFD) καθώς και με την χρήση τρισδιάστατων ηχητικών ανεμομέτρων, (Wang 1998, Boulard, 2000) επέτρεψε την καλύτερη διερεύνηση του μηχανισμού του φυσικού αερισμού. Η πρώτη προσπάθεια μελέτης του φυσικού αερισμού σε θερμοκήπια, με τη χρήση κώδικα CFD έγινε από τους Okushima et al (1989). Οι περιορισμένες δυνατότητες των τότε υπολογιστών και κυρίως η αδυναμία περιγραφής με ακρίβεια του αριθμητικού πλέγματος δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε συγκρίσεις που επιχειρήθηκαν με τα αποτελέσματα του Sase et al (1984) τα οποία εξέταζαν την ροή αέρα και την κατανομή της θερμοκρασίας σε θερμοκήπιο τοποθετημένο σε αεροσήραγγα. Ο Mistriotis (Mistriotis et al, 1977 a, b) μελέτησε την ροή αέρα και την κατανομή της θερμοκρασίας σε φυσικά αεριζόμενα θερμοκήπια, χρησιμοποιώντας διαφορετικά μοντέλα τύρβης. Τα αποτελέσματα του έδειξαν να συμφωνούν με ανάλογα πειραματικά που έγιναν είτε σε αεροσήραγγα (Sase et al, 1984) είτε σε πραγματικές διαστάσεις με την χρήση τρισδιάστατων ηχητικών ανεμομέτρων (Boulard et al, 1997). Σημαντική προσπάθεια μοντελοποίησης και χαρακτηρισμού του φυσικού αερισμού σε θερμοκήπια έγινε και από τους Boulard, (Boulard et al, 1999, 2000), Haxaire (1999) στον σταθμό βιοκλιματολογίας του Ινστιτούτου Αγρονομικών Ερευνών της Γαλλίας (INRA). Τα αριθμητικά αποτελέσματα συγκρίνονταν με αντίστοιχα πειραματικά που γινόταν είτε σε μικρής κλίμακας θερμοκήπια είτε με χρήση τρισδιάστατων ηχητικών ανεμομέτρων και αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας γρήγορης απόκρισης.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένας εμπορικός κώδικας υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD2000), με αλγόριθμο επίλυσης τον PISO (Issa, 1985), με σκοπό την διερεύνηση του φυσικού αερισμού των θερμοκηπίων. Στα αποτελέσματα παρουσιάζονται, λόγω του περιορισμένου χώρου, περιπτώσεις τούνελ θερμοκηπίου με διαφορετικά ανοίγματα αερισμού και ταχύτητα εξωτερικού αέρα κάθετη σε αυτά.



## Μαθηματικό μοντέλο

Όπως είναι γνωστό ο φυσικός αερισμός προκαλείται λόγω της διαφοράς πιέσεων στα ανοίγματα αερισμού εξαιτίας της επίδρασης του ανέμου, είτε λόγω διαφορών στην πυκνότητα του εσωτερικού αέρα αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών. Η εξίσωση του Bernoulli, η οποία ευρέως χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παροχής αερισμού σε θερμοκήπια δεν επιτρέπει την διερεύνηση της ετερογένειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Για να γίνει δυνατή η διερεύνηση των διαφορετικών πεδίων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη η επίλυση των εξισώσεων που περιγράφουν τα φαινόμενα μεταφοράς. Οι εξισώσεις αυτές δίνουν μια αναπαράσταση στον χώρο και τον χρόνο των διαφόρων εξαρτημένων μεταβλητών. Οι εξισώσεις αυτές λόγω της μη γραμμικότητάς τους δεν μπορούν να λυθούν αναλυτικά. Προσεγγίζονται όμως υπολογιστικά με την βοήθεια αριθμητικών μεθόδων.

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

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

όπου  $U$ ,  $V$ ,  $W$  είναι οι μέσες χρονικές ταχύτητες,  $\Phi$  η εξαρτημένη μεταβλητή η οποία απεικονίζει τα διάφορα μέσα μεγέθη, όπως τρεις συνιστώσες ταχύτητας, ενθαλπία, κινητική ενέργεια της τύρβης κ.τ.λ.,  $\Gamma$  είναι ο συντελεστής μεταφοράς και  $S_{\Phi}$  ο πηγαίος όρος.

Η επίλυση των εξισώσεων γίνεται πάνω σε ένα διακριτό σύνολο σημείων που περιγράφει τον χώρο. Η προσομοίωση στην παρούσα εργασία γίνεται με την μέθοδο των πεπερασμένων όγκων (Finite Volume). Η επίδραση εξωτερικών παραγόντων στη ροή, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία, και η θερμοκρασία, ενσωματώνονται στις αντίστοιχες οριακές συνθήκες.

Τα ρευστοδυναμικά πεδία εκφράζονται στην γενικότητα τους από τις εξισώσεις Navier-Stokes ή στην περίπτωση του μη συνεκτικού ρευστού, από τις εξισώσεις Euler. Και στις δύο περιπτώσεις το πεδίο ροής εκφράζεται από ένα σύστημα μη γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων. Η μη γραμμικότητα των εξισώσεων οφείλεται στην χωρική επιτάχυνση του ρευστού και αποτελεί την βασική αιτία της δυσκολίας επίλυσης των. Η βασική ιδέα της μεθοδολογίας της αριθμητικής επίλυσης των διαφορικών εξισώσεων είναι η μετατροπή τους σε αλγεβρικές εξισώσεις, οι οποίες όταν επιλυθούν με την βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή δίνουν αριθμητικά τις τιμές των ταχυτήτων ή των άλλων βαθμωτών μεγεθών στις διακριτές θέσεις του υπολογιστικού πεδίου. Το σχήμα διακριτοποίησης των εξισώσεων, που χρησιμοποιήθηκε, βασίζεται στην μέθοδο των πεπερασμένων όγκων (Finite Volumes, Patankar 1980).

Στις περιπτώσεις τυρβώδους ροής όπου εμφανίζονται δυναμικά φαινόμενα σε κλίμακα μικρότερη από την κλίμακα του δικτύωματος επίλυσης, η παραπάνω μέθοδος δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν μοντέλα της τυρβώδους ροής ώστε να αντιμετωπίζεται η πολυπλοκότητα της τυρβώδους δυναμικής. Στα μοντέλα αυτά τα μεγέθη που εκφράζουν την ροή περιγράφονται ως αθροίσματα δύο συνιστωσών δηλαδή ενός αργά μεταβαλλομένου και ενός γρήγορα μεταβαλλομένου μέρους βασιζόμενα στον επιμερισμό Reynolds κατά τον οποίον η στιγμιαία μεταβολή

μίας βαθμωτής μεταβλητής (π.χ της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας του αέρα) της ροής επιμερίζεται ως εξής:

$$U = \bar{U} + u' \quad (2)$$

όπου,  $\bar{U}$  είναι η μέση χρονική τιμή της μεταβλητής και  $u'$  η απόκλιση από την μέση τιμή. Η μοντελοποίηση της τύρβης γίνεται από το μοντέλο δύο εξισώσεων k-ε (Launder and Spalding 1974), αξιοποιώντας στον μέγιστο δυνατό βαθμό τις μικρές υπολογιστικές απαιτήσεις που παρουσιάζει. Στο μοντέλο αυτό η τυρβώδης δυναμική περιγράφεται από δύο επιπλέον εξισώσεις μεταφοράς που είναι συζευγμένες με τις εξισώσεις που περιγράφουν την ροή (Navier-Stokes). Οι δύο αυτές εξισώσεις εκφράζουν την διατήρηση δύο φαινομενολογικών ποσοτήτων, της τυρβώδους κινητικής ενέργειας k, και του ρυθμού απόσβεσης του ε (dissipation rate). Το βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι ότι δεν απαιτεί τον ορισμό επιπλέον εμπειρικών παραμέτρων. Έτσι είναι δυνατόν να επιλυθούν πολύπλοκες ροές που αντιμετωπίζονται σε ελλειπτικά προβλήματα. Οι όροι της επίδρασης και της σκέδασης της τύρβης μοντελοποιούνται μαζί σε μια ενιαία μεταβλητή (turbulent viscosity).

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

όπου  $C_\mu$  είναι αδιάστατη σταθερά,  $\rho$  είναι η πυκνότητα του ρευστού ενώ k και ε είναι η τυρβώδης κινητική ενέργεια και ο ρυθμός σκέδασης της αντίστοιχα. Οι σχετικές εξισώσεις για τις μεταβλητές αυτές είναι αντίστοιχα:

$$\frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{Pr_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + \mu_t G - \rho \varepsilon + S_{k,p} \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{Pr_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 \mu_t G - C_2 \rho \varepsilon) + S_{\varepsilon,p} \quad (5)$$

όπου  $C_1$  και  $C_2$  είναι αδιάστατες σταθερές ενώ με τον όρο G εκφράζεται ο ρυθμός παραγωγής κινητικής ενέργειας ο οποίος είναι

$$G = \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial \rho}{\partial x_j} \frac{\partial p}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \left( \frac{\rho k}{\mu_t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \quad (6)$$

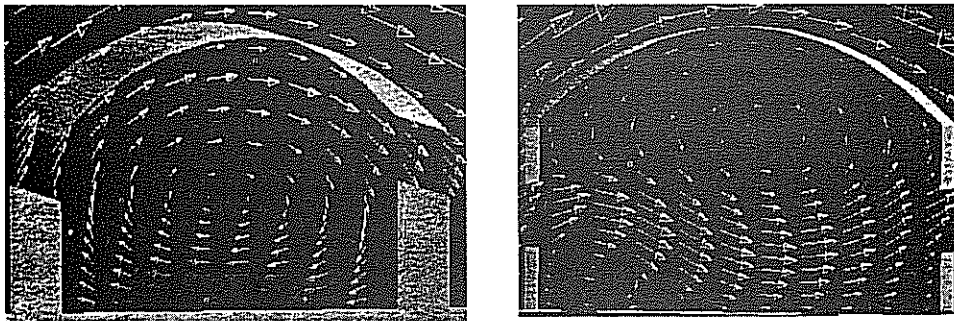
Τιμές για τις αδιάστατες σταθερές που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες εξισώσεις, όπως δίνονται από το CFD2000 είναι:  $C_\mu = 0.09$ ,  $C_1 = 1.44$ ,  $C_2 = 1.92$ ,  $Pr_k = 1.0$  και  $Pr_\varepsilon = 1.3$  (standard k-ε model).

## Οριακές συνθήκες

Τα όρια του υπολογιστικού πεδίου ήταν μεγαλύτερα από τις διαστάσεις του θερμοκηπίου σε κάθε περίπτωση. Χρησιμοποιήθηκε ανομοιόμορφο αριθμητικό πλέγμα με πολλά κελιά συγκεντρωμένα κοντά στα τοιχώματα του θερμοκηπίου. Η συναγωγή στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν αποτέλεσμα είτε του εξωτερικού αέρα είτε των θερμοκρασιακών διαφορών (υπόθεση Boussinesq) ανάλογα με την εξεταζόμενη περίπτωση. Οι πλευρές του θερμοκηπίου θεωρήθηκαν αδιαβατικές ενώ η οροφή και το έδαφος του θερμοκηπίου προσομοιώθηκαν ως επιφάνειες σταθερής θερμοροής, αφού τόσο η οροφή όσο και το έδαφος απορροφούν ένα μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και το επανεκπέμπουν με την μορφή αισθητής θερμότητας. Από μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας (ολικής και καθαρής) τόσο μέσα στο θερμοκήπιο όσο και έξω από αυτό είναι δυνατόν να υπολογιστεί, τόσο η ενέργεια που απορροφά το υλικό κάλυψης της οροφής του θερμοκηπίου όσο και το έδαφος του. Στις προσομοιώσεις η διεύθυνση της ταχύτητας του αέρα ήταν είτε κάθετη, είτε παράλληλη, είτε σχημάτιζε γωνία  $45^{\circ}$  με τα ανοίγματα αερισμού. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην συνέχεια αναφέρονται σε ταχύτητα κάθετη στα ανοίγματα αερισμού και με μέτρο  $2\text{m/sec}$ . Η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος ήταν  $27^{\circ}\text{C}$  και σε όλες τις περιπτώσεις η ροή θερμότητας από το έδαφος ήταν μεγαλύτερη από αυτές στην οροφή του θερμοκηπίου.

### Αποτελέσματα.

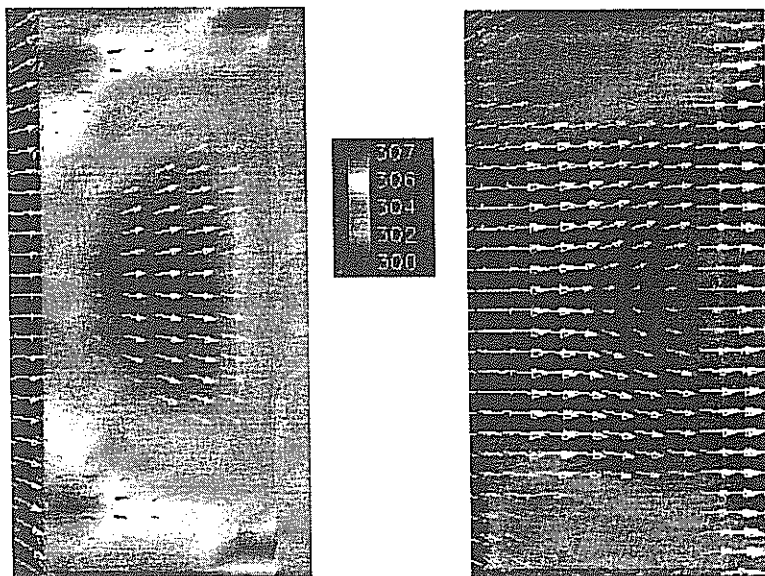
Η εικόνα 1 παρουσιάζει τα διανύσματα ταχύτητας του αέρα σε τούνελ θερμοκηπίου για δύο διαφορετικούς τύπους ανοιγμάτων. Στην πρώτη περίπτωση τα ανοίγματα ξεκινούν από την θέση του ορθοστάτη του θερμοκηπίου, ενώ στην δεύτερη περίπτωση τα ανοίγματα είναι τοποθετημένα στα μέσα των πλευρών του θερμοκηπίου. Στην πρώτη περίπτωση το εισερχόμενο ρεύμα του αέρα οδηγείται στην οροφή του θερμοκηπίου και διαγράφοντας κυκλική πορεία, εξέρχεται από το απέναντι άνοιγμα. Στην δεύτερη περίπτωση 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.



Εικόνα 1. Διανύσματα ταχύτητας του αέρα του αέρα σε τούνελ θερμοκηπίου με διαφορετικά ανοίγματα αερισμού.

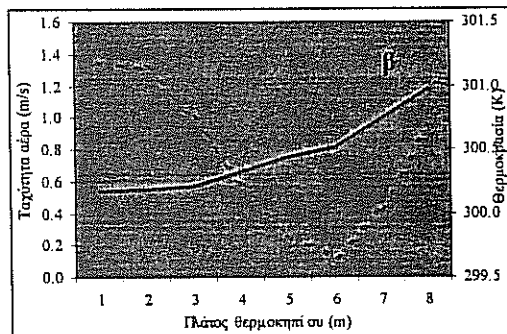
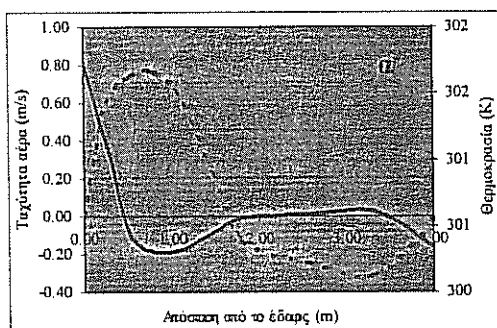
Στην εικόνα 2 παρουσιάζονται η κατανομή της θερμοκρασίας και τα διανύσματα ταχύτητας του αέρα για τον δεύτερο τύπο θερμοκηπίου, σε δύο οριζόντια επίπεδα, το πρώτο σε απόσταση  $0.5\text{m}$  από το έδαφος και το δεύτερο σε απόσταση  $1.5\text{m}$  από το έδαφος (στο μέσο των ανοιγμάτων αερισμού). Στην εικόνα αυτή φαίνεται η

ετερογένεια του θερμοκηπιακού μικροκλίματος, που αφορά την κατανομή της θερμοκρασίας, αφού τα άκρα του θερμοκηπίου εμφανίζονται σαφώς θερμότερα. Ακόμη και στο επίπεδο των ανοιγμάτων αερισμού, όπου η ταχύτητα του αέρα είναι μεγαλύτερη, τα δύο άκρα του θερμοκηπίου είναι αρκετά θερμότερα από την μέση τιμή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



Εικόνα 2. Κατανομή θερμοκρασιακού πεδίου και διανυσμάτων ταχύτητας του αέρα σε δύο οριζόντια επίπεδα 0.5m 1.3m. από το έδαφος, αντίστοιχα.

Οι κατανομές της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου φαίνονται στα δύο γραφήματα που ακολουθούν (Γράφημα 1α και 1β), και τα οποία παρουσιάζουν τις κατανομές τόσο στην κάθετη τομή στο μέσο του θερμοκηπίου (1α) όσο και κατά πλάτος του θερμοκηπίου στο μέσο του ανοίγματος αερισμού.



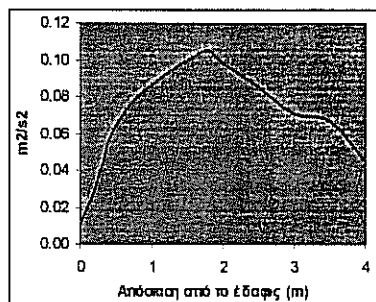
Γράφημα 1(α και β). Κατανομές θερμοκρασίας και ταχύτητας του αέρα σε κάθετο (α) και οριζόντιο πλάνο (β) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. (Θερμοκρασία —, ταχύτητα αέρα - - - - -)

Από τα δύο γραφήματα φαίνεται πως η θερμοκρασία αρχικά μειώνεται από το έδαφος προς την οροφή του θερμοκηπίου, στην συνέχεια παραμένει αμετάβλητη κοντά στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος, για να μειωθεί στην συνέχεια και πάλι κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου (Γράφημα 1α). Στο οριζόντιο επίπεδο το υπήνεμο τμήμα του θερμοκηπίου εμφανίζεται θερμότερο από το προσήνεμο κατά 1 βαθμό (Γράφημα 1β). Η διαφορά αυτή είναι μεγαλύτερη σε άλλα ύψη του θερμοκηπίου χωρίς πάντως να ξεπερνάει ποτέ τους 2.5 βαθμούς.

Η τυρβώδης κινητική ενέργεια είναι ιδιαίτερα αυξημένη κοντά στα ανοίγματα αερισμού ενώ η τιμή της μειώνεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (εικόνα 3). Στη κάθετη τομή, η τιμή της ( $k$ ) απόκτά μια κορυφή στο κέντρο του θερμοκηπίου, όπου και η ταχύτητα του αέρα έχει τις μέγιστες τιμές της (Γράφημα 2), την ακριβώς πορεία ακολουθεί και ο ρυθμός σκέδασης της κινητικής ενέργειας.



Εικόνα 3. Τυρβώδης κινητική ενέργεια σε οριζόντιο πλάνο στο μέσο των ανοιγμάτων



Γράφημα 2. Τυρβώδης κινητική ενέργεια ( $m^2/s^2$ ) σε κάθετο πλάνο στο μέσο του θερμοκηπίου

### Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή επιχειρήθηκε η διερεύνηση του φυσικού αερισμού των θερμοκηπίων με υπολογιστικές μεθόδους (CFD). Στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται φαίνεται η επίδραση των ανοιγμάτων στην ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, όπου εμφανίζεται πάντα μια διαβάθμιση της θερμοκρασίας από το υπήνεμο προς το προσήνεμο τμήμα του θερμοκηπίου. Η ίδια ετερογένεια στην κατανομή της θερμοκρασίας παρατηρείται και στις τρισδιάστατες προσομοιώσεις, εμφανίζοντας τα άκρα του θερμοκηπίου πάντα θερμότερα. Η ετερογένεια στην κατανομή της θερμοκρασίας απόκτά στοιχεία χαρακτηριστικού δείκτη για τον προσδιορισμό της ποιότητας της ροής αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Έτσι ο αέρας εμφανίζεται να είναι ψυχρός και ιδιαίτερα τυρβώδης κατά την είσοδο του στο προσήνεμο άνοιγμα και πιο θερμός, βραδύτερος και λιγότερο τυρβώδης κατά την έξοδο

του από το θερμοκήπιο. Η τυρβώδης κινητική ενέργεια είναι ιδιαίτερα έντονη στο ύψος των ανοιγμάτων αερισμού ενώ η τιμή της μειώνεται στο εσωτερικό και σε περιοχές κοντά στην οροφή και στο έδαφος του θερμοκηπίου, όπου παρατηρούνται και μικρότερες ταχύτητες. Η προσθήκη της καλλιέργειας καθώς και η μοντελοποίηση του μηχανολογικού εξοπλισμού του θερμοκηπίου (συστήματα θέρμανσης-δυναμικού αερισμού) θα δώσουν μια πιο πλήρη εικόνα των διαφόρων ροών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

### **Βιβλιογραφία**

- Boulard T., Papadakis G., Kittas C., Mermier M., 1997.** Air flow and associated sensible heat exchanges in a naturally ventilated greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology* 88:111-119.
- Boulard T., Haxaire R., Lamrani M.A., Roy J.C., Jaffrin A. 1999.** Characterization and modelling of the air fluxes intuced by natural ventilation in a greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74,135-144
- Boulard T., Wang S., Haxaire R., 2000.** Mean and turbulent air flows and microclimate patterns in an empty greenhouse tunnel. *Agricultural and Forest Meteorology* 100:169-181
- CFD2000/STORM ver3.0, 1998.** Computational fluid dynamics systems. Pacific Sierra Corp., USA.
- Haxaire R.1999.** Carcterisation et modelisation des ecoulements d'air dans une serre. Ph.D Thesis, 149p.
- Issa R.I., 1985.** Solution of the implicity discretised fluid flow equations by operator. *Journal of Computational Physics*, 62: 40-54.
- Lauder B.E and Spaiding D.B, 1974.** The numerical computation of turbulent flows. *Comp. Methods in Appl. Mech &Engng.* 3,269
- Mistriotis A., Arcidiano C., Picuno P., Bot G.A., Scarascia Mugnozza G. 1997a.** Computanional analysis of the natural ventilation in greenhouses at low wind speed. *Agricultural and Forest Meteorology* 88:121-135
- Mistriotis A., Bot G.A., Picuno P., Scarascia Mugnozza G. 1997b** Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computanional fluid dynamics *Agricultural and Forest Meteorology* 85: 317-328
- Okushima, L. et al, 1989.** A support system for natural ventilation desigb of greenhouses based on computational aerodynamics. *Acta Horticulturae* 248, 129-136
- Patankar S.V 1980.** Numerical Heat Trabsfer. Hemisphere.
- Sase S., Takakura T. and Nara M., 1984.** Wind tunnel testing on airflow and temperature distribution of a naturally ventilated greenhouse. *Acta Horticulturae* 148, 329-337
- Wang S., 1998.** Measurement and modelling of natural ventilation in a large venlo-type greenhouse. Ph.D Thesis 193pp.

## ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

**Φ. Ν. Κουμπουλής\*** , **Μ. Γ. Σκαρπέτης\***,  
**Π. Γιαγλάρας\*\*** και **Κ. Κίττας\*\***

\*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανία,  
Πεδίον Αρεως Βόλος, Ελλάδα,  
e-mails: fkoumb@mie.uth.gr, miskarpe@mie.uth.gr

\*\*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Πεδίον  
Αρεως, Βόλος, Ελλάδα, e-mail: ckittas@uth.gr

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Χρησιμοποιώντας ένα προσεγγιστικό μοντέλο για την περιγραφή της συσχέτισης της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου με τον θερμαντήρα προτείνεται η τεχνική ελέγχου του ταυριάσματος σε μοντέλο. Σχεδιάζεται ο ελεγκτής που αντιστοιχεί στην παραπάνω σχεδιαστική απαίτηση. Αναπτύσσεται αλγόριθμος σε περιβάλλον μικροελεγκτή. Ο αλγόριθμος υλοποιείται σε μικροελεγκτή 80C196KC. Αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα των πολύθυρων μικροελεγκτών.

## MICROCONTROLLER IMPLEMENTATION OF A TEMPERATURE CONTROLLER FOR A GREENHOUSE

**F. N. Koumboulis\*** , **M. G. Skarpetis\***,  
**P. Giaglaras\*\*** and **K. Kittas\*\***

\*Department of Mech. and Ind. Eng., University of Thessaly,  
383 34 Pedion Areos, Volos, GREECE.  
e-mails: fkoumb@mie.uth.gr , miskarpe@mie.uth.gr

\*\*School of Agriculture, Crop & Animal Production, University of Thessaly,  
383 34 Pedion Areos, Volos, GREECE, e-mail: ckittas@uth.gr

### ABSTRACT

Using an approximating model, describing the relation between the temperature of a greenhouse and the respective heating system, the approach of exact model matching is proposed. The dynamic controller solving the problem is determined. The program implementing the controller in a 80196KC microcontroller is developed. Several remarks regarding the characteristics and advantages of multi-port microcontrollers are presented.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα του ελέγχου της θερμοκρασίας σε θερμοκήπια αποτελεί ένα από τα πιο συνήθη προβλήματα ελέγχου σε γεωργικές εφαρμογές (βλ. π. χ. [1-8]). Το πρόβλημα του ελέγχου σε τέτοια συστήματα εντάσσεται στα πλαίσια της βελτίωσης του εξοπλισμού του θερμοκηπίου (βλ. [16]) και ειδικότερα στην εφαρμογή κατάλληλου υλικού και λογισμικού. Ένδεικτικά σχολιάζονται μερικές χαρακτηριστικές εργασίες. Οι εργασίες [5] και [6] προτείνουν λογικούς ελεγκτές οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υπολογιστική απλότητα αλλά παρουσιάζουν τα μειονεκτήματα ότι δεν εγγυώνται σύγκλιση του αποτελέσματος στην επιθυμητή τιμή καθώς ακόμη ότι απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για την αντιστάθμιση των σφαλμάτων. Οι εργασίες [7] και [8] στηρίζονται σε προσεγγιστικά μοντέλα (βλ. [7]) και πειραματικά μοντέλα (ταυτοποίηση) (βλ.[8]) και προτείνουν δυναμικούς ελεγκτές ειδικού τύπου (PI). Οι εργασίες [7] και [8] χαρακτηρίζονται από βραχυχρόνια αντιστάθμιση αλλά η διάρκεια του μεταβατικού φαινομένου μοιάζει να είναι μεγάλη. Το υλικό στο οποίο υλοποιούνται οι συνήθεις ελεγκτές θερμοκηπίου είναι αναλογικά κυκλώματα, προσωπικοί υπολογιστές, PLCs, και μικρουπολογιστές.

Στην εργασία αυτή το πρόβλημα μελετάται χρησιμοποιώντας ένα προσεγγιστικό μοντέλο και την τεχνική του ακριβούς ταιριάσματος σε μοντέλο. Σχεδιάζεται και προσδιορίζεται ο δυναμικός ελεγκτής που επιλύει το πρόβλημα. Αναπτύσσεται πρόγραμμα σε μικροελεγκτή για την υλοποίηση του ελεγκτή.

Η συνεισφορά της παρούσας εργασίας συνοψίζεται α) στην εφαρμογή γενικού δυναμικού ελεγκτή, β) στην χρήση ειδικής υπολογιστικής πλατφόρμας (μικρουπολογιστής) η οποία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα.

## 2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Το ακόλουθο προσεγγιστικό μοντέλο περιγράφει τη σχέση της θερμοκρασίας ενός θερμοκηπίου με τις μεταβολές μίας τρίδρομης βαλβίδας που μεταβάλλει την παροχή ζεστού νερού το οποίο κατευθύνεται σε εναλλάκτες θερμότητας με τον αέρα [4]

$$Y(s) = \frac{e^{-s\tau}}{\alpha s + \kappa} U(s) \quad (2.1)$$

όπου  $Y(s)$  είναι ο μετασχηματισμός στο πεδίο της συχνότητας της μεταβολής της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο σε σχέση με μία στάθμη αναφοράς και  $U(s)$  είναι ο μετασχηματισμός στο πεδίο της συχνότητας της μεταβολής της βαλβίδας. Ο συντελεστής  $\kappa$  αντιστοιχεί σε απώλειες θερμότητας, ο συντελεστής  $\alpha$  αντιστοιχεί στη θερμική χωρητικότητα, ενώ η χρονική καθυστέρηση  $\tau$  αντιστοιχεί στον χρόνο που απαιτείται για την απόδοση της θερμότητας που ενεργοποιεί η βαλβίδα.

Χρησιμοποιώντας βασικούς προσεγγιστικούς τύπους για την καθυστέρηση [9], το μοντέλο (2.1) προσεγγίζεται από το ακόλουθο μοντέλο δευτέρας τάξεως

$$Y(s) = (e^{-\tau\kappa/\alpha}) \left( \frac{1}{\alpha s + \kappa} - \frac{2\alpha^{-1}}{s + \tau/2} \right) U(s) \quad (2.2)$$

Η καλή λειτουργία του συστήματος εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι η καθυστέρηση είναι αρκετά μικρή και ειδικότερα ότι  $\tau < \frac{\alpha}{\kappa}$ .

Η ακριβής διακριτοποίηση (βλ. π.χ.[10]) του συστήματος (2.2) είναι

$$Y(z) = (\alpha^{-1} e^{\tau\kappa/\alpha}) \left( \frac{\alpha\kappa^{-1} - \alpha\kappa^{-1} e^{-\kappa T/\alpha}}{z - e^{-T\kappa/\alpha}} + \frac{-\tau + (\tau/2)e^{-2T/\tau}}{z - e^{-2T/\tau}} \right) U(z) \quad (2.3)$$



όπου  $Y(z)$  είναι ο μετασχηματισμός στο πεδίο της συχνότητας της δειγματοληψίας της μεταβολής της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο σε σχέση με μία στάθμη αναφοράς και  $U(z)$  είναι ο μετασχηματισμός στο πεδίο της συχνότητας της δειγματοληψίας της μεταβολής της βαλβίδας. Η μεταβλητή  $z$  είναι μιγαδική μεταβλητή που δηλώνει τη συχνότητα. Ο χρόνος  $T$  δηλώνει την περίοδο δειγματοληψίας. Η περιγραφή (2.3) γράφεται πιο συμπαγώς ως εξής

$$Y(z) = \frac{b_0 z + b_1}{z^2 + a_1 z + a_2} U(z) \quad (2.4)$$

όπου

$$\begin{aligned} a_1 &= -e^{-\kappa T/\alpha} - e^{-2T/\tau}, \quad a_2 = e^{-(\kappa T/\alpha) - (2T/\tau)} \\ b_0 &= \alpha^{-1} e^{\kappa T/\alpha} \left[ \alpha \kappa^{-1} (1 - e^{-\kappa T/\alpha}) + \frac{1}{2} \tau (-2 + e^{-2T/\tau}) \right] \\ b_1 &= \alpha^{-1} e^{\kappa T/\alpha} \left[ -\alpha \kappa^{-1} e^{-2T/\tau} (1 - e^{-\kappa T/\alpha}) - \frac{1}{2} \tau e^{-\kappa T/\alpha} (-2 + e^{-2T/\tau}) \right] \end{aligned} \quad (2.5)$$

### 3. ΑΚΡΙΒΕΣ ΤΑΙΡΙΑΣΜΑ ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το επιθυμητό μοντέλο για το συγκεκριμένο σύστημα επιλέγεται να είναι

$$H_M(z) = \frac{(b_0 z + b_1)(b_0 + b_1)^{-1}}{z^3} \quad (3.1)$$

Σημειώνεται ότι το παραπάνω μοντέλο συνδυάζει βέλτιστη θέση των πόλων με γρήγορη απόκριση και γρήγορη και αξιόπιστη ακολούθηση σταθερής εντολής.

Χρησιμοποιώντας την τεχνική του τέλειου ταιριάσματος σε μοντέλο με ελεγκτές πεπερασμένης ακρίβειας [10] προτείνεται ο ακόλουθος ελεγκτής πρώτης τάξεως

$$U(z) = -\frac{f_0 z + f_1}{z + c_1} Y(z) + \frac{g_0 z + g_1}{z + c_1} \Omega(z) \quad (3.2)$$

όπου  $\Omega(z) = Z\{\omega(k)\}$  είναι ο μετασχηματισμός στο πεδίο της συχνότητας της εξωτερικής εξόδου. Η εξωτερική είσοδος αντιπροσωπεύει την επιθυμητή τιμή της εξόδου του συστήματος. Το πρόβλημα του ακριβούς ταιριάσματος στο μοντέλο (3.1) με δυναμικό ελεγκτή της μορφής (3.2) επιλύεται με τις ακόλουθες επιλογές των παραμέτρων του ελεγκτή

$$\begin{aligned} c_1 &= \{2\alpha(e^{\kappa T/\alpha} - 1)[2\alpha e^{\kappa T/\alpha} - (e^{2T/\tau} + e^{\kappa T/\alpha})(2e^{2T/\tau} - 1)\kappa\tau\} + \\ &\quad + e^{2T/\tau}(1 - 2e^{2T/\tau})^2 \kappa^2 \tau^2 \left\{ 2\alpha(e^{\kappa T/\alpha} - 1)(e^{2T/\tau} - e^{\kappa T/\alpha})^2 (2e^{2T/\tau} - 1)\kappa\tau \right\}^{-1} \\ f_0 &= -e^{-\kappa T/\alpha} \left\{ 2\alpha e^{2\kappa T/\alpha} (e^{\kappa T/\alpha} - 1) + e^{4T/\tau} (1 - 2e^{2T/\tau})\kappa\tau \right\} \times \\ &\quad \times \left\{ (e^{\kappa T/\alpha} - 1)(e^{2T/\tau} - e^{\kappa T/\alpha})^2 (2e^{2T/\tau} - 1)\tau \right\}^{-1} \\ f_1 &= e^{-\kappa T/\alpha} \left\{ 2\alpha e^{2\kappa T/\alpha} (e^{\kappa T/\alpha} - 1) + e^{2T/\tau} (1 - 2e^{2T/\tau})\kappa\tau \right\} \times \\ &\quad \times \left\{ (e^{\kappa T/\alpha} - 1)(e^{2T/\tau} - e^{\kappa T/\alpha})^2 (2e^{2T/\tau} - 1)\tau \right\}^{-1} \\ g_0 &= 0 \\ g_1 &= 2\alpha \kappa e^{[\kappa(T-\tau)/\alpha] + (2T/\tau)} \left\{ (e^{\kappa T/\alpha} - 1) \left[ 2\alpha(e^{2T/\tau} - 1) - (2e^{2T/\tau} - 1)\kappa\tau \right] \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (3.3)$$

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επίδραση του ήλιου και των σύννεφων στη θερμοκρασία του θερμοκηπίου καθώς και άλλες εξωτερικές επιδράσεις περιγράφονται σαν μία σταθερή διαταραχή που επιδρά αθροιστικά στην έξοδο του συστήματος [4]. Η θεώρηση της σταθερής διαταραχής οφείλεται στους χαμηλούς ρυθμούς μεταβολής του φαινομένου. Είναι σαφές ότι η επίδραση της διαταραχής στην έξοδο δεν επηρεάζεται από την παρουσία του ελεγκτή. Η διαταραχή διαμορφώνει απλώς τη στάθμη αναφοράς από την οποία υπολογίζουμε τη θερμοκρασία  $Y(z)$ .

#### 5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΕ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ΓΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ

Η υλοποίηση του ελεγκτή προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μετρητή θερμοκρασίας (αναλογικού ή ψηφιακού) καθώς ακόμη την ύπαρξη ενός οδηγού της βαλβίδας ρυθμιζόμενου από ηλεκτρική τάση. Τέλος το ο αλγόριθμος του ελεγκτή υλοποιείται σε ένα γρήγορο και ακριβές υπολογιστικό περιβάλλον το οποίο επιλέγεται να είναι ένας μικροελεγκτής.

##### 5.1 Χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή

Οι μικροελεγκτές είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα με λειτουργία ανάλογη με αυτή των μικροϋπολογιστών, με τη διαφορά ότι έχουν ενσωματωμένη μνήμη συνήθως στοιχεία παράλληλης αρχιτεκτονικής και, επιπλέον, πλεονεκτούν σημαντικά στο χειρισμό διαδικασιών εισόδου/εξόδου [10]-[15]. Οι διαδικασίες εισόδου/εξόδου είναι μια λειτουργία στενά συνδεδεμένη με την αρχιτεκτονική κατασκευής των μικροελεγκτών. Το σύνολο εντολών και η αρχιτεκτονική ενός μικροελεγκτή επιτρέπει στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας να ελέγχει άμεσα τις λειτουργίες εισόδου/εξόδου.

Οι μικροελεγκτές μπορούν να ελέγξουν ή να μεταβάλλουν τις τιμές των θυρών εισόδου και εξόδου, αντίστοιχα, πολύ πιο γρήγορα από ότι οι μικροϋπολογιστές. Επιπλέον, οι μικροελεγκτές έχουν τη δυνατότητα να συσχετίζουν εξίσου γρήγορα τις λειτουργίες εισόδου/εξόδου με άλλα λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως τιμές μετρητών/χρονιστών. Στους μικροελεγκτές συναντώνται επίσης μορφές θυρών εισόδου/εξόδου με πιο πολύπλοκη λειτουργικότητα από αυτή των θυρών εισόδου/εξόδου που συναντώνται σε μικροελεγκτές. Για παράδειγμα υπάρχουν θύρες εισόδου με λειτουργία Α-Ψ μετατροπέα ή θύρες υψηλής ταχύτητας.

Η στενή συσχέτιση της λειτουργίας των μικροελεγκτών με τις διαδικασίες εισόδου/εξόδου, τους δίνει ένα σαφές προβάδισμα σε σχέση με τους μικροϋπολογιστές στις εφαρμογές που εμφανίζουν μεγάλο φόρτο λειτουργιών εισόδου/εξόδου, όπως είναι οι εφαρμογές συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

Ακόμη, σημαντικό πλεονέκτημα των μικροελεγκτών είναι ότι διαθέτουν ενσωματωμένο Αρχείο Καταχωρητών καθώς και Αριθμητική/Λογική Μονάδα Καταχωρητών (Register Arithmetic Logic Unit, RALU). Το αρχείο καταχωρητών είναι μνήμη ενσωματωμένη στον μικροελεγκτή, που χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων. Έτσι περιορίζεται ο αριθμός των απαιτούμενων προσβάσεων στη μνήμη και αυξάνεται σημαντικά η ταχύτητα λειτουργίας του συστήματος. Η Αριθμητική/Λογική Μονάδα Καταχωρητών είναι ειδική μονάδα που επιτρέπει την εκτέλεση αριθμητικών και λογικών πράξεων απευθείας επάνω στα περιεχόμενα των καταχωρητών, χωρίς τη μεταφορά σε άλλους βοηθητικούς καταχωρητές. Η οικογένεια μικροελεγκτών MCS-96 αποτελείται από μικροελεγκτές υψηλής απόδοσης, με ΚΜΕ των 16 bits και τουλάχιστον 230 bytes ενσωματωμένης RAM [10-15].

Οι μικροελεγκτές είναι φτηνοί και ανθεκτικοί σε μεταβολές πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας. Για τους λόγους αυτούς προσφέρονται για γεωργικές εφαρμογές αυτομάτου ελέγχου.

### 5.2 Εξειδίκευση των δεδομένων του προβλήματος

Ενδεικτικές τιμές για τους συντελεστές του συστήματος είναι [1]

$$\alpha = 14.5[\text{sec}/\text{C}^\circ], \kappa = 0.0278[1/\text{C}^\circ], \tau = 137[\text{sec}]$$

Η περίοδος δειγματοληψίας επιλέγεται έτσι ώστε να είναι μικρότερη ή ίση από την καθυστέρηση  $\tau$ . Συγκεκριμένα επιλέγεται να είναι ίση με 30.51 [sec]. Η επιλογή αυτή διευκολύνει την υλοποίηση στον μικροελεγκτή επιπλέον προγραμμάτων εκτός από τον αλγόριθμο του ελεγκτή. Ειδικότερα ένα τέτοιο πρόγραμμα θα μπορούσε να είναι η ιστορική καταγραφή των δεδομένων καθώς και η αποθήκευση δεδομένων που σχετίζονται με καιρικές επιδράσεις.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα ο νόμος ελέγχου εξειδικεύεται στην ακόλουθη μορφή

$$u(k) = -19.2553u(k-1) + 3.10376y(k) - 1.88417y(k-1) + 2.07999\omega(k) \quad (5.1)$$

Για την ταχύτερη εκτέλεση του αλγορίθμου ελέγχου στον μικροελεγκτή γίνεται η ακόλουθη προσέγγιση του νόμου ελέγχου

$$u(k) = -19.5u(k-1) + 3y(k) - 2y(k-1) + 2\omega(k) \quad (5.1)$$

όπου οι συντελεστές του ελεγκτή προσεγγίζονται με σφάλμα μικρότερο του 11%. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο προσεγγιστικός ελεγκτής διατηρεί την ευστάθεια του συστήματος κλειστού βρόχου. Επιπλέον σημειώνεται ότι ο προσεγγιστικός ελεγκτής οδηγεί την έξοδο πλησίον της στάθμης επιθυμητής συμπεριφοράς με σφάλμα μικρότερο του 7%.

### 5.3 Λίστα του προγράμματος του μικροελεγκτή

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή για τη συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη: α) Προγραμματισμός του τμήματος που υλοποιεί τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου που είναι απαραίτητες για τη σχεδίαση νόμου ελέγχου ανατροφοδότησης. β) Προγραμματισμός του τμήματος που μετατρέπει την τιμή της βαλβίδας, που προσδιορίζεται από τον ελεγκτή, σε κατάλληλη εντολή που μπορεί να μεταβάλει την βαλβίδα. γ) Προγραμματισμός του αλγορίθμου που υλοποιεί το νόμο ελέγχου, δηλαδή προσδιορίζει τις τιμές της μεταβολής της βαλβίδας. Ο προγραμματισμός του αλγορίθμου του νόμου ελέγχου παρουσιάζει το κύριο ενδιαφέρον για αυτό και παρουσιάζεται. Ο προγραμματισμός γίνεται σε μικροελεγκτή 80C196KC της INTEL. Λεπτομέρειες για τις εντολές προγραμματισμού του μικροελεγκτή 80C196KC της INTEL μπορούν να αναζητηθούν στη σχετική βιβλιογραφία (βλ. [10-15]).

Για να διευκολυνθεί η κατανόηση του προγράμματος γίνονται οι ακόλουθες επισημάνσεις: α) Το πρόγραμμα έχει γραφεί έτσι ώστε να μπορεί να εκτελεστεί με την πλατφόρμα αξιολόγησης (evaluation board) του 80C196KC. β) Οτι ακολουθεί μετά από ";" είναι σχόλιο.

Στη λίστα που ακολουθεί παρουσιάζεται πρόγραμμα για τον μικροελεγκτή 80C196KC, το οποίο υλοποιεί τον ελεγκτή (5.2) κάτω από τις ακόλουθες υποθέσεις: α) οι αρχικές τιμές εισόδου, εξόδου και εξωτερικής εισόδου της διεργασίας είναι μηδενικές και β) η εξωτερική είσοδος είναι ίση με 8.

Το πρόγραμμα αποτελείται από τρία μέρη: το κυρίως πρόγραμμα και δύο υπορουτίνες SYSTEM και CONTROL. Η υπορουτίνα SYSTEM λαμβάνει τα δεδομένα των μεταβλητών του συστήματος από μετρήσεις και δεν παρουσιάζεται εδώ παρά το γεγονός ότι καλείται στη λίστα. Η υπορουτίνα CONTROL υπολογίζει σε κάθε εκτέλεσή της την τρέχουσα τιμή της εισόδου του συστήματος, που προκύπτει σαν έξοδος του ελεγκτή. Το κυρίως πρόγραμμα αρχικοποιεί τις

μεταβλητές, καλεί σε κάθε στιγμή δειγματοληψίας τις ρουτίνες SYSTEM και CONTROL και ελέγχει αν έχει πραγματοποιηθεί ο απαιτούμενος ρυθμός επαναλήψεων. Ο προσδιορισμός των χρονικών στιγμών δειγματοληψίας γίνεται με τη βοήθεια του TIMER1. Σημειώνεται ότι η ρουτίνα SYSTEM δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές συγκριτικά με αντίστοιχες ρουτίνες που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία (βλ. π. χ. [10]).

Οι τιμές της εξόδου της διεργασίας αποθηκεύονται στον πίνακα TABLE\_OUT. Στον πίνακα αυτό μπορούν να αποθηκευτούν το πολύ 10 τιμές. Η πρώτη τιμή που αποθηκεύεται είναι η έξοδος του συστήματος τη χρονική στιγμή -2. Η εκτέλεση του προγράμματος σταματά όταν ο πίνακας γεμίσει, δηλαδή όταν έχει αποθηκευτεί και η τιμή της εξόδου στη χρονική στιγμή .

Οι τιμές της εισόδου αποθηκεύονται στον πίνακα TABLE\_IN.

#### Λίστα

```

EXAM      MODULE MAIN, STACKSIZE(20)
$INCLUDE(8096.INC)
SIZE EQU  10
TIME EQU  3051
RSEG AT 30H
RSV: DSW  8                ; δεσμευμένες θέσεις μνήμης
RSEG
Y_PREV1: DSW  1
Y_PREV2: DSW  1
Y_NEW:   DSW  1
Y_TEMP:  DSW  1
U_PREV1: DSW  1
U_PREV2: DSW  1
U_NEW:   DSL  1
U_TEMP:  DSW  1
W_PREV1: DSW  1
PTR_Y:   DSW  1
PTR_U:   DSW  1
COUNT_TIME: DSW  1
COUNT:   DSB  1
DSEG
TABLE_OUT: DSW  SIZE
TABLE_IN:  DSW  SIZE
CSEG AT 2080H
LD SP, #STACK
LD PTR_U, #TABLE_IN      ; ο δείκτης PTR_U δείχνει στην αρχή
                          ; του πίνακα TABLE_IN
LD PTR_Y, #TABLE_OUT     ; ο δείκτης PTR_Y δείχνει στην αρχή
                          ; του πίνακα TABLE_OUT

LDB COUNT, #0
LD COUNT_TIME, #0
LD Y_PREV2, #0           ; Αρχική τιμή εξόδου y(-2)
LD Y_PREV1, #0           ; Αρχική τιμή εξόδου y(-1)
LD U_PREV2, #0           ; Αρχική τιμή εισόδου u(-2)
LD U_PREV1, #0           ; Αρχική τιμή εισόδου u(-1)
LD W_PREV1, #0           ; Αρχική τιμή εξωτερικής εισόδου w(-1)

```

```

LDB IOC1, #00000100B      ; όταν ο TIMER1 φτάνει την τιμή 65535,
                           ; το bit0 του INT_PENDING θα γίνεται ίσο με 1

LDB WSR, #0FH
LD  TIMER1, #0D8EFH      ; αρχικοποίηση TIMER1
CLRB WSR
CLRB INT_PENDING ; αγνοούνται προηγούμενες υπερχειλίσσεις του TIMER1
WAIT:
JBC INT_PENDING, 0, WAIT  ; αναμονή υπερχειλίσσης TIMER1
                           ; χρονική στιγμή δειγματοληψίας

CLRB INT_PENDING
LDB WSR, #0FH
LD  TIMER1, #0D8EFH      ; αρχικοποίηση TIMER1
CLRB WSR
INC  COUNT_TIME
CMP  COUNT_TIME, #TIME
JLT  WAIT
LD  COUNT_TIME, #0
CALL SYSTEM              ; Λήψη του σήματος  $y(k)$ 
ST  Y_NEW, [PTR_Y]      ; Αποθήκευση του  $y(k)$ 
ADD  PTR_Y, #2
CALL CONTROL            ; Υπολογισμός του  $u(k)$ 
LD  Y_PREV2, Y_PREV1    ;  $Y\_PREV2 = y(k-1)$ 
LD  Y_PREV1, Y_NEW      ;  $Y\_PREV1 = y(k)$ 
LD  U_PREV2, U_PREV1    ;  $U\_PREV2 = u(k-1)$ 
LD  U_PREV1, U_NEW      ;  $U\_PREV1 = u(k)$ 
LD  W_PREV1, #8         ;  $W\_PREV1 = 8$ 
ST  U_NEW, [PTR_U]     ; Αποθήκευση του  $u(k)$ 
ADD  PTR_U, #2
INCB COUNT
CMPB COUNT, #SIZE      ; αν ο πίνακας έχει γεμίσει ( $k = 9$ )
                           ; σταματά η επανάληψη των εντολών

JLT  WAIT
BR  $
CONTROL:
LD  U_TEMP, #0         ;  $U\_TEMP = 0$ 
SUB  U_TEMP, U_PREV1   ;  $U\_TEMP = -u(k-1)$ 
SUB  U_TEMP, Y_NEW     ;  $U\_TEMP = -u(k-1) - y(k)$ 
ADD  U_TEMP, Y_PREV1   ;  $U\_TEMP = -u(k-1) - y(k) + y(k-1)$ 
ADD  U_TEMP, W_PREV1   ;  $U\_TEMP = -u(k-1) - y(k) + y(k-1) + w(k-1)$ 
SHL  U_TEMP, #1       ;  $U\_TEMP = -2u(k-1) - 2y(k) + 2y(k-1) + 2w(k-1)$ 
SUB  U_TEMP, Y_NEW     ;  $U\_TEMP = -2u(k-1) - 3y(k) + 2y(k-1) + 2w(k-1)$ 
SUB  U_TEMP, U_PREV1   ;  $U\_TEMP = -3u(k-1) - 3y(k) + 2y(k-1) + 2w(k-1)$ 
LD  U_NEW, U_TEMP
LD  U_TEMP, U_PREV1    ;  $U\_TEMP = u(k-1)$ 
SHL  U_TEMP, #4       ;  $U\_TEMP = 16u(k-1)$ 

```

```

SUB U_NEW, U_TEMP ; U_NEW = -19u(k - 1) - 3y(k) + 2y(k - 1) + 2w(k - 1)
LD U_TEMP, U_PREV1 ; U_TEMP = u(k - 1)
SHR U_TEMP, #1 ; U_TEMP = 0.5u(k - 1)
SUB U_NEW, U_TEMP ; U_NEW = -19.5u(k - 1) - 3y(k) + 2y(k - 1) + 2w(k - 1)
RET
END

```

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προτάθηκε η τεχνική του ακριβούς ταιριάσματος σε μοντέλο για τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε θερμοκήπιο. Κατασκευάστηκε πρόγραμμα σε μικροελεγκτή για την υλοποίηση του νόμου ελέγχου. Οι μικροελεγκτές αποτελούν ένα φτηνό και ευέλικτο εργαλείο που είναι εξαιρετικά χρήσιμο για γεωργικές εφαρμογές.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] J. Valentine and J. van Zeeland, "Adaptive Split-range control of a greenhouse heating system", *Acta Hort.*, Vol. 106, pp. 109-115, 1980.
- [2] J.C. Baker, "Greenhouse climate control: Constraints and limitations", *Acta Hort.*, Vol. 399, pp. 26-32, 1995.
- [3] G.P.A. Both, "Greenhouse climate control", **Greenhouse Climate Control and Intergrated Approach**, Wageningen Press, Wageningen, pp. 211-247, 1995.
- [4] A. Setiawan, L. D. Albright, and R. M. Phelan, "Simulation of Greenhouse Air Temperature Control using PI and PDF Algorithms", *Proc. of 1<sup>st</sup> IFAC Workshop on Control Applications and Ergonomics in Agriculture*, pp. 111-116, Athens, Greece, 1998.
- [5] A.N.M. de Koning, "More efficient use of base load heating with a temperature integrating control programme. Effect on development, growth and production of tomato". CEC-Workshop: Microcomputer Control Systems in Energy-saving Greenhouses, Dublin, 1987.
- [6] B.K. Jacobson, P.H. Jones, J.W. Jones and J. A. Paramore, "Real-Time Greenhouse Monitoring and Control with Expert systems", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 3, pp. 273-285, 1989.
- [7] A. J. Udkin Ten Cate, "Analysis and Synthesis of Greenhouse Climate controllers", *Computer Applications in Agriculture Enviroments* Eds: J. A. Clark, K. Gregson, R.A. Saffell, Butterworths, 1987.
- [8] A. J. Udkin Ten Cate, "Modelling and (adaptive) control of greenhouse climates", *Netherlands Journal of Agriculture Science*, vol. 32, pp. 137-139, 1984.
- [9] K. J. Astrom and B. Wittenmark, **Computer Controlled Systems (Theory and Design)**, Prentice-Hall Int., New Jersey, 1984.
- [10] Φ. Ν. Κουμπουλής, **Βιομηχανικός Έλεγχος**, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα 1999.
- [11] **Embedded Applications**, INTEL 1993-1994.
- [12] **Embedded Microcontrollers and Processors**, INTEL, 1993.
- [13] **MSC-96, Macro Assembler User's Guide for DOS Systems**, INTEL, 1990.
- [14] **MCS-96, Utilities User's Guide for DOS Systems**, INTEL, 1990.
- [15] **EV80C196KC Evaluation Board User's Manual**, INTEL, 1992.
- [16] A. Baille, "L' aide a la decision dans la gestion du climat sous serre: De nouvelles perspectives", P.H.M.-Revue Horticole, no. 315, pp. 5156, 1991.

# ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΑΝΕΜΟΠΙΕΣΣΕΩΝ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Αντώνης Μυστριώτης και Δημήτρης Μπριασούλης  
Τμήμα Γεωργικής Μηχανικής και Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων  
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη εργασία αυτή παρουσιάζεται ο υπολογισμός των φορτίων ανέμου για ημικυλινδρικό θερμοκήπιο με τη βοήθεια προσομοιώσεων Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD). Η αριθμητική αυτή μέθοδος είναι δυνατόν να αντικαταστήσει ικανοποιητικά τα πειράματα ανεμοσήραγγας. Το μέτωπο του ανέμου στο οριακό επιφανειακό στρώμα της ατμόσφαιρας όπου βρίσκεται το εξεταζόμενο κτίριο περιγράφεται αριθμητικά από τις κατάλληλες συνοριακές συνθήκες, ώστε ο προσπίπτων άνεμος να αντιστοιχεί σε πραγματικές συνθήκες. Με τη βοήθεια αυτών των υπολογιστικών πειραμάτων είναι δυνατόν να ελεγχθούν υποθέσεις που περιλαμβάνονται στους υπάρχοντες Κανονισμούς σχεδιασμού.

## NUMERICAL SIMULATIONS OF WIND LOADS OVER GREENHOUSE STRUCTURES

Antonis Mistriotis and Dimitris Briassoulis  
Department of Agricultural Engineering  
Agricultural University of Athens  
Iera Odos 75, 11855 Athens

## SUMMARY

The wind loads for a semi-cylindrical greenhouse have been analysed using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations. This numerical method can successfully simulate the expensive wind-tunnel experiments. The wind profile in the atmospheric boundary surface layer, where the studied structures lie, is realistically simulated by proper boundary conditions. Through these numerical experiments, the validity of design directives included in the current Standards for greenhouse construction may be investigated.

## 1. Εισαγωγή

Τα θερμοκήπια είναι απλές και ελαφρές μεταλλικές ή ξύλινες κατασκευές. Ο σκελετός είναι σχεδιασμένος ώστε να εξασφαλίζει την απαιτούμενη αντοχή χωρίς όμως να σκιάζει υπερβολικά τα καλλιεργούμενα φυτά. Ο άνεμος είναι η συχνότερη αιτία αστοχίας των θερμοκηπίων [1]. Για το λόγο αυτό η σωστή εκτίμηση των φορτίων ανέμου είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για το σωστό σχεδιασμό των θερμοκηπίων.

Τα μεταλλικά θερμοκήπια γενικώς θα πρέπει να σχεδιάζονται βάσει των σχετικών Ευρωκωδίκων για δράσεις και σχεδιασμό μεταλλικών κατασκευών [2,3]. Οι ιδιαιτερότητες όσον αφορά τον χρόνο ζωής των κατασκευών αυτών, αλλά και οι λειτουργικές απαιτήσεις και οι ειδικές συνθήκες όσον αφορά τα φορτία, είχαν οδηγήσει από χρόνια (στην Ευρώπη) στην δημιουργία κάποιων ειδικών εθνικών προδιαγραφών για θερμοκήπια. Μεταξύ των προδιαγραφών για τα θερμοκήπια που ισχύουν στις διάφορες χώρες υπάρχουν διαφορές όσο αφορά κυρίως τα φορτία οι οποίες οφείλονται στις ιδιαιτερότητες της κάθε χώρας αλλά και στους τύπους θερμοκηπίων που επικρατούν. Πρόσφατα δημιουργήθηκε στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) ένας γενικός, συμβουλευτικός χαρακτήρα κανονισμός που θα αφορά τον σχεδιασμό θερμοκηπίων (υπό ψήφιση) [3]. Ο κανονισμός αυτός έχει συμπληρωματικό χαρακτήρα και είναι (ή θα πρέπει να είναι) σε συμφωνία με τους Ευρωκώδικες δράσεων και σχεδιασμού. Η Ελλάδα όπως και τα υπόλοιπα μέλη της C.E.N. έχει συμβάλει στην δημιουργία του κανονισμού αυτού τόσο όσο αφορά τις γενικότερες αρχές όσο και σχετικά με τα δεδομένα που αφορούν στις ειδικές συνθήκες της χώρας μας κυρίως μέσω του καθορισμού κατάλληλων συντελεστών φορτίων.

Όσον αφορά το σχεδιασμό θερμοκηπίων η βελτιστοποίηση της κατασκευής ως προς οικονομικά και λειτουργικά κριτήρια είναι εξ' ίσου σημαντική με την αντοχή της. Επιπλέον, οι ιδιαιτερότητες των κατασκευών αυτών όσον αφορά τα φορτία, και συγκεκριμένα τις ανεμοπιέσεις, δεν έχουν μελετηθεί συστηματικά. Για τους λόγους αυτούς, η απλή εφαρμογή των Κανονισμών, όπου η ασφάλεια και η αντοχή της κατασκευής είναι το κύριο ζητούμενο, είναι πιθανό να οδηγήσει σε μη ικανοποιητικές θερμοκηπιακές κατασκευές από άποψη σχεδιασμού. Είναι λοιπόν αναγκαία η περαιτέρω επιστημονική έρευνα ώστε να μελετηθούν σε βάθος τα φορτία ανέμου που ασκούνται σε θερμοκήπια.

Τα φορτία ανέμου προσδιορίζονται στους Κανονισμούς σχεδιασμού κτιρίων από τα τοπικά κλιματικά και τοπογραφικά δεδομένα και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Ειδικότερα, η κατανομή της πίεσης λόγω του ανέμου πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοκηπίου εξαρτάται κυρίως από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτιρίου. Η επίδραση του σχήματος στην κατανομή αυτή περιγράφεται στους Κανονισμούς σχεδιασμού κτιρίων από τον αδιάστατο συντελεστή πίεσης  $c_p$ , ο οποίος ορίζεται ως:

$$P_e = \frac{1}{2} c_p \rho v_w^2 \quad (1)$$

όπου  $P_e$  είναι η εξωτερική πίεση στο κάλυμμα του θερμοκηπίου,  $v_w$  είναι η ταχύτητα του ανέμου υπολογισμένη σε ένα ύψος αναφοράς και  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα.

Οι συντελεστές πίεσης για τους πιο χαρακτηριστικούς τύπους κτιρίων έχουν μετρηθεί με πειράματα πλήρους κλίμακας ή ανεμοσήραγγας και τιμές σχεδιασμού δίνονται στους αντίστοιχους Κανονισμούς. Όμως οι τιμές των συντελεστών πίεσης των κανονισμών είναι αρκετά γενικές καθώς αφορούν οποιοδήποτε κτίριο και δεν λαμβάνουν υπ' όψιν τα ειδικά προβλήματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό των θερμοκηπίων. Επιπλέον, οι υπάρχοντες Κανονισμοί δεν δίνουν ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό χαμηλών



κατασκευών με ύψος μικρότερο από το πάχος του επιφανειακού στρώματος αέρα όπου η ροή είναι έντονα διαταραγμένη λόγω της αλληλεπίδρασης του ανέμου με την επιφάνεια του εδάφους. Τα θερμοκήπια είναι συνήθως χαμηλές κατασκευές και αυτός είναι ο κύριος λόγος που θα πρέπει να μελετηθούν ειδικά.

Αριθμητικές προσομοιώσεις γνωστές με τον όρο Υπολογιστική Ρευστοδυναμική είναι δυνατόν να δώσουν ρεαλιστικές τιμές για συντελεστές πίεσης συγκρίσιμες με αυτές που μετρώνται από πειράματα πλήρους κλίμακας ή πειράματα σε ανεμοσήραγγα [4,5]. Οι τεχνικές λεπτομέρειες της υπολογιστικής αυτής τεχνικής παρουσιάζονται στην εργασία αυτή και ως παράδειγμα υπολογίζονται οι συντελεστές πίεσης στο κάλυμμα ενός τοξωτού θερμοκηπίου (τούνελ). Η καθιέρωση τέτοιων υπολογιστικών πειραμάτων και η εξακρίβωση της πιστότητας των αποτελεσμάτων μπορεί να προσφέρει μια εναλλακτική λύση για τον προσδιορισμό των συντελεστών πίεσης αντί για τα πολύ ακριβά πειράματα ανεμοσήραγγας.

## 2. Μεθοδολογία – Προσομοιώσεις Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής

Η μέθοδος της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics (CFD)) επιτρέπει τον λεπτομερή υπολογισμό του διανυσματικού πεδίου της μέσης ταχύτητας μιας ροής λύνοντας αριθμητικά τις αντίστοιχες εξισώσεις μεταφοράς. Οι εξισώσεις ισορροπίας που εκφράζουν αυτά τα φαινόμενα μεταφοράς έχουν την γενική μορφή:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot \phi \bar{v} = \bar{\nabla} \cdot (\Gamma_{\phi} \bar{\nabla} \phi) + S_{\phi} \quad (2)$$

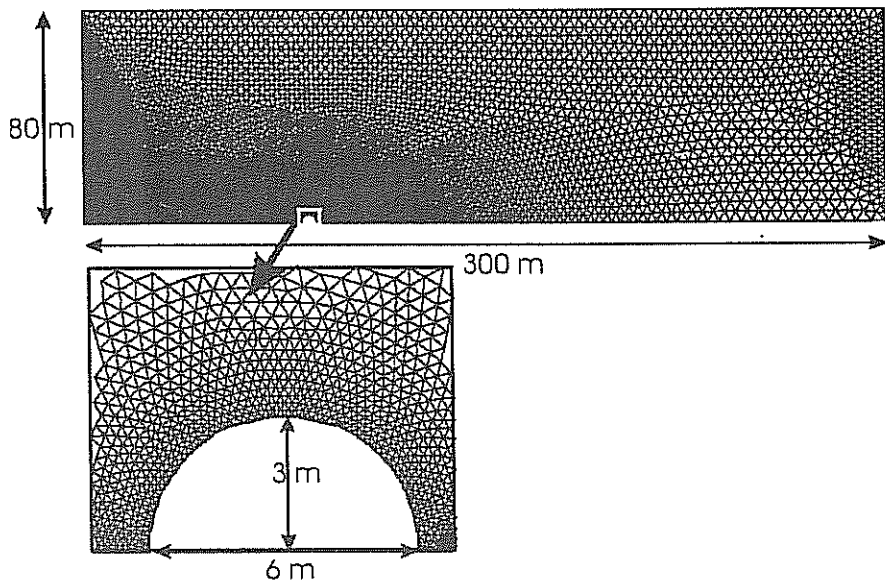
όπου  $\bar{v}$  είναι το διάνυσμα της ταχύτητας,  $\Gamma_{\phi}$  είναι ο συντελεστής διάχυσης και  $S_{\phi}$  είναι ο όρος πηγής. Το σύμβολο  $\phi$  εκφράζει τη συγκέντρωση του μεταφερόμενου μεγέθους (μάζας, ορμής, ενέργειας, κ.λ.π.). Για παράδειγμα, στη περίπτωση της εξίσωσης διατήρησης της μάζας (εξίσωση συνέχειας), το  $\phi$  αντιστοιχεί στη πυκνότητα  $\rho$ . Αν το μεταφερόμενο μέγεθος είναι η ορμή, το  $\phi$  αντιστοιχεί σε  $\rho \bar{v}$ . Σε αυτή τη περίπτωση η εξίσωση (3) αντιπροσωπεύει τις τρεις εξισώσεις διατήρησης της ορμής (εξισώσεις Navier-Stokes) που αντιστοιχούν στις τρεις συνιστώσες του διανύσματος  $\rho \bar{v}$ .

Η επίλυση του συστήματος μερικών διαφορικών εξισώσεων (2) γίνεται στη γενική περίπτωση της τυρβώδους ροής μόνο με αριθμητικές μεθόδους. Η επίλυση γίνεται πάνω σε ένα διακριτό σύνολο σημείων (δικτύωμα) που περιγράφει το χώρο ή και το χρόνο σε περίπτωση δυναμικού συστήματος, με την Μέθοδο του Πεπερασμένου Όγκου (Finite Volume) ή διακριτό σύνολο στοιχείων με την μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων (Finite Elements). Η ροή επιλύεται σε ένα πεπερασμένο χώρο. Η επίδραση εξωτερικών παραγόντων όπως ο άνεμος, η ηλιακή ακτινοβολία κ.λ.π., στη ροή προσομοιώνεται με αντίστοιχες συνοριακές συνθήκες.

## 3. Αποτελέσματα

Μελετήθηκε ένα τοξωτό θερμοκήπιο (τούνελ) ημικυλινδρικού σχήματος με ακτίνα 3 m και υπολογίστηκαν αριθμητικά οι συντελεστές πίεσης. Στις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων με τη βοήθεια του εμπορικού πακέτου λογισμικού ANSYS v.5.5.3. Θεωρώντας ότι το μήκος του θερμοκηπίου είναι πολύ μεγαλύτερο από τη διάμετρό του, οι συντελεστές πίεσης για άνεμο κάθετο με τον άξονα του θερμοκηπίου υπολογίστηκαν με διδιάστατη αριθμητική προσομοίωση.

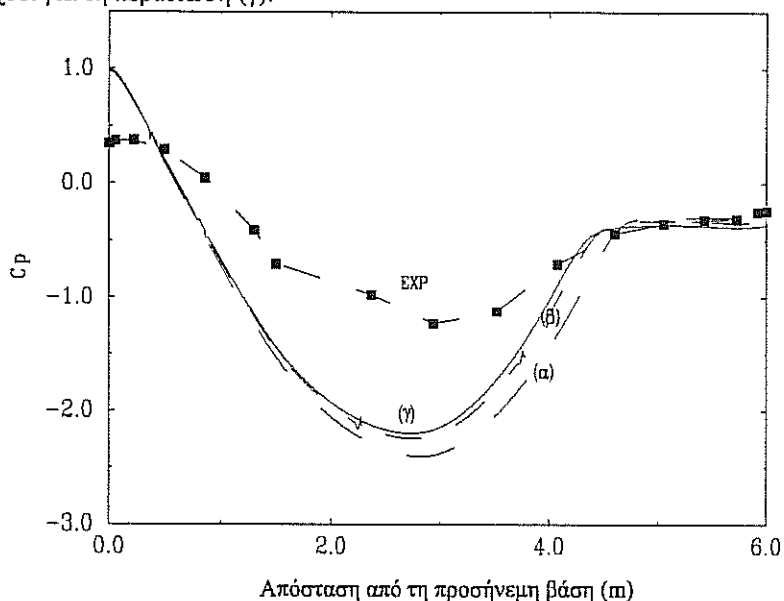
Για τις ανάγκες της προσομοίωσης, το θερμοκήπιο θεωρείται τοποθετημένο μέσα σε ανεμοσήραγγα πολύ μεγαλύτερη από τις διαστάσεις του ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα παρεμπόδισης της ροής. Οι διαστάσεις της ανεμοσήραγγας είναι 80x300 m (σχήμα 1) και το θερμοκήπιο είναι τοποθετημένο 80 m μετά την είσοδο της. Για τις ανάγκες της υπολογιστικής μεθόδου, ο χώρος διαίρεται σε στοιχεία έτσι ώστε η ροή να είναι δυνατόν να περιγραφεί λεπτομερώς εκεί όπου αναμένεται να εμφανιστούν στρόβιλοι και ιδιαίτερα κατά μήκος της επιφάνειας του καλύμματος του θερμοκηπίου όπου πρέπει να υπολογιστεί με ακρίβεια η πίεση. Αντίθετα μακριά από το θερμοκήπιο, τα στοιχεία μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερα, αφού δεν απαιτείται λεπτομερής περιγραφή της ροής. Για να μειωθεί λοιπόν ο χρόνος υπολογισμού και η απαιτούμενη μνήμη, τα στοιχεία κοντά στο άνω τοίχωμα της ανεμοσήραγγας είναι δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερα από αυτά κοντά στο θερμοκήπιο. Το σχήμα 1 δείχνει μια τυπική διαίρεση του χώρου της ανεμοσήραγγας σε στοιχεία για τις ανάγκες της προσομοίωσης αυτής.



**Σχήμα 1:** Διαμέριση του χώρου που αναπαριστά την ανεμοσήραγγα σε στοιχεία. Οι διαστάσεις της ανεμοσήραγγας είναι 80x300 m, ενώ η ακτίνα του τοξωτού θερμοκηπίου είναι 3 m. Τα στοιχεία που είναι κοντά στο θερμοκήπιο είναι περίπου δύο τάξεις μεγέθους μικρότερα από τα πιο απομακρυσμένα.

Το μέτωπο του ανέμου στην είσοδο της ανεμοσήραγγας προσομοιώνεται με τον ορισμό κατάλληλων συνοριακών συνθηκών για τη ταχύτητα του ανέμου [5]. Στις προσομοιώσεις που ακολουθούν υποθέτουμε τη λογαριθμική εξάρτηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος όπως προτείνεται και από τον Ευρωκώδικα-1 [2]. Η ακρίβεια του αριθμητικού αποτελέσματος εξαρτάται από το μέγεθος των στοιχείων ειδικά στη περιοχή που περιβάλλει το θερμοκήπιο. Για το λόγο αυτό τρεις διαφορετικές κατανομές στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν για τον αριθμητικό υπολογισμό των συντελεστών πίεσης και τα αποτελέσματα συγκρίνονται στο σχήμα 2 ώστε να

διαπιστωθεί σύγκλιση της λύσης. Οι τρεις καμπύλες που παρουσιάζουν τα αριθμητικά αποτελέσματα αντιστοιχούν σε α) 720 σημεία, β) 900 σημεία και γ) 1200 σημεία κατά μήκος του καλύμματος του θερμοκηπίου. Το σχήμα 2 δείχνει ότι η σύγκλιση είναι δυσκολότερη κοντά στη κορυφή του θερμοκηπίου. Η μικρή ποσοτική διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των περιπτώσεων (β) και (γ) δείχνει ότι σύγκλιση έχει ήδη επιτευχθεί για τη περίπτωση (γ).



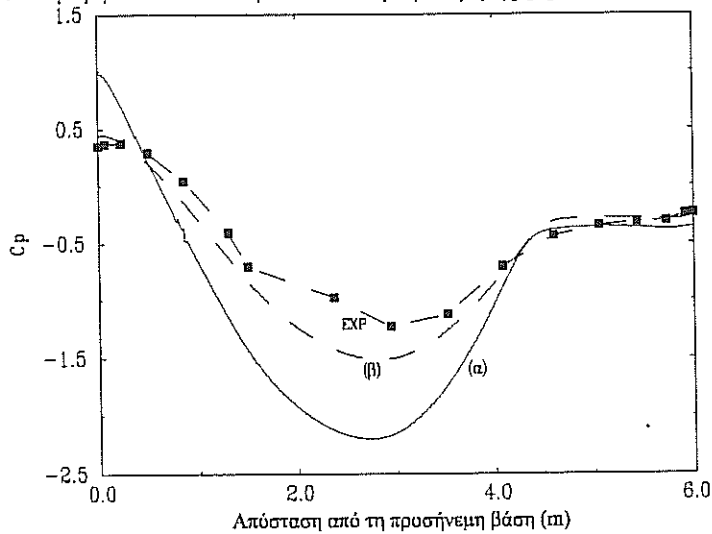
**Σχήμα 2:** Αριθμητικά υπολογισμένοι συντελεστές πίεσης σε τοξωτό ημικυλινδρικό θερμοκήπιο ακτίνας 3 m: α) 720, β) 900, και γ) 1200 κόμβοι κατά μήκος του καλύμματος του θερμοκηπίου όταν το μέτωπο του ανέμου είναι λογαριθμικό. Οι αριθμητικές τιμές συγκρίνονται με μετρήσεις πλήρους κλίμακας (EXP).

Στο ίδιο σχήμα 2, τα αριθμητικά αποτελέσματα συγκρίνονται με πειραματικά που έχουν μετρηθεί σε πείραμα πλήρους κλίμακας [6]. Παρά τη ποιοτική ομοιότητα που παρατηρείται, το αριθμητικό αποτέλεσμα φαίνεται να υπερεκτιμά το συντελεστή πίεσης στην προσήνεμη πλευρά του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τον αντίστοιχο πειραματικό [6]. Έχει αποδειχθεί [5] ότι η διαφορά αυτή οφείλεται στην παραμόρφωση του λογαριθμικού μετώπου του ανέμου στο χαμηλότερο στρώμα της ατμόσφαιρας όπου η αλληλεπίδραση του ανέμου με το έδαφος και πιθανά φυσικά ή τεχνητά εμπόδια είναι ιδιαίτερα έντονη. Το πάχος του στρώματος αυτό που ονομάζεται στρώμα τριβής, εξαρτάται από τη διαμόρφωση του εδάφους της περιοχής και οι τιμές σχεδιασμού που προτείνονται από τον Ευρωκώδικα-1 παρουσιάζονται στο πίνακα 1. Οι Κανονισμοί σχεδιασμού προτείνουν απλώς μια μέγιστη τιμή ταχύτητας ανέμου για το στρώμα αυτό.

**Πίνακας 1:** Τύποι εδάφους και οι αντίστοιχες τιμές σχεδιασμού του μήκους τριβής και του πάχους του επιφανειακού στρώματος τριβής [2].

Τύπος εδάφους	$z_0$ (m)	$z_{min}$ (m)
Ανώμαλη ανοικτή περιοχή χωρίς εμπόδια	0.01	2
Αγροτική περιοχή	0.05	4
Ημιαστική ή βιομηχανική περιοχή	0.30	8
Αστική περιοχή	1.00	16

Η περιγραφή του μετώπου του ανέμου με απλή συνάρτηση (π.χ. λογαριθμική) στο στρώμα τριβής δεν είναι δυνατή. Για το λόγο αυτό προτιμήθηκε η διαμόρφωση του μετώπου του ανέμου με έμμεσο τρόπο. Δηλαδή θεωρούμε ένα εμπόδιο μικρού ύψους τοποθετημένο μπροστά στο θερμοκήπιο. Το εμπόδιο αυτό προσομοιώνει τυχαία χαμηλά εμπόδια που διαμορφώνουν το επιφανειακό στρώμα τριβής [5].



**Σχήμα 3:** Αριθμητικά υπολογισμένοι συντελεστές πίεσης σε τοξωτό ημικυλινδρικό θερμοκήπιο ακτίνας 3 m: α) όταν το μέτωπο του ανέμου είναι λογαριθμικό, β) όταν το μέτωπο του ανέμου έχει αλλοιωθεί από εμπόδιο ύψους 1 m και πάχους 0.2 m. Οι αριθμητικές τιμές συγκρίνονται με μετρήσεις πλήρους κλίμακας (EXP).

Το σχήμα 3 δείχνει την επίδραση ενός ορθογώνιου εμποδίου ύψους 1 m και πλάτους 0.2 m στους συντελεστές πίεσης του ημικυλινδρικού τοξωτού θερμοκηπίου. Το εξεταζόμενο θερμοκήπιο είναι χαμηλό, με ύψος 3 m, και βρίσκεται εξ ολοκλήρου μέσα στο επιφανειακό στρώμα τριβής που για αγροτικές περιοχές έχει ύψος περίπου 4 m από την επιφάνεια του εδάφους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα-1 (πίνακας 1). Για το λόγο αυτό η απόκλιση του μετώπου του ανέμου από τη λογαριθμική μορφή έχει έντονη επίδραση στους συντελεστές πίεσης. Αυτό γίνεται φανερό στο σχήμα 3, όπου οι αριθμητικά υπολογισμένοι συντελεστές πίεσης παρουσία του εμποδίου συμφωνούν ικανοποιητικά με τις πειραματικές τιμές ενώ τα αριθμητικά αποτελέσματα που αντιστοιχούν σε αδιατάρακτο λογαριθμικό μέτωπο ανέμου δίνουν υπερεκτιμημένους συντελεστές πίεσης.

#### 4. Συμπέρασμα

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη προηγούμενη παράγραφο δείχνουν τα ιδιαίτερα προβλήματα που εμφανίζονται τόσο στη μέτρηση όσο και στον αριθμητικό υπολογισμό των συντελεστών πίεσης σε χαμηλά κτίρια όπως είναι τα θερμοκήπια. Η κύρια αιτία των προβλημάτων αυτών είναι η αστάθεια και η μη-προβλεψιμότητα της συμπεριφοράς του ανέμου στο επιφανειακό στρώμα τριβής της ατμόσφαιρας. Η ανώμαλη αυτή συμπεριφορά οφείλεται στην αλληλεπίδραση του ανέμου με φυσικά ή τεχνητά εμπόδια, όπως θάμνους, μεμονωμένα δένδρα, φράχτες, μικρά κτίρια κ.λ.π. που απαντώνται συχνά σε αγροτικές περιοχές.

Ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του ανέμου με το ανάγλυφο του εδάφους, η συνήθης λογαριθμική εξάρτηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος δεν ισχύει σε ένα λεπτό οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας που για αγροτικές περιοχές είναι περίπου 4 m παχύ. Μετρήσεις πλήρους κλίμακας των συντελεστών πίεσης που γίνονται σε χαμηλά κτίρια με ύψος μικρότερο από το πάχος του οριακού στρώματος τριβής τείνουν να υποεκτιμούν τα φορτία ανέμου που αφορούν υψηλότερες κατασκευές ίδιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Για το λόγο αυτό η υιοθέτηση από γενικούς Κανονισμούς σχεδιασμού κατασκευών συντελεστών πίεσης που έχουν μετρηθεί με πειράματα πλήρους κλίμακας μπορεί να οδηγήσει σε κατασκευές όπου τα φορτία ανέμου έχουν υποεκτιμηθεί. Το σχήμα 2 δείχνει ότι η απόκλιση των μετρήσεων πλήρους κλίμακας για τους συντελεστές πίεσης σε χαμηλά κτίρια από τις τιμές που αντιστοιχούν σε ιδανικό λογαριθμικό μέτωπο ανέμου μπορεί να είναι μεγάλη (π.χ. 80% στο σχήμα 2). Αντίθετα, ο σχεδιασμός χαμηλών κτιρίων, όπως είναι τα θερμοκήπια, με βάση τους υπάρχοντες σήμερα γενικούς Κανονισμούς μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη κατασκευή ασφαλών κτιρίων, όπου όμως τα φορτία ανέμου έχουν πιθανώς υπερεκτιμηθεί.

Ειδικά για τα θερμοκήπια, η υπερεκτίμηση φορτίων μπορεί να οδηγήσει σε υπερσχεδιασμένες, ακριβές και μη λειτουργικές κατασκευές. Είναι λοιπόν απαραίτητο να γίνει λεπτομερέστερη μελέτη των φορτίων ανέμου σε θερμοκήπια τόσο με πειραματικές όσο και με αριθμητικές μεθόδους.

#### Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή υποστηρίχθηκε από το ερευνητικό πρόγραμμα της Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας «Προσφορά Σταδιοδρομίας στην Ελλάδα σε Ελληνόφωνους Ερευνητές του Εξωτερικού» (συμβόλαιο 97ΕΛ-100).

#### Βιβλιογραφία

1. Ι. Τσιρογιάννης, 1996. *Τύποι θερμοκηπίων στην Ελλάδα: αιτίες αστοχίας*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωργικής Μηχανικής και Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
2. Comite Europeen de Normalisation (C.E.N.), 1995. *Eurocode-1: Basis of design and actions on structures- Part 2-4 : Actions on structures "Wind actions"*, Brussels.
3. Comite Europeen de Normalisation (C.E.N.), 1999. *prEN 13031-1-Final Draft "Greenhouses : Design and construction Part 1 : Commercial production greenhouses"*, Brussels.
4. R.P. Hoxey, A.P. Robertson, B. Basara, B.A. Younis, 1993. Geometric parameters that affect wind loads on low-rise buildings: full-scale and CFD experiments. *J. of Wind Eng. and Industr. Aerodynamics*, 50, 243-252.

5. A. Mistrionis & D. Briassoulis, 2000. Numerical calculation of wind pressure coefficients for greenhouse structures, *submitted to J. of Wind Eng. and Industr. Aerodynamics*.
6. R.P. Hoxey & G.M. Richardson, 1983. Wind loads on film plastic greenhouses, *J. of Wind Eng. and Industr. Aerodynamics*, 11, 225-237.

**ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΥΠΙΚΗ  
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΣΤΑ  
ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ prEN 13031-1:1999.  
ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.**

**Γιάννης Λ. Τσιρογιάννης\*, Δημήτρης Μπριασούλης**

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών,  
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην εργασία αυτή γίνεται μελέτη της δομοστατικής απόκρισης μίας τυπικής Ελληνικής θερμοκηπιακής κατασκευής όταν επιβάλλονται σε αυτή ορισμένοι συνδυασμοί φορτίσεων. Ο έλεγχος στην πρώτη αυτή προσέγγιση αφορά απλό τοξωτό θερμοκήπιο. Η κατάρτιση των συνδυασμών έγινε σύμφωνα με τις σχέσεις που περιλαμβάνονται στους ευρωπαϊκούς κατασκευαστικούς κανονισμούς καθώς και στο προσχέδιο του νέου Ευρωπαϊκού κανονισμού για τον σχεδιασμό θερμοκηπίων, prEN-13031-1. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Ο άνεμος παρουσιάζεται ως ο κυρίαρχος παράγοντας στους κρίσιμους συνδυασμούς φορτίσεων.

**CRITICAL LOAD COMBINATIONS FOR TYPICAL  
MEDITERANEAN GREENHOUSE ACCORDING THE  
EUROPEAN STANDARD FOR GREENHOUSES  
prEN 13031-1. A FIRST APPROACH.**

**Yannis L. Tsirogiannis, Demetres Briassoulis**

Agricultural University of Athens, Department of Agricultural Engineering,  
Iera Odos 75, 11855 Athens Greece

**ABSTRACT**

In this paper evaluation is made of the structural response of a typical Hellenic greenhouse structure subjected in certain load combinations. The analysis in this first approach concerns a single-span tunnel greenhouse. The load combinations were considered according the rules given in the structural Eurocodes and the draft of the new European Standard for greenhouse design, prEN-13031-1. The analysis was carried out using the finite element method. Wind load appears to be the dominant variable action of the critical load combinations.

---

\* Υπότροφος Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

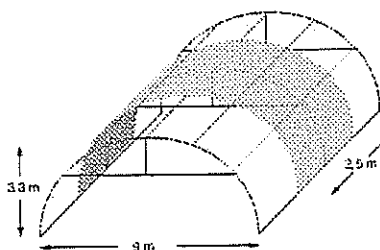
Τα θερμοκήπια όπως όλες οι κατασκευές υπόκεινται στην μεμονωμένη ή συνδυασμένη δράση διαφόρων φορτίων και μερικές φορές αστοχούν με αποτέλεσμα να προκαλούνται ζημιές στο σκελετό ή στο υλικό κάλυψής τους. Ο κίνδυνος των αστοχιών περιορίζεται σημαντικά με το σωστό σχεδιασμό και κατασκευή ενός θερμοκηπίου.

Για το σχεδιασμό και την κατασκευή των θερμοκηπίων εκτός από τους γενικότερους κατασκευαστικούς κανονισμούς έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται και ειδικοί κανονισμοί με σκοπό να καλύψουν τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν οι κατασκευές αυτές. Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης προσπάθεια ώστε να συνταχθεί ένας ειδικός κανονισμός που θα αφορά τον σχεδιασμό θερμοκηπίων -prEN13031-1:1999 (prEN στη συνέχεια του κειμένου)<sup>1</sup>- σε συμφωνία με τους Ευρωπαϊκούς κώδικες δράσεων και σχεδιασμού.

Στην παρούσα εργασία υπολογίζονται τα φορτία που επιβαρύνουν ένα τυπικό Ελληνικό θερμοκήπιο και καταρτίζονται οι συνδυασμοί τους σύμφωνα με τους κατασκευαστικούς Ευρωπαϊκούς και τον κανονισμό prEN. Στην συνέχεια γίνεται δομοστατική γραμμική και μη-γραμμική ανάλυση της κατασκευής με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ANSYS ώστε να βρεθούν ποιοι συνδυασμοί είναι οι κρίσιμοι και να εξαχθούν γενικότερα συμπεράσματα για την εφαρμογή των Ευρωπαϊκών και του προσχεδίου για τον κανονισμό σχεδιασμού θερμοκηπίων

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το θερμοκήπιο και η τοποθεσία εγκατάστασής του επιλέχθηκαν έτσι ώστε να αποτελούν αντιπροσωπευτική κατάσταση για την Ελλάδα. Όσον αφορά την τοποθεσία θεωρήθηκε ότι το θερμοκήπιο είναι εγκατεστημένο στην Κρήτη, σε τυπική αγροτική γη, σε σχεδόν οριζόντιο έδαφος με υψόμετρο περίπου 50 m από το επίπεδο της θάλασσας<sup>2</sup>. Τέλος θεωρήθηκε ότι το θερμοκήπιο χρησιμοποιείται για καλλιέργεια τομάτας ή αγγουριού που συγκρατείται από τον σκελετό (από τον ελκυστήρα).



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση τμήματος του θερμοκηπίου

Σχετικά με την κατασκευή επιλέχθηκε ένα απλό τοξωτό θερμοκήπιο με μεταλλικό (χαλύβδινο) σκελετό και κάλυψη από πλαστικό φύλλο LDPE<sup>3</sup>. Τυπικές διαστάσεις βασικής κατασκευαστικής μονάδας για τοξωτά θερμοκήπια στην Ελλάδα είναι: ύψος 3-3,5 μέτρα, άνοιγμα 5-9 μέτρα και πλάτος 2-3 μέτρα.

Ο ελκυστήρας συνδέεται με αρθρώσεις με το τόξο ενώ ο ορθοστάτης συνδέεται και αυτός με αρθρώσεις με το τόξο επάνω και με τον ελκυστήρα κάτω. Η θεμελίωση γίνεται με προκατασκευασμένους κυλίνδρους από τσιμέντο στους οποίους είναι πακτωμένοι κύλινδροι με εξωτερική διάμετρο ίση με την εσωτερική διάμετρο του τόξου. Έτσι μπαίνουν μέχρι κάποιο ύψος στο εσωτερικό του σωλήνα του τόξου. Ο



υπολογισμός γίνεται για τυπικό τόξο (όχι ακραίο) του θερμοκηπίου και για φορτίσεις παράλληλες με το επίπεδο του τόξου, Σχήμα 1.

### 3. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΞΧΩΡΙΣΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Ο ισχύων Ελληνικός Κανονισμός Φορτίσεως Δομικών Έργων<sup>4</sup> θεωρείται κυρίως όσον αφορά τα κλιματικά φορτία ξεπερασμένος με βάση τη σημερινή στάθμη των γνώσεων. Από την άλλη πλευρά οι Τεχνικές Προδιαγραφές Θερμοκηπίων είναι ανεπαρκείς για το σχεδιασμό ενός θερμοκηπίου. Έτσι για τον υπολογισμό των δράσεων και των συνδυασμών τους στο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε το προσχέδιο του κανονισμού prEN καθώς και οι αντίστοιχοι Ευρωκώδικες για υπολογισμό δράσεων στους οποίους αυτό αναφέρεται. Στην παρούσα εργασία δεν λήφθηκαν υπόψη οι σεισμικές δράσεις. Αυτό συνέβη επειδή η γενική τακτική που ακολουθείται για το σχεδιασμό με σεισμικά φορτία είναι να εφαρμόζονται ισοδύναμες πλευρικές δυνάμεις στην κατασκευή. Το μέγεθος των δυνάμεων αυτών βασίζεται στο βάρος της κατασκευής στην οποία εφαρμόζονται. Από τη στιγμή λοιπόν που τα θερμοκήπια είναι σχετικά ελαφρές κατασκευές το μέγεθος των ισοδύναμων αυτών δυνάμεων είναι πάντα πολύ μικρότερο σε σχέση με το μέγεθος άλλων πλευρικών φορτίων όπως π.χ. του ανέμου και για αυτό μπορούμε και να τα παραλείψουμε<sup>5</sup>. Τέλος όσον αφορά τον έλεγχο των διατομών του μεταλλικού θερμοκηπίου που εξετάζεται χρησιμοποιήθηκε ο Ευρωκώδικας 3, ο οποίος ισχύει επίσημα στην Ελλάδα.

Καταρχήν σύμφωνα με τον κανονισμό prEN πρέπει να γίνει κατάταξη της κατασκευής. Η διάρκεια λειτουργικής ζωής του θερμοκηπίου είναι 10 έτη, ακόμη το σύστημα κάλυψης μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ανεκτικό σε παραμορφώσεις του σκελετού. Τέτοιου είδους θερμοκήπια κατηγοριοποιούνται ως B10 και μπορούν να σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις οριακές καταστάσεις αστοχίας. Στην συνέχεια γίνεται αναλυτικός υπολογισμός των ξεχωριστών δράσεων -τα φορτία που συμμετέχουν στους συνδυασμούς για μόνιμες και πρόσκαιρες καταστάσεις είναι το βάρος της κατασκευής και του εξοπλισμού όσον αφορά τα μόνιμα και ο άνεμος, το χιόνι, το βάρος της αναρτημένης καλλιέργειας και το βάρος του πρόσκαιρου εξοπλισμού όσον αφορά τα μεταβλητά<sup>6</sup> χρησιμοποιώντας τον prEN σε συνδυασμό με τους κατάλληλους Ευρωκώδικες στους οποίους αυτός παραπέμπει.

### 4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

Στην σημερινή γενιά των Ευρωκώδικων παρατίθεται μία σειρά συνδυασμών φορτίσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό μίας κατασκευής. Οι συνδυασμοί αυτοί συνοδεύονται από μία σειρά συντελεστών συνδυασμού  $\psi$  που αντιστοιχούν στις διάφορες επιμέρους φορτίσεις. Σήμερα, αν και υπάρχουν κατάλληλες μεθοδολογίες, η εκτίμηση των συντελεστών αυτών γίνεται κυρίως βάση της εμπειρίας. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της έλλειψης κατάλληλων μετεωρολογικών δεδομένων για στατιστική επεξεργασία.

Οι συνδυασμοί φορτίσεων και γενικότερα ο σχεδιασμός στα πλαίσια των Ευρωκώδικων αφορά δύο κατηγορίες οριακών καταστάσεων (καταστάσεις πέρα από τις οποίες μία κατασκευή θεωρείται πια ακατάλληλη για το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε) της κατασκευής, τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σύμφωνα με τον prEN στο σχεδιασμό της συγκεκριμένης κατασκευής μπορούν να ληφθούν υπόψη μόνο οι οριακές καταστάσεις αστοχίας. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1<sup>7</sup> οι συνδυασμοί για τις οριακές καταστάσεις αστοχίας σε μόνιμες και πρόσκαιρες καταστάσεις, προκύπτουν από την εφαρμογή της βασικής σχέσης:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_p P_k + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{Qi} Q_{ki} \quad (1)$$

όπου:

- G<sub>k</sub> η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων,
- P<sub>k</sub> η χαρακτηριστική τιμή κάποιας δράσης προέντασης,
- Q<sub>k1</sub> η χαρακτηριστική τιμή της κυρίαρχης μεταβλητής δράσης,
- Q<sub>ki</sub> η χαρακτηριστικές τιμές των υπόλοιπων μεταβλητών δράσεων,
- γ οι μερικοί συντελεστές ασφαλείας των αντίστοιχων δράσεων και
- ψ οι συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων.

Ακόμη για λόγους απλοποίησης αντί της σχέσης (1) μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ποιο δυσμενής από τις ακόλουθες σχέσεις (2 και 3):

α) λαμβάνοντας υπόψη μόνο την ποιο δυσμενή μεταβλητή δράση:

$$\sum_j \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} Q_{k1} \quad (2)$$

β) λαμβάνοντας υπόψη όλες τις δυσμενείς μεταβλητές δράσεις:

$$\sum_j \gamma_{Gj} G_{kj} + 0,9 \sum_{i=1} \gamma_{Qi} Q_{ki} \quad (3)$$

Οι γενικοί κανόνες που θέτει ο Ευρωκώδικας 1 ακολουθούνται και από τον κανονισμό prEN που αφορά την φόρτιση θερμοκηπίων. Η διαφοροποίηση στην περίπτωση αυτή βρίσκεται στο ότι δεν δίνονται γενικές εκφράσεις από τις οποίες προκύπτουν οι συνδυασμοί για κάθε περίπτωση αλλά συγκεκριμένοι συνδυασμοί. Αυτοί χρησιμοποιούνται τόσο για τις οριακές καταστάσεις αστοχίας όσο και για τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας λαμβάνοντας υπόψη τους κατάλληλους συντελεστές. Αυτό το είδος παρουσίασης έχει προφανώς σκοπό την απλοποίηση της κατάρτισης των συνδυασμών. Όσον αφορά τους αντίστοιχους μερικούς συντελεστές και συντελεστές συνδυασμού, αυτοί προτείνονται από κάθε χώρα σε ειδικό παράρτημα.

Πίνακας 1. Συντελεστές συνδυασμού μεταβλητών φορτίσεων για την Ελλάδα κατά prEN13031-1:1999.

Φορτία			
Ανέμου	Χιονιού	Φυτών	Πρόσκαιρου εξοπλισμού
ψ <sub>0Q1</sub>	ψ <sub>0Q2</sub> or ψ <sub>2Q2</sub>	ψ <sub>0Q3</sub> or ψ <sub>2Q3</sub>	ψ <sub>0Q5</sub>
0,6/0,0	0,3 ή 0,6/0,0	1,0/0,0	0,0

Στην εργασία αυτή γίνεται κατάρτιση των συνδυασμών σύμφωνα με τον prEN. Τα φορτία συμμετέχουν στους συνδυασμούς όπως υπολογίστηκαν πριν πολλαπλασιασμένα με τους κατάλληλους μερικούς συντελεστές ασφαλείας και συντελεστές συνδυασμού που δίνονται για την Ελλάδα. Οι μερικοί συντελεστές ασφαλείας που αφορούν οριακές καταστάσεις αστοχίας σύμφωνα με τον prEN που είναι ίσοι με 1,2 για όλα τα μόνιμα και μεταβλητά φορτία. Όσον αφορά του συντελεστές συνδυασμού που ισχύουν για την Ελλάδα αυτοί παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Τελικά προέκυψαν προς εξέταση 42 συνδυασμοί φορτίσεων από τον prEN συν 8 συνδυασμοί από τις σχέσεις 2,3 που δεν περιέχονται στο προσχέδιο αλλά κρίθηκε

σκόπιμο να εξεταστεί αν κάποιος από αυτούς είναι κρίσιμότερος από τους συνδυασμούς του prEN.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε γραμμική και μη-γραμμική δομοστατική ανάλυση του τοξωτού πλαισίου της θερμοκηπιακής κατασκευής που υποβάλλεται στους συνδυασμούς φορτίσεων που αναφέρθηκαν. Η ανάλυση έγινε με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και με χρήση του λογισμικού ANSYS.

### 6.1. Εφαρμογή των συνδυασμών στο γραμμικό μοντέλο (Θεωρία 1ης τάξης)

Καταρχήν έγινε γραμμική δομοστατική ανάλυση του μοντέλου του πλαισίου με το ANSYS. Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των εντατικών μεγεθών που προέκυψαν από την ανάλυση και τον εντοπισμό της κρίσιμης τάσης λαμβάνονται από τον Ευρωκώδικα 3 και είναι οι εξής:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{yel,Rd}} \leq 1 \quad (4)$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{ypl,Rd}} \leq 1 \quad (5)$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 1 \quad (6)$$

$$V_{Sd} \leq 0,5 \times V_{pl,Rd} \quad (7)$$

όπου:

$N_{sd}$	η τιμή σχεδιασμού της ορθής τάσης,
$N_{pl,Rd}$	η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού,
$M_{y,Sd}$	η τιμή σχεδιασμού της ροπής κάμψης κατά τον άξονα y,
$M_{yel,Rd}$	η ελαστική αντοχή σχεδιασμού της ροπής κάμψης,
$M_{ypl,Rd}$	η πλαστική αντοχή σχεδιασμού της ροπής κάμψης,
$V_{sd}$	η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής τάσης και
$V_{pl,Rd}$	η διατμητική αντοχή σχεδιασμού.

Η σχέση 4 χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αντοχής της διατομής κατά την ελαστική ανάλυση μια και έχουμε ταυτόχρονη παρουσία αξονικών δυνάμεων και ροπών κάμψης, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους συντελεστές για κάθε μία από τις δύο διατομές. Για τον έλεγχο αντοχής σε τέμνουσα χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις 6 και 7.

Επειδή οι διατομές σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 είναι κατηγορίας 1, μπορεί να ληφθεί ως ροπή αντοχής αντί για την ελαστική η πλαστική ροπή<sup>8</sup> και να χρησιμοποιηθεί η σχέση 5. Για να υπολογιστεί η πλαστική ροπή θεωρήθηκε συντελεστής σχήματος  $\alpha_{pl}=1,27$  μια και έχουμε σωληνωτές διατομές. Κατά την πλαστική ανάλυση έγινε αξιολόγηση του αν υπάρχει αλληλεπίδραση τέμνουσας-ροπής βάσει της σχέσης 7. Οι έλεγχοι έγιναν σε όλες τις διατομές όλων των στοιχείων της κατασκευής.

Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με βάση τις τιμές των σχέσεων αλληλεπίδρασης, από όπου προέκυψε ότι οι τρεις κρίσιμότεροι συνδυασμοί είναι με σειρά φθίνουσας κρίσιμότητας οι:

$$1, 2xG_{k1} + 1, 2xG_{k2} + 1, 2xQ_{k1} \quad (8)$$

$$1, 2xG_{k1} + 1, 2xG_{k2} + 1, 2xQ_{k1} + 1, 2x0, 6xQ_{k2} \quad (9)$$

$$1, 2xG_{k1} + 1, 2xG_{k2} + 1, 2xQ_{k1} + 1, 2xQ_{k3} \quad (10)$$

όπου:

$G_{k1}$	το βάρος της κατασκευής,
$G_{k2}$	το βάρος του μόνιμου εξοπλισμού,
$Q_{k1}$	το φορτίο ανέμου,
$Q_{k2}$	το φορτίο χιονιού και
$Q_{k3}$	το φορτίο φυτών.

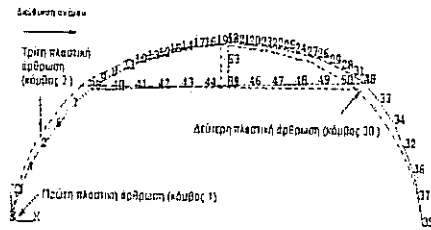
## 6.2. Εφαρμογή των κρίσιμων συνδυασμών στο μη-γραμμικό μοντέλο (Θεωρία 2ης τάξης)

Στην συνέχεια έγινε μη-γραμμική ανάλυση του τόξου με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Η μη-γραμμική ανάλυση εφαρμόστηκε στους τρεις κρίσιμότερους συνδυασμούς όπως προέκυψαν από τη γραμμική ανάλυση του θερμοκηπίου (σχέσεις 8,9 και 10). Και στους τρεις αυτούς συνδυασμούς κύριο μεταβλητό φορτίο είναι ο άνεμος διεύθυνσης  $0^\circ$  (κάθετος στον κορφιά) σε συνδυασμό με αρνητική εσωτερική πίεση.

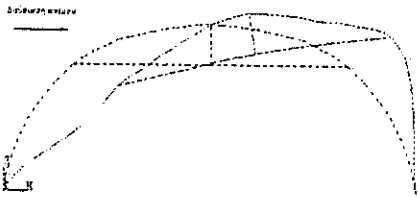
Στο μη-γραμμικό μοντέλο η πραγματική συμπεριφορά του χάλυβα προσεγγίστηκε με διγραμμικό διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων. Ακόμη ενεργοποιήθηκε η επίδραση στα εντατικά μεγέθη της εμφάνισης μεγάλων παραμορφώσεων στην κατασκευή. Στη συγκεκριμένη ανάλυση δεν λήφθηκε υπόψη η ειδική συμπεριφορά των λεπτότοιχων σωλήνων που αφορά την μεταβολή της γεωμετρίας της διατομής και την πιθανή εμφάνιση τοπικού λυγισμού που αναφέρεται σε άλλους μελετητές. Η μη-γραμμική επίλυση για τους τρεις κρίσιμότερους συνδυασμούς έδειξε ότι η αστοχία προκαλείται σε όλες τις περιπτώσεις λόγω της μετατροπής της κατασκευής σε μηχανισμό με τη δημιουργία τριών πλαστικών αρθρώσεων διαδοχικά στους ίδιους κόμβους με την εξής σειρά: πρώτα στον κόμβο 1, στην συνέχεια στον 30 και τέλος στον 2. Οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων φαίνονται στο Σχήμα 2 ενώ στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ο τύπος κατάρρευσης του τόξου.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μη-γραμμικής ανάλυσης. Πριν γίνει ο σχολιασμός του πίνακα είναι απαραίτητο να αναφερθεί ο τρόπος με τον οποίο προέκυψαν οι τιμές που περιέχει. Καταρχήν ως αναφορά χρησιμοποιήθηκε η τιμή της ταχύτητας του ανέμου που αντέχει η κατασκευή σε κάθε ένα από τους συνδυασμούς. Επιλέχθηκε ο άνεμος γιατί αποτελεί το κυρίαρχο φορτίο σε όλους τους κρίσιμους συνδυασμούς που εξετάστηκαν και η ταχύτητά του επειδή είναι μία φυσική ποσότητα της οποίας η σύγκριση είναι άμεσα κατανοητή. Η πρώτη στήλη του πίνακα περιέχει τις καταστάσεις φόρτισης που μελετήθηκαν (π.χ. κρίσιμοι συνδυασμοί) ενώ η δεύτερη αναφέρει το λόγο κατάρρευσης της κατασκευής. Στις δύο επόμενες στήλες (τρίτη και τέταρτη) υπάρχει η μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου σε m/s την οποία αντέχει η συγκεκριμένη κατασκευή υπό την επίδραση του κάθε συνδυασμού. Η ταχύτητα αυτή υπολογίστηκε από το μέγιστο φορτίο ανέμου που αντέχει η κατασκευή αν γίνει υπολογισμός της αντοχής της με χρήση γραμμικής ανάλυσης και κριτηρίων αντοχής από τον Ευρωκώδικα 3 που λαμβάνουν υπόψη τους την ελαστική και πλαστική αντοχή της διατομής σε ροπή κάμψης αντίστοιχα (σχέσεις 4 και 5). Η μετατροπή έγινε λαμβάνοντας υπόψη τη σχεδιαστική ζωή της κατασκευής (10 έτη), την τραχύτητα του ανάγλυφου (Κατηγορία II), το εξωτερικό και εσωτερικό ύψος αναφοράς (3,3 m), το μήκος της βασικής κατασκευαστικής μονάδας του θερμοκηπίου (2,5 m) και τον αρνητικό συντελεστή εσωτερικής πίεσης για διεύθυνση ανέμου  $0^\circ$  ( $C_{pi} = -0,2$ ). Αυτά είναι τα χαρακτηριστικά της κατάστασης που ανταποκρίνεται στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Στην πέμπτη στήλη του πίνακα 2 των τελικών αποτελεσμάτων, περιλαμβάνεται η ταχύτητα ανέμου που προέκυψε με ανάλογο τρόπο από το φορτίο ανέμου τη στιγμή της κατάρρευσης σε κάθε συνδυασμό. Το φορτίο αυτό υπολογίστηκε με τη μη-γραμμική ανάλυση με το ANSYS. Η τελευταία (έκτη στήλη) περιέχει την ποσοστιαία διαφορά της τιμής της μέγιστης ανεκτής ταχύτητας ανέμου της μη-γραμμικής ανάλυσης σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή που προέκυψε από τη γραμμική ανάλυση με χρήση της πλαστικής αντοχής (ποσοστιαία διαφορά στηλών 5 και 4).



Σχήμα 2. Πλαστικές αρθρώσεις και σειρά τους



Σχήμα 3. Τύπος κατάρρευσης του τόξου

Το ότι με τη χρήση της πλαστικής αντοχής στην σχέση αλληλεπίδρασης (σχέση 4, στήλη 4 του πίνακα 2) η κατασκευή παρουσιάζεται να αντέχει μεγαλύτερο φορτίο ανέμου είναι λογικό αφού με τη χρήση της πλαστικής αντοχής λαμβάνεται υπόψη η πλαστική συμπεριφορά των χαλύβδινων στοιχείων και έτσι δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε και να χρησιμοποιήσουμε με ασφάλεια μικρότερες διατομές για τα ίδια φορτία.

Πίνακας 2. Σύγκριση αποτελεσμάτων δομοστατικής ανάλυσης της κατασκευής

Συνδυασμός	Αιτία κατάρρευσης	Μέγιστη ανεκτή ταχύτητα ανέμου (m/s)			
		Γραμμική ανάλυση, ελαστική αντοχή	Γραμμική ανάλυση, πλαστική αντοχή	Μη-γραμμική ανάλυση	Ποσοστιαία διαφορά στηλών 4 και 5
a16		15,88	17,88	14,65	-18,05 %
a114	Δημιουργία μηχανισμού	16,05	18,07	13,64	-24,52 %
a110		16,36	18,47	15,08	-18,35 %
Απαιτήσεις αντοχής prEN13031-1:1999 για ταχύτητα ανέμου (m/s) :					32,50

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάπτυξη ενός κανονισμού -prEN- για το σχεδιασμό θερμοκηπίων έρχεται να συμπληρώσει κάποια κενά που παρουσιάζει η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων στην περίπτωση των θερμοκηπιακών κατασκευών (π.χ. συντελεστές ανεμοπίεσης ή συντελεστές φορτίου χιονιού για θερμοκήπια). Κατά την εφαρμογή του προσχεδίου παρατηρήθηκε ότι στην ουσία δεν αλλάζουν παρά ορισμένοι συντελεστές σε σχέση με τους Ευρωκώδικες για τον υπολογισμό των αντίστοιχων φορτίσεων, ενώ η μεθοδολογία παραμένει ίδια. Όσον αφορά τους συνδυασμούς φορτίσεων που προτείνονται παρατηρήθηκαν ορισμένες παρεκκλίσεις από το γενικότερο πνεύμα των

κατασκευαστικών Ευρωκωδίκων οι οποίες πιθανότατα οφείλονται στο πνεύμα απλοποίησης που επικρατεί στο προσχέδιο.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων της γραμμικής ελαστικής ανάλυσης της συγκεκριμένης τυπικής Ελληνικής κατασκευής προκύπτει ότι οι κρίσιμότεροι συνδυασμοί έχουν ως κύριο μεταβλητό φορτίο το φορτίο ανέμου διεύθυνσης 0° (ικάθετη στον κορφιά) με αρνητική εσωτερική πίεση (Cri-). Αν συγκρίνουμε τα κρίσιμα φορτία που προέκυψαν από τη μη-γραμμική ανάλυση με τις αντίστοιχες αντοχές σχεδιασμού που προτείνει ο Ευρωκώδικας 3 λαμβάνοντας υπόψη τόσο ελαστική όσο και πλαστική αντοχή σε ροπή κάμψης, παρατηρούμε ότι τα κρίσιμα φορτία της ανάλυσης εμφανίζονται μειωμένα κατά 20% περίπου από το φορτίο κατάρρευσης που υπολογίζουμε με τη μη-γραμμική ανάλυση. Επομένως η γραμμική ανάλυση δίνει αντοχές αρκετά μεγαλύτερες της πιο ρεαλιστικής αντοχής που προκύπτει από τη μη-γραμμική ανάλυση.

Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι ο prEN προτείνει διαφορετικούς μερικούς συντελεστές ασφαλείας τόσο για τις μόνιμες όσο και για τις μεταβλητές δράσεις σε σχέση με τους υπόλοιπους κατασκευαστικούς Ευρωκώδικες. Οι συντελεστές αυτοί παίρνουν τιμές 1,2 για μόνιμες και μεταβλητές δράσεις στον prEN και 1,35 και 1,5 αντίστοιχα στον Ευρωκώδικα 1, δηλαδή στον prEN παρουσιάζονται ελαττωμένοι κατά 11% και 20% αντίστοιχα. Η αιτία της μείωσης αυτής βρίσκεται μάλλον στον μικρότερο κίνδυνο που θεωρείται ότι παρουσιάζουν για την ανθρώπινη ζωή τα θερμοκήπια σε σχέση με τις κατοικίες και τις άλλες συναφείς κατασκευές. Παρόλα αυτά πρέπει να τονιστεί ότι οι συντελεστές αυτοί έχουν προταθεί με βάση την εμπειρία χωρίς να συνοδεύονται από πειραματικά αποτελέσματα ή να έχει γίνει κάποιος έλεγχος της αξιοπιστίας τους. Ίσως λοιπόν θα έπρεπε να επαναπροσδιοριστούν οι μερικοί συντελεστές ασφαλείας του prEN ώστε να μπορεί να χρησιμοποιείται με ασφάλεια για τις απλές θερμοκηπιακές κατασκευές η γραμμική αντί της πολύπλοκης μη-γραμμικής ανάλυσης.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<sup>1</sup> C.E.N., 1999, "prEN 13031-1:1999 Greenhouses, Actions, Design, Construction Part1: Commercial Production Greenhouses", Brussels

<sup>2</sup>Τσιρογιάννης Ι.Α. 1996 «Τύποι θερμοκηπίων στην Ελλάδα και καταγραφή της αστοχίας τους», Πτυχιακή Μελέτη, Αθήνα

<sup>3</sup> Briassoulis D., Waaijenberg D., Gratraud J., von Eslnr B., 1997, "Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses : Part I, General Overview", Journal of Agricultural Engineering Research V 67

<sup>4</sup> Βασιλικό Διάταγμα (Β.Δ.), 1945. Ελληνικός κανονισμός φορτίσεως δομικών έργων

<sup>5</sup> NGMA, 1997, "Standard for design loads in greenhouse structures"

<sup>6</sup> Τσιρογιάννης Ι.Α., 1999, «Κρίσιμοι συνδυασμοί δράσεων για τυπική θερμοκηπιακή κατασκευή στην Ελλάδα», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα

<sup>7</sup> C.E.N., 1994, "ENV 1991-1-1:1994 Eurocode 1: Basis of design and actions on structures-Part 1: Basis of design", Brussels

<sup>8</sup> Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., 1998, "Σιδηρές κατασκευές Παραδείγματα εφαρμογής Ευρωκώδικα 3", Κλειδάριθμος, Αθήνα

<sup>9</sup> Roux P., Robertson A.P., Motro R., 1997, "The design of slender monotubular steel arches", The structural Engineer, 75, 9

# **ΔΙΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΦΥΤΩΝ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΠΟΡΟΜΕΤΡΟ**

**Κάβουρας, Σ., Κατσούλας, Ν., Κίττας, Κ.**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής,  
Εργ. Γεωργικών Κατασκευών & Ελέγχου Περιβάλλοντος,  
Πεδίον Άρεως, 38334, Βόλος

## **Περίληψη**

Στην εργασία αυτή έγιναν μετρήσεις της αγωγιμότητας φύλλων υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς. Παράλληλα έγιναν μετρήσεις της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας φύλλων και αέρα, της σχετικής υγρασίας του αέρα και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα και των φύλλων. Οι μετρήσεις επέτρεψαν τη μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα στη διαπνοή και στοματική αγωγιμότητα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το μεγαλύτερο μέρος της διαπνοής οφειλόταν σε παράγοντες ακτινοβολίας και όχι μεταφοράς.

# **TRANSPIRATION AND STOMATAL CONDUCTANCE OF GREENHOUSE ROSE CROP. MEASUREMENTS BY POROMETER**

**Kavouras, S., Katsoulas, N., Kittas, C.**

University of Thessaly, School of Agriculture, Crop and Animal Production  
Laboratory of Agriculture Constructions and Environmental Control  
Pedion Areos, 38334, Volos, Greece

## **ABSTRACT**

Measurements of transpiration and stomatal conductance simultaneously to solar radiation, air and leaf temperature and air relative humidity measurements were carried out in a greenhouse soilless rose crop. The influence of solar radiation and vapour pressure deficit on transpiration and canopy conductance was studied. The results showed that the crop was decoupled from the atmosphere and transpiration rate was near to the equilibrium rate.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καθαρή ενέργεια που δέχεται κάθε φυτική μάζα μετατρέπεται κυρίως σε αισθητή και λανθάνουσα ενέργεια. Στην περίπτωση των καλλιεργειών, αυτό που καθορίζει το ποσοστό της ενέργειας που μετατρέπεται στη μια ή την άλλη μορφή είναι η συμπεριφορά των στομάτων. Μεταξύ των άλλων προσεγγίσεων που επιτρέπουν τον υπολογισμό των ποσοστών αυτών είναι και η παραδοχή του «μεγάλου φύλλου» («big leaf»), όπως δίνεται από την εξίσωση των Penman – Monteith [1]. Η προσέγγιση αυτή έχει αποκτήσει μεγάλη αποδοχή, λόγω της απλότητάς της και της αποτελεσματικότητάς της. Στην παραδοχή αυτή, η συνολική στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας αντιπροσωπεύεται από μία τιμή η οποία θεωρείται ότι είναι συγκρίσιμη με αυτή του απλού φύλλου και ότι επηρεάζεται από τους ίδιους παράγοντες.

Η στοματική αγωγιμότητα, στο επίπεδο του φύλλου ή της καλλιέργειας, έχει συσχετιστεί με την ηλιακή ακτινοβολία, το έλλειμμα κορεσμού, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στον αέρα και το υδατικό δυναμικό του φύλλου. Παρόλα αυτά, μέχρι τώρα δεν έχει αναπτυχθεί κάποιο μηχανιστικό μοντέλο το οποίο να προβλέπει το άνοιγμα των στομάτων και μόνο εμπειρικές μέθοδοι είναι διαθέσιμοι. Για περισσότερο από 20 χρόνια, η πιο κοινή εξίσωση η οποία εκφράζει την επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος στη συμπεριφορά των στομάτων είναι η ονομαζόμενη εξίσωση του Jarvis [2]. Στην εξίσωση αυτή, η στοματική αγωγιμότητα εκφράζεται ως μία μέγιστη αγωγιμότητα που πολλαπλασιάζεται με μία σειρά ανεξαρτήτων μεταξύ τους παραγόντων οι οποίοι προκαλούν στρες στην καλλιέργεια και δρουν πολλαπλασιαστικά για το τελικό αποτέλεσμα. Η αντίδραση των στομάτων στην ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία του αέρα και τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στον αέρα, επηρεάζει και τη φωτοσύνθεση και ως εκ τούτου η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας του αέρα και η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στον αέρα, μπορεί να ερμηνευθεί μέσα από την φωτοσύνθεση. Από την άλλη πλευρά όμως, δεν είναι εύκολο να κατανοηθεί η φυσιολογική βάση της απευθείας επίδρασης της υγρασίας του αέρα στη συμπεριφορά των στομάτων. Δεν υπάρχει προς το παρόν κάτι γενικά αποδεκτό ως προς το μηχανισμό που εμπλέκεται στο φαινόμενο αυτό [3]. Παρόλα αυτά τα στόματα φαίνεται να αντιδρούν στο ρυθμό διαπνοής και όχι στην υγρασία του αέρα αυτή καθαυτή [4].

Η στοματική αγωγιμότητα αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο ισοζύγιο του νερού, της ενέργειας και της φωτοσύνθεσης [5]. Τιμές της στοματικής αγωγιμότητας μπορεί να μετρηθούν με τη μέθοδο της πορομετρίας. Παράλληλα, η πορομετρία επιτρέπει την εκτίμηση της υδατικής κατάστασης της καλλιέργειας [6]. Παρόλα αυτά, σε πολλές εργασίες τα αποτελέσματα της σύγκρισης της αγωγιμότητας, όπως αυτή εκτιμάται με το πορόμετρο, με την αγωγιμότητα που εκτιμάται με άλλες μεθόδους, δεν είναι ικανοποιητικά, [7]. Ο Verhoef, (1997) [8], βρήκε ότι οι τιμές της αγωγιμότητας που μέτρησε με το πορόμετρο διέφεραν σημαντικά από τις τιμές που μέτρησαν οι Hanan and Prince, (1997) [9], με άλλες μεθόδους, στην ίδια καλλιέργεια και την ίδια τοποθεσία. Επιπλέον, τιμές της αγωγιμότητας της καλλιέργειας που υπολογίστηκαν από μετρήσεις με το πορόμετρο, λαμβάνοντας υπόψη τη φυλλική επιφάνεια, ήταν μεγαλύτερες κατά έναν παράγοντα 2-3 από αυτές που υπολογίστηκαν με αντιστροφή της εξίσωσης των Penman – Monteith, χρησιμοποιώντας μετρήσεις της διαπνοής, [10]. Οι τιμές της αγωγιμότητας που μετρούνται με τις δύο παραπάνω μεθόδους, συχνά θεωρούνται ότι επηρεάζονται από τους ίδιους παράγοντες, αν και έχει αποδειχθεί, θεωρητικά και πειραματικά ότι οι δύο αυτές μετρήσεις δεν είναι ίδιες [11]. Ο υπολογισμός της αγωγιμότητας από την αντιστροφή της εξίσωσης των Penman –



Monteith, εμπεριέχει επιπρόσθετες πληροφορίες που σχετίζονται με την καθαρή ακτινοβολία και την αεροδυναμική αγωγιμότητα μέσα στην καλλιέργεια [11].

Ο βαθμός στον οποίο η διαπνοή μιας καλλιέργειας ελέγχεται από τα στόματα εξαρτάται από το βαθμό σύζευξης μεταξύ των φύλλων και του αέρα. Ο παράγοντας που περιγράφει τη σχετική συνεισφορά των παραγόντων ακτινοβολίας και μεταφοράς στη διαπνοή της καλλιέργειας είναι ο παράγοντας  $\Omega$  και παίρνει τιμές από 0 έως 1 [12]. Όταν το φύλλο δεν είναι συζευγμένο με τον αέρα, ο παράγοντας  $\Omega$  παίρνει τιμές κοντά στο 1, ενώ όταν η στοματική αγωγιμότητα είναι πολύ μεγάλη και το φύλλο είναι πλήρως συζευγμένο με τον αέρα ο  $\Omega$  παίρνει τιμές κοντά στο 0.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι, με τη βοήθεια μετρήσεων με πορόμετρο, να παρουσιάσει και να συζητήσει την επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος στη διαπνοή και τη στοματική αγωγιμότητα μιας υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, όπως αυτή παρουσιάζεται από μετρήσεις με πορόμετρο.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Θερμοκήπιο και καλλιέργεια

Οι μετρήσεις έγιναν το καλοκαίρι και το φθινόπωρο του 1999 σε γυάλινο θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα του Βελεστίνου. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο το θερμοκήπιο ήταν ασπρισμένο. Η υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς (*Rosa hybrida* cv. First Red), ήταν εγκατεστημένη σε σάκους με περλίτη με πυκνότητα 6 φυτά/m<sup>2</sup>. Η άρδευση και η λίπανση γινόταν κάθε ώρα με σύστημα στάγδην το οποίο ελεγχόταν αυτόματα από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η καλλιέργεια ήταν διαμορφωμένη με την τεχνική “bending” σύμφωνα με την οποία οι βλαστοί οι οποίοι δεν θεωρείται ότι θα δώσουν ικανοποιητικής ποιότητας άνθη, λυγίζονται και αφήνονται πλάγια. Η τεχνική αυτή επιτρέπει να επιτευχθεί μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια διαθέσιμη για φωτοσύνθεση, αυξάνοντας ταυτόχρονα την συνεισφορά της καλλιέργειας στην ψύξη του θερμοκηπίου μέσω της διαπνοής. Η αγωγιμότητα των φύλλων μετρήθηκε με πορόμετρο σταθερής κατάστασης (LI-1600M, LICOR Inc., Lincoln, NE, USA). Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων έγινε επιλογή διαφόρων φύλλων μέσα στην καλλιέργεια σε σχέση με την ηλικία τους και τη θέση τους πάνω στο φυτό (φύλλα ανθοφόρων ή πλάγιων βλαστών). Οι κατηγορίες στις οποίες έγινε ο διαχωρισμός με βάση την ηλικία τους ήταν: (α) νεαρής ηλικίας φύλλα, μικρότερα των 15 ημερών, (β) ώριμα φύλλα, 15-30 ημερών, (γ) μέσης ηλικίας φύλλα 30-45 ημερών και (δ) υπερώριμα φύλλα, μεγαλύτερα των 45 ημερών. Οι μετρήσεις γίνονταν καθ’ όλη τη διάρκεια της ημέρας, ανά χρονικό διάστημα 30 λεπτών. Κάθε μισή ώρα γινόταν μέτρηση σε 20 περίπου φύλλα της ίδιας περίπου θέσης και ηλικίας και από τις μετρήσεις αυτές υπολογιζόταν ο μέσος όρος. Επιπλέον, έγιναν μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας ( $R_s$ ), θερμοκρασίας αέρα ( $T_a$ ) και φύλλων ( $T_c$ ) και υγρασίας του αέρα. Παράλληλα με τις μετρήσεις της αγωγιμότητας με το πορόμετρο έγιναν και μετρήσεις της διαπνοής με λυσίμετρο.

### 2.3 Υπολογισμοί

Η στοματική αγωγιμότητα  $g_s$  των φύλλων υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$g_s = \frac{g_a \cdot g_i}{g_a - g_i} \quad (1)$$

όπου  $g_a$  και  $g_i$  η αεροδυναμική και η ολική αγωγιμότητα των φύλλων αντίστοιχα ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Η  $g_i$  μετρήθηκε με το πορόμετρο ενώ η  $g_a$  θεωρείται, κατά την μέτρηση με το πορόμετρο, σταθερή.

Η διαπνοή υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$E = g_i \frac{e_i - e_a}{P} \quad (2)$$

όπου  $E$  είναι η διαπνοή σε μονάδες ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ),  $g_i$  είναι η ολική αγωγιμότητα ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ),  $e_a$  (kPa) είναι η πίεση ατμών του αέρα και  $e_i$  (kPa) η πίεση ατμών του φύλλου στον κορεσμό, στη θερμοκρασία του φύλλου και  $P$  (kPa) είναι η ατμοσφαιρική πίεση στον τόπο μέτρησης.

Ο υπολογισμός του παράγοντα  $\Omega$  έγινε με βάση την εξίσωση που πρότειναν οι Jarvis και McNaughton (1986), [6]:

$$\Omega = \frac{\Delta/\gamma + 1}{\Delta/\gamma + 1 + \frac{g_s}{g_a}} \quad (3)$$

όπου  $\Delta$  είναι η κλίση της καμπύλης κορεσμού του αέρα ( $\text{Pa K}^{-1}$ ) και  $\gamma$  είναι η ψυχομετρική σταθερά ( $\text{Pa K}^{-1}$ ).

Ο δείκτης υδατικής κατάστασης της καλλιέργειας (CWSI) υπολογίστηκε όπως προτάθηκε από τους Jackson et al., (1981), [13]. Η μέγιστη θερμοκρασία ( $T_M$ ) που μπορεί να επιτευχθεί στην καλλιέργεια, για μια δεδομένη θερμοκρασία αέρα  $T_a$  δίνεται από την εξίσωση:

$$T_M = T_a + \frac{R_s}{g_a \rho C_p} \quad (5)$$

Η χαμηλότερη θερμοκρασία,  $T_m$ , επιτυγχάνεται όταν η αγωγιμότητα της καλλιέργειας είναι μέγιστη,  $g_M$  και υπολογίστηκε ως:

$$T_m = T_a + \frac{\left(\frac{1}{g_a} + \frac{1}{g_M}\right) \frac{R_s}{\rho C_p} - \frac{VPD}{\gamma}}{1 + \frac{\Delta}{\gamma} + \frac{g_a}{g_M}} \quad (6)$$

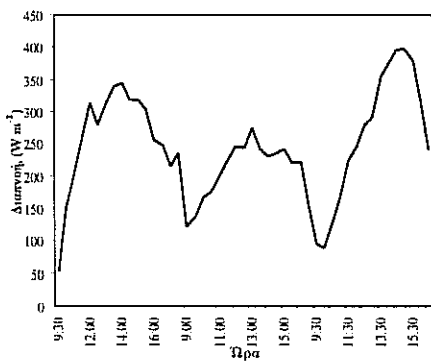
όπου  $\rho$  και  $C_p$  είναι αντίστοιχα η πυκνότητα ( $\text{kg m}^{-3}$ ) και η ειδική θερμότητα ( $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) του αέρα υπό σταθερή πίεση και  $VPD$  είναι το έλλειμμα κορεσμού του αέρα. Η  $g_M$  υπολογίστηκε από τη μέση τιμή των 10 μέγιστων τιμών της  $g_s$  κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Έτσι, ο δείκτης CWSI δίνεται από την εξίσωση:

$$CWSI = \frac{T_c - T_m}{T_M - T_m} \quad (7)$$

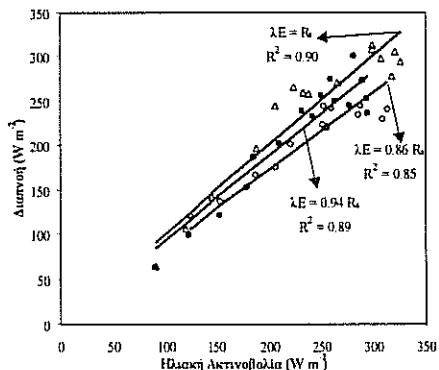
### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Διαπνοή

Η πορεία της διαπνοής κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρουσιάζεται για διάφορες ημέρες στο Σχήμα 1. Από το Σχήμα 1 παρατηρούμε ότι η διαπνοή ακολουθεί μια περίπου κωδωνοειδή καμπύλη, με τη μέγιστη τιμή της να εμφανίζεται κατά το ηλιακό μεσημέρι, περίπου στις 13:30. Η σχέση της διαπνοής με την ηλιακή ακτινοβολία για τρεις διαφορετικές ημέρες και για φύλλα παρόμοιας θέσης και ηλικίας, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Η σχέση αυτή είναι περίπου ίδια για τις ημέρες που παρουσιάζονται.

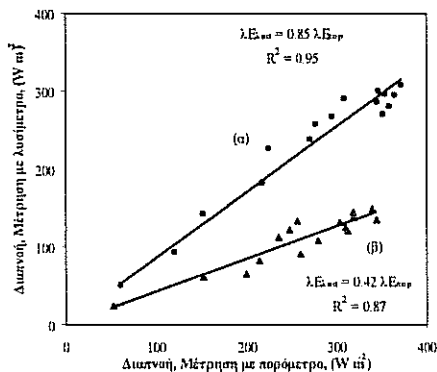


Σχήμα 1. Πορεία της διαπνοής κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 2. Διαπνοή συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται σύγκριση μεταξύ μετρημένων τιμών της διαπνοής με το πορόμετρο και το λυσίμετρο. Οι μετρήσεις με το πορόμετρο αφορούν δύο κατηγορίες φύλλων: (α) ώριμα φύλλα (ηλικίας 15-30 ημερών) που βρίσκονται σε ανθοφόρους βλαστούς και (β) ώριμα φύλλα, (μέσης ηλικίας, 30-45 ημερών) που βρίσκονται σε πλάγιους, λυγισμένους βλαστούς. Οι μετρήσεις με το λυσίμετρο έγιναν σε 6 φυτά στα οποία η κατανομή της φυλλικής επιφάνειας ήταν: 70-80 % περίπου σε πλάγιους βλαστούς και 20-30% περίπου σε ανθοφόρους.



Σχήμα 3. Σχέση της διαπνοής της καλλιέργειας όπως αυτή υπολογίστηκε από μετρήσεις με το πορόμετρο με αυτή που μετρήθηκε με το λυσίμετρο. (α) Μετρήσεις με πορόμετρο σε φύλλα ηλικίας 30-45 ημερών, (β) Μετρήσεις με πορόμετρο σε φύλλα ηλικίας 15-30 ημερών.

### 3.2 Αγωγιμότητα

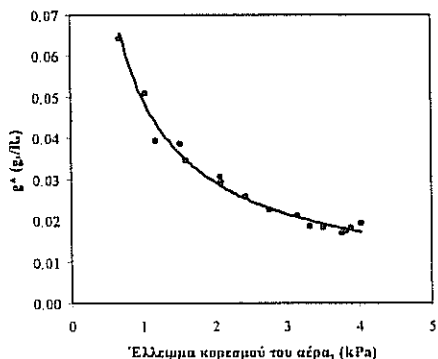
Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η πορεία της αγωγιμότητας κατά τη διάρκεια τριών ημερών. Κάτι αντίστοιχο με την ημερήσια πορεία της διαπνοής φαίνεται να ισχύει και για τη στοματική αγωγιμότητα με τη διαφορά ότι οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται 2 με 3 ώρες νωρίτερα δηλαδή περίπου στις 11:00.

Παρατηρήθηκε ημερήσια υστέρηση στην πορεία της αγωγιμότητας σε συνάρτηση με το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).

Προκειμένου να απομακρυνθεί η υστέρηση και να μελετηθεί η επίδραση του ελλείμματος κορεσμού στην αγωγιμότητα υπολογίστηκε η κανονικοποιημένη αγωγιμότητα ( $g^* = g_c/R_s$ ). Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η σχέση της κανονικοποιημένης αγωγιμότητας σε συνάρτηση με το έλλειμμα κορεσμού του αέρα.



Σχήμα 4. Ημερήσια πορεία της αγωγιμότητας.

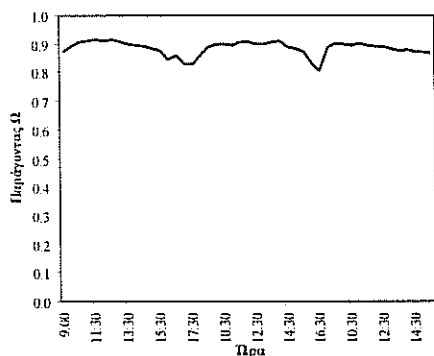


Σχήμα 5. Σχέση της  $g^*$  με το VPD

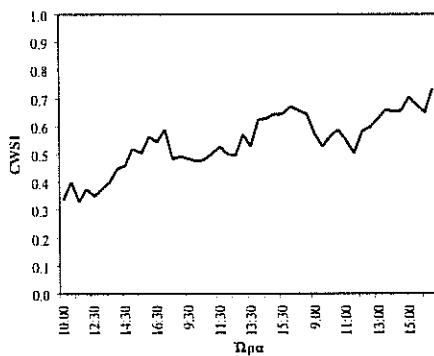
### 3.3 Παράγοντας $\Omega$ και CWSI

Με τη χρήση της εξίσωσης (3) υπολογίστηκε ο παράγοντας  $\Omega$ . Η μέση τιμή του κατά τη διάρκεια των ημερών μέτρησης βρέθηκε ίση με 0.86. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία των τιμών του παράγοντα “ $\Omega$ ” για διάφορες ημέρες.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία του CWSI, όπως υπολογίστηκε με την εξίσωση (7), για τρεις από τις ημέρες των παρατηρήσεων. Η μέση τιμή του CWSI βρέθηκε ίση με 0.54.



Σχήμα 5. Ημερήσια πορεία του  $\Omega$



Σχήμα 6. Ημερήσια πορεία του CWSI.

## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα επίπεδα της διαπνοής που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν αρκετά υψηλά, σε σχέση με την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση φύλλων ηλικίας περίπου 15-30 ημερών τα οποία βρίσκονταν σε ανθοφόρους βλαστούς, το 90 % περίπου της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε λανθάνουσα ενέργεια μέσω της διαπνοής (Σχήμα 2).

Παρατηρήθηκε παρόμοια πορεία στην καμπύλη της διαπνοής και της αγωγιμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας (Σχ. 1 και 4). Η μέγιστη τιμή της αγωγιμότητας εμφανιζόταν περίπου στις 11:00 ενώ η μέγιστη τιμή της διαπνοής εμφανιζόταν μετά από δύο ώρες περίπου. Μέχρι τις 11:00 το έλλειμμα κορεσμού του αέρα ήταν μικρότερο από τα 2 kPa. Από την ώρα αυτή και μετά το έλλειμμα κορεσμού ξεπερνούσε την κρίσιμη τιμή των 1.5-2 kPa και η αγωγιμότητα άρχιζε να πέφτει. Παρόλα αυτά η διαπνοή συνέχιζε να αυξάνεται, λόγω της μεγαλύτερης αύξησης του ελλείμματος κορεσμού του αέρα, έως ότου φτάσει στη μέγιστη τιμή της στις 13:30 περίπου το μεσημέρι.

Η ομαλοποίηση της αγωγιμότητας με την ηλιακή ακτινοβολία απομάκρυνε την υστέρηση και μας επέτρεψε να δούμε την επίδραση του ελλείμματος κορεσμού στην αγωγιμότητα (Σχ. 5). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κανονικοποιημένη αγωγιμότητα μειώνεται εκθετικά όταν το έλλειμμα κορεσμού του αέρα αυξάνεται.

Οι τιμές του παράγοντα  $\Omega$ , όπως αυτός υπολογίστηκε από την εξίσωση (3), που παρατηρήθηκαν ήταν σχετικά μεγάλες (μέση τιμή 0.86) και κοντά σε αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία [12]. Αυτό σημαίνει ότι παρόλο που οι μετρήσεις έγιναν το καλοκαίρι όπου τα παράθυρα είναι ανοικτά και επικρατούν σχετικά υψηλές ταχύτητες ανέμου, σε σχέση με αυτές που επικρατούν κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αλλά χαμηλές συγκρινόμενες με τις εξωτερικές, το μεγαλύτερο μέρος της διαπνοής οφειλόταν σε παράγοντες ακτινοβολίας. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν ότι η καλλιέργεια δεν ήταν συζευγμένη με τον αέρα του θερμοκηπίου. Τέλος, οι τιμές της αγωγιμότητας που μετρήθηκαν στην προκειμένη περίπτωση με το πορόμετρο, βρέθηκαν κοντά σε αυτές που υπολογίστηκαν από μετρήσεις με λυσίμετρο από τους Katsoulas et al., (2000), [14], για μία μη συζευγμένη καλλιέργεια και μικρότερες κατά 50 % περίπου από τη μέση τιμή της αγωγιμότητας που υπολογίστηκε σε μια σχετικά συζευγμένη καλλιέργεια, υπό συνθήκες δροσισμού με τεχνητή ομίχλη.

Παρατηρήθηκε ότι ο CWSI είχε χαμηλές τιμές τις πρωινές ώρες και αυξανόταν συνεχώς στη συνέχεια έως ότου έπαιρνε τη μέγιστη τιμή του, νωρίς το απόγευμα. Η μέση τιμή του δείκτη υδατικής κατάστασης της καλλιέργειας (CWSI), όπως αυτός υπολογίστηκε από την εξίσωση (7), βρέθηκε ίση με 0.54. Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι η καλλιέργεια βρισκόταν σε μία μέση υδατική κατάσταση. Οι τιμές αυτές ήταν κοντά σε αυτές που υπολογίστηκαν από τους Kittas et al., (2000), [15], για μια καλλιέργεια με χαμηλό δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI=2) και μεγαλύτερες από αυτές που υπολογίστηκαν από τους Katsoulas et al., (2000), [14], για μία καλλιέργεια με μεγάλο δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI=4).

Όταν τα φύλλα που μετρήθηκαν με το πορόμετρο βρίσκονταν σε πλάγιους, λυγισμένους βλαστούς, ηλικίας 30-45 ημερών, η σχέση της διαπνοής που μετρήθηκε με το λυσίμετρο σε συνάρτηση με αυτή που μετρήθηκε με το πορόμετρο ήταν:  $E_{\lambda\sigma} \approx 0.85 E_{\text{πορ}}$ , ενώ όταν τα φύλλα που μετρήθηκαν με το πορόμετρο βρίσκονταν σε ανθοφόρους βλαστούς, ηλικίας 15-30 ημερών, η προηγούμενη σχέση γινόταν:  $E_{\lambda\sigma} \approx 0.42 E_{\text{πορ}}$ . Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι:

- Η διαπνοή που υπολογίστηκε από φύλλα μέσης ηλικίας που βρίσκονταν χαμηλά, είναι κοντά στην τιμή της διαπνοής που υπολογίστηκε από το λυσίμετρο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η μέση τιμή της ηλικίας των φύλλων ενός ώριμου φυτού είναι μεγαλύτερη από την ηλικία των φύλλων που μετρήθηκαν με το πορόμετρο στην προκειμένη περίπτωση.
- Τα φύλλα που βρίσκονταν σε ψηλότερη θέση και ήταν μικρότερης ηλικίας διέπνεαν με το διπλάσιο ρυθμό συγκρινόμενα με αυτά που βρίσκονταν χαμηλά και ήταν λίγο μεγαλύτερης ηλικίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στα διαφορετικά ποσά

ακτινοβολίας που δέχονται τα φύλλα μεταξύ των δύο επιπέδων και στις διαφορές στην αεροδυναμική αγωγιμότητα που πιθανόν να υπάρχουν στα φύλλα μεταξύ των δύο θέσεων.

Ενδιαφέρον θα ήταν να μελετηθεί η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στα διάφορα επίπεδα μέσα στην καλλιέργεια και το φυτό. Παράλληλα, η μελέτη της αεροδυναμικής αγωγιμότητας των φύλλων, η οποία μέχρι τώρα θεωρείται σταθερή στα διάφορα επίπεδα μέσα στην καλλιέργεια, σε συνάρτηση με την εκτίμηση της στοματικής αγωγιμότητας μέσα από αναλυτικά μοντέλα, στο επίπεδο του φυτού, θα βοηθήσει στην καλύτερη εκτίμηση του ρυθμού διαπνοής, στο επίπεδο του φυτού και της καλλιέργειας και στη βελτίωση του ελέγχου του κλίματος των θερμοκηπίων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Monteith, J.L., 1981. Evaporation and surface temperature. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 107, 1-27.
2. Stewart, J.B., 1988. Modeling surface conductance of pine forest. *Agr. For. Meteorol.*, 43, 19-37.
3. Lhomme, J.P., Elguero, E., Chehbouni, A., Boulet, G., 1998. Stomatal control of transpiration: Examination of Monteith's formulation of canopy resistance. *Water Res. Research*, 34(9), 2301-2308.
4. Monteith, J.L., 1995. A reinterpretation of stomatal responses to humidity. *Plant, Cell Environ.*, 18, 357-364.
5. Pearcy, R.W., Ehleringer J.R., Mooney, H.A., Rundel, P.W., 1989. Plant physiological ecology: Field methods and Instrumentation. Chapman and Hall, London.
6. Jarvis, P.G., McNaughton, K.G., 1986. Stomatal control of transpiration: Scaling up from leaf to region. *Adv. Ecol. Res.*, 15, 1-49.
7. Sojka, R.E., Pearsons, J.E., 1983. Soybean water status and canopy microclimate relationships at four row spacings. *Agron. J.*, 75, 961-968.
8. Verhoef, A., 1997. The effect of temperature differences between porometer head and leaf surface on stomatal conductance measurements. *Plant, Cell Envir.*, 20, 641-646.
9. Hanan, N.P., Prince, S.D., 1997. Stomatal conductance of West Central Supersite vegetation in HAPEX-Sahel: measurements and empirical models. *J. Hydrol.*, HAPEX-Sahel special issue.
10. Huntingford, C., Allen, S.J., Harding, R.J., 1995. An intercomparison of single and dual-source vegetation-atmosphere transfer models applied to transpiration from Sahelian savannah. *Bound. Layer Meteorol.*, 74, 397-418.
11. Finnigan, J.J., Raupach, M.R., 1987. Modern theory of transfer in plant canopies in relation to stomatal characteristics. *Stomatal Function*, pp385-429. Stanford University Press, Stanford, CA.
12. Jarvis, P.G., 1985. Coupling of transpiration to the atmosphere in horticultural crops: the omega factor. *Acta Hortic.*, 171, 184-205.
13. Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J.Jr, (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Res. Research*. 17(4), 1133-1138.
14. Katsoulas, N., Baille, A., Kittas, C., 2000. Effect of misting on transpiration and conductances of greenhouse rose canopy. Submitted to *Agric. For. Meteorol.*
15. Kittas, C., Katsoulas, N., Baille, A., 2000. Influence of greenhouse ventilation regime on microclimate and energy partitioning of a rose canopy during summer conditions. Submitted to *J. Agric. Eng. Res.*

# Η ΑΝΕΜΟΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

Μενέλαος Θεοχάρης  
Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.  
Μ.Α.Ε. Γεωπονίας Πανεπ. Θεσσαλίας  
Βασ. Κων/νου 121 , 47 100 Άρτα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανεμοφόρτιση, η σοβαρότερη αιτία αστοχίας των θερμοκηπιακών κατασκευών, 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 EC1, στο μέρος 2-4 του οποίου αντιμετωπίζεται η ανεμοφόρτιση των κτιριακών κατασκευών και β) την TC284 η οποία το 1997 συνέταξε το σχέδιο κανονισμών prEN13031-1:1997, βασισμένο στον EC1 με ειδικές προσαρμογές για τα θερμοκήπια. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται η ανεμοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών για την Ελληνική πραγματικότητα.

## Wind loads on greenhouse structures according to the Eurocodes

Menelaos Theocharis  
Civil Engineer N.T.U.A  
Post-graduate in Agriculture, University of Thessaly  
Vas. Con/nou 121 , 47 100 Arta

## ABSTRACT

Wind loads, the most important reason for failure of greenhouse structures, was calculated in accordance with the German (DIN1055) or the Greek regulations (1946). The European Committee for Standardization (CEN) created α) the Technical Committee TC250, which drew up the EC1, in the part 2-4 of which the wind loads on building structures are examined, and the TC284, which in 1997 drew up the regulation plan prEN13031-1:1997, based on EC1 with modifications for the greenhouses. This study examines the wind loads of greenhouse structures under the Greek conditions.

# Η ΑΝΕΜΟΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

## 1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα φορτία ανέμου είναι φορτία πίεσης της κατασκευής και κατατάσσονται στις μεταβλητές ελεύθερες φορτίσεις. Κατά τη μελέτη της ανεμοφόρτισης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ταυτόχρονη επιρροή άλλων δράσεων στην κατασκευή (π.χ. χιόνι), οι οποίες είναι δυνατόν να επιφέρουν αλλαγές στην επιφάνεια αναφοράς, καθώς επίσης και αλλαγές του σχήματος της κατασκευής. Το μέρος 2-4 του Ευρωκώδικα 1 δίνει κανόνες και μεθόδους υπολογισμού των φορτίων ανέμου στις κτιριακές κατασκευές. Η απόκριση των κατασκευών και των επιμέρους στοιχείων τους στην ανεμοφόρτιση μπορεί να θεωρηθεί ως επαλληλία μιάς "βασικής" και μιάς "συντονιστικής" συνιστώσας, όπου η βασική συνιστώσα ενεργεί ως οιονεί στατική, ενώ η συντονιστική ως δυναμική.

## 2. ΕΚΛΟΓΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΥ

Προβλέπονται δύο διαδικασίες για τον υπολογισμό της φόρτισης λόγω ανέμου, η απλή και η λεπτομερής.

- η απλή διαδικασία εφαρμόζεται στις κατασκευές τις οποίες οι δομητικές ιδιότητες δεν τις καθιστούν ευαίσθητες σε δυναμικές διεγέρσεις. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μετρίως δυναμικά δομήματα με την χρήση του δυναμικού συντελεστή,  $c_d$ . Οι τιμές αυτού του συντελεστή εξαρτώνται από τον τύπο της κατασκευής (από σκυρόδεμα, χάλυβα, σύμμεικτο), από το ύψος και το πλάτος της κατασκευής.
- η λεπτομερής διαδικασία εφαρμόζεται στις κατασκευές οι οποίες είναι πιθανώς ευαίσθητες σε δυναμικές διεγέρσεις και για τις οποίες ο δυναμικός συντελεστής,  $c_d$ , είναι μεγαλύτερος από 1,2.

Στις περιπτώσεις στις οποίες επιτρέπεται η εφαρμογή της απλής διαδικασίας, η λεπτομερής διαδικασία δίνει ακριβέστερα και συνήθως όχι τόσο συντηρητικά αποτελέσματα όσο η απλή διαδικασία. Οι τιμές του δυναμικού συντελεστή,  $c_d$ , για θερμοκήπια με χαλύβδινο σκελετό είναι, σύμφωνα με τον EC1 μικρότερος από 1,00 σε κάθε περίπτωση. Επομένως μπορεί να εφαρμόζεται η απλή διαδικασία.

## 3. Η ΠΙΕΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

### 3.1. Εξωτερική πίεση

Η πίεση του ανέμου πάνω στην εξωτερική επιφάνεια μίας κατασκευής,  $w_e$ , υπολογίζεται από τη σχέση:  $w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}$  (1)  
όπου  $q_{ref}$  είναι η πίεση αναφοράς,  $c_e(z_e)$  είναι ο συντελεστής έκθεσης και  $c_{pe}$  είναι αεροδυναμικός συντελεστής, όπως ορίζονται στα επόμενα.

### 3.2. Εσωτερική πίεση

Η πίεση του ανέμου πάνω στην εξωτερική επιφάνεια μίας κατασκευής,  $w_i$ , υπολογίζεται από τη σχέση:  $w_i = q_{ref} \cdot c_e(z_i) \cdot c_{pi}$  (2)  
όπου  $c_e(z_i)$  είναι ο συντελεστής έκθεσης, ανάλογος του  $c_e(z_e)$ ,  $c_{pi}$  είναι αεροδυναμικός συντελεστής.



## 4. Ο ΑΝΕΜΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

### 4.1. Η πίεση αναφοράς του ανέμου.

Η πίεση αναφοράς του ανέμου  $q_{ref}$  σε  $N/m^2$ , υπολογίζεται από τη σχέση

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot V_{ref}^2 \quad (3)$$

όπου  $V_{ref}$  είναι η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου σε  $m/sec$  και  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα  $kg/m^3$ . Η πυκνότητα του αέρα επηρεάζεται από το υψόμετρο και εξαρτάται από την θερμοκρασία και την αναμενόμενη βαρομετρική πίεση στην περιοχή κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Η τιμή του  $\rho$  παίρνεται ίση με  $1,25 kg/m^3$ .

### 4.2. Η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου.

Η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου,  $V_{ref}$ , ορίζεται ως η μέση ταχύτητα δεκαλέπτου, σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους κατηγορίας II και η οποία έχει μέση περίοδο επανεμφάνισης 50 έτη (συχνότητα επανεμφάνισης 2%).

Υπολογίζεται από την σχέση:  $V_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot V_{ref,0}$  (4)

όπου  $V_{ref,0}$  είναι η βασική ταχύτητα αναφοράς του ανέμου ή οποία, όπως ορίζεται στο παράρτημα Α του μέρους 2-4 του Ευρωκώδικα 1 είναι:

• Για τα νησιά και τις παράκτιες ζώνες, που απέχουν μέχρι 10 Km από τη θάλασσα:  $V_{ref,0} = 36 m/sec$ . • Για το εσωτερικό της χώρας:  $V_{ref,0} = 30 m/sec$ .

$c_{DIR}$  είναι συντελεστής διεθύνσεως,  $c_{TEM}$  είναι συντελεστής προσωρινότητας και  $c_{ALT}$  είναι συντελεστής υψομέτρου. Σύμφωνα με τον EC1 για την Ελλάδα είναι  $c_{DIR} = c_{TEM} = c_{ALT} = 1,0$ . Επομένως η πίεση αναφοράς του ανέμου είναι:

• Για τα νησιά και τις παράκτιες ζώνες:  $q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot V_{ref}^2 = 810 N/m^2$  (5)

• Για το εσωτερικό της χώρας:  $q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot V_{ref}^2 = 562,5 N/m^2$  (6)

Η ταχύτητα αναφοράς  $V_{ref}(p)$  για συχνότητα επανεμφάνισης,  $p$ , διάφορη της τιμής 0,02 μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$V_{ref}(p) = V_{ref} \left[ \frac{1 - K_1 \cdot \ln[-\ln(1-p)]}{1 - K_1 \cdot \ln[-\ln(1-0,02)]} \right]^n \quad (7)$$

όπου  $V_{ref}$  είναι η ταχύτητα αναφοράς για συχνότητα επανεμφάνισης ίση με 2%,  $K_1$  είναι παράμετρος σχήματος και  $n$  είναι εκθέτης. Για την Ελλάδα χρησιμοποιούνται οι αντιπροσωπευτικές τιμές  $K_1 = 0,2$  και  $n = 0,5$ , τις οποίες αν βάλουμε στην (7) έχουμε

$$V_{ref}(p) = V_{ref} \left[ \frac{1 - 0,2 \cdot \ln[-\ln(1-p)]}{1 - 0,2 \cdot \ln[-\ln(1-0,02)]} \right]^{0,5} = \frac{V_{ref}}{1,3343} [1 - 0,2 \cdot \ln[-\ln(1-p)]]^{0,5} \quad (8)$$

Η ετήσια πιθανότητα υπέρβασης των φορτίων σε αντιστοιχία με την περίοδο επανεμφάνισης και τη διάρκεια ζωής του έργου, υπολογίζεται από την σχέση

$$R = 1 - \left( 1 - \frac{1}{T} \right)^N \quad (9)$$

όπου  $T$  είναι η περίοδος επανεμφάνισης του συμβάντος σε έτη και  $N$  είναι η διάρκεια ζωής του έργου σε έτη.

## 5. Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΚΘΕΣΕΩΣ

### 5.1. Γενικά

Με τον συντελεστή εκθέσεως,  $c_e(z)$ , λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της τραχύτητας του εδάφους του αναγλύφου και του ύψους από το έδαφος, στην μέση ταχύτητα του ανέμου και στην τύρβη.

$$\text{Ορίζεται από την σχέση } c_e(z) = (c_r(z))^2 \cdot c_t^2 \cdot [1 + 2 \cdot g \cdot I_v(z)] \quad (10)$$

όπου  $g$  είναι συντελεστής αιχμής (ανεμορριπής) ο οποίος παίρνεται ίσος με 3,5,  $c_r(z)$  είναι συντελεστής τραχύτητας,  $c_t$  είναι συντελεστής αναγλύφου και  $I_v(z)$  είναι η

$$\text{ένταση της τύρβης, η οποία ορίζεται από την σχέση } I_v(z) = \frac{K_T}{c_r(z) \cdot c_t}.$$

### 5.2. Ο συντελεστής τραχύτητας $c_r(z)$ .

Ο συντελεστής τραχύτητας σε ύψος  $z_e$  καθορίζεται από λογαριθμική κατατομή:

$$c_r(z_e) = K_T \cdot \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right) \text{ για } z_{\min} \leq z_e \leq 200 \text{ m και } c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ για } z_e \leq z_{\min} \quad (11)$$

όπου  $K_T$  είναι συντελεστής εδάφους,  $z_0$  είναι το μήκος τραχύτητας σε m,  $z_{\min}$  είναι ελάχιστο ύψος σε m και  $z_e$  είναι το ύψος αναφοράς του θερμοκηπίου σε m. Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα μπορούν να θεωρησουμε γενικά ότι κατασκευάζονται σε αγροτικές εκτάσεις χωρίς περιφράξεις, με σποραδικά κτίρια και δένδρα. Τα εδάφη αυτά κατατάσσονται στην κατηγορία II και έχουν  $K_T = 0,19$ ,  $z_0 = 0,05$  m και  $z_{\min} = 4$  m. Επο-

$$\text{μένως ο συντελεστής τραχύτητας είναι } c_r(z_e) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{z_e}{0,05}\right) = 0,19 \ln z_e + 0,569 \quad (12)$$

### 5.3 Ο συντελεστής αναγλύφου $c_t$

Λαμβάνεται υπόψη για περιοχές πλησιέστερα από το μισό του μήκους της πλαγιάς από την κορυφή ή 1,5 φορές το ύψος του γκρεμού. Ορίζεται από τις σχέσεις (i)  $c_t = 1$  για  $\Phi < 0,05$  (ii)  $c_t = 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi$  για  $0,05 < \Phi < 0,30$  (iii)  $c_t = 1 + 0,6 \cdot s$  για  $\Phi > 0,30$  (13) Από τα διαγράμματα 8.1 και 8.2 του μέρους 2-4 του EC1, δημιουργήσαμε τους επόμενους δύο πίνακες από τους οποίους υπολογίζουμε την τιμή του  $c_t$ . Στους πίνακες αυτών,  $\Phi$  είναι η κλίση της ανάντι πλαγιάς,  $\Phi'$  είναι η κλίση της κατάντι πλαγιάς,  $h$  είναι η κατακόρυφη απόσταση της κατασκευής από την κορυφή,  $H$  είναι το ύψος της εδαφικής ανωμαλίας και  $X$  είναι η οριζόντια απόσταση της κατασκευής από την κορυφή.

**Πίνακας 2.** Τιμές συντελεστή  $c_t$  για γκρεμούς και εξάρσεις.

$\Phi$	Προσήνεμη πλευρά							X/H	Υπίνεμη πλευρά		
	h/H								$\Phi$		
	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0		0,10	0,20	0,30
0,05	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	0,0	1,16	1,28	1,33
0,10	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	0,5	1,17	1,29	1,35
0,20	1,12	1,15	1,18	1,22	1,25	1,26	1,28	1,0	1,16	1,28	1,36
0,30	1,15	1,19	1,22	1,26	1,29	1,31	1,33	2,0	1,15	1,27	1,36
0,40	1,24	1,26	1,28	1,29	1,31	1,32	1,33	5,0	1,11	1,21	1,30
0,50	1,30	1,31	1,31	1,32	1,32	1,33	1,33	10,0	1,07	1,12	1,03
$\geq 0,55$	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	15,0	1,06	1,01	1
								$\geq 17,0$	1	1	1

**Πίνακας 3.** Τιμές συντελεστή  $c_t$  για λόφους και προεξοχές .

Προσήνεμη πλευρά								Υπήνεμη πλευρά				
$\Phi$	h/H							$\Phi$	$\Phi'$	h/H		
	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0			0,50	0,25	0
0,05	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,08	1,09	0,1	0,10	1,03	1,10	1,18
0,10	1,06	1,08	1,11	1,13	1,16	1,17	1,18		0,20	1,07	1,13	1,18
0,20	1,12	1,15	1,18	1,20	1,23	1,25	1,26		0,30	1,10	1,14	1,18
0,30	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,29	1,31	0,2	0,10	1,03	1,15	1,26
0,40	1,24	1,24	1,25	1,25	1,26	1,26	1,26		0,20	1,07	1,17	1,26
0,50	1,30	1,28	1,26	1,24	1,21	1,2	1,19		0,30	1,12	1,19	1,26
0,60	1,33	1,30	1,26	1,23	1,20	1,18	1,16	0,3	0,10	1,06	1,19	1,31
0,80	1,33	1,29	1,24	1,20	1,16	1,14	1,11		0,20	1,14	1,22	1,31
1,00	1,33	1,28	1,23	1,19	1,14	1,11	1,09		0,30	1,24	1,28	1,31

#### 5.4. Ο συντελεστής εκθέσεως $c_e(z_e)$ .

Για την περίπτωση των θερμοκηπίων , αν λάβουμε υπόψη τις αναλύσεις που έγιναν παραπάνω , έχουμε

$$c_e(z_e) = (c_r(z_e))^2 \cdot c_t^2 \cdot [1 + 2 \cdot g \cdot I_v(z_e)] = c_r(z_e) \cdot c_t \cdot [c_r(z_e) \cdot c_t + 1,33] \quad (14)$$

Για επίπεδα εδάφη και εδάφη με κλίσεις  $\Phi < 5\%$  για τα οποία είναι  $c_t = 1$ , ο συντελεστής εκθέσεως  $c_e(z_e)$ , δίνεται από τη σχέση  $c_e(z_e) = c_r(z_e) \cdot [c_r(z_e) + 1,33]$  (15)

## 6. ΟΙ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

### 6.1 Ύψος αναφοράς

Το ύψος αναφοράς ,  $z_e$  , των θερμοκηπίων , είναι το ύψος από το επίπεδο του εδάφους μέχρι το ύψος της κορυφιάς οριζόντιας δοκού οροφής (κορυφιάς) .

### 6.2. Συντελεστές εξωτερικής πίεσης

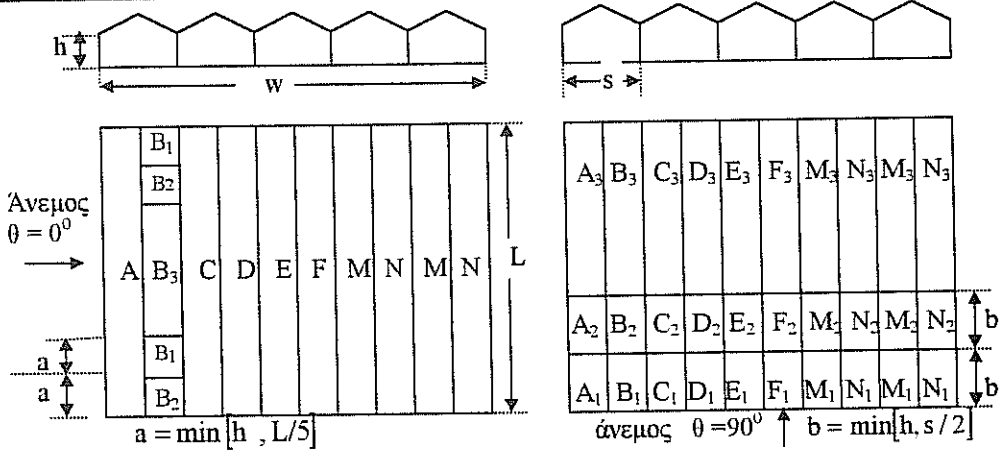
#### 6.2.1. Οροφές θερμοκηπίων

##### 6.2.1.1. Αμφικλινή θερμοκήπια

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$ , δίνονται στον πίνακα 4. Ειδικά για τις προσήνεμες πλευρές με γωνία κλίσεως  $20^\circ \leq \phi \leq 26^\circ$ , δίνονται στον πίνακα 5.

Α. Διεύθυνση ανέμου $\theta^0$										
Θερμοκήπια ενός ανοιγματος										
h/s	A	B			C	D	E	F	M	N
		B1	B2	B3						
$\leq 0,4$	Πίν. 5	-0,6	-1,0	-0,8						
$\geq 0,4$	Πίν. 5	-0,8	-1,0	-0,8						
Θερμοκήπια πολλαπλών ανοιγμάτων										
h/s	A	B			C	D	E	F	M	N
		B1	B2	B3						
$\leq 0,3$	Πίν. 5			-0,5	-0,5	-0,5	-0,4 (3 x)	-0,5 (3 x)	-0,4	-0,4
0,4	Πίν. 5	-1,0	-0,8	-1,2	-1,1	-0,5	-0,4 (4 x)	-0,5 (4 x)	-0,4	-0,4
$\geq 0,7$	Πίν. 5			-1,0	-0,7	-0,5	-0,4 (7 x)	-0,5 (7 x)	-0,4	-0,4

B. Διεύθυνση ανέμου 90°																							
Θερμοκήπια ενός ανοίγματος																							
A			B																				
A1	A2	A3	B1	B2	B3																		
-1,2	-0,5	-0,2	-1,2	-0,5	-0,2																		
Θερμοκήπια πολλαπλών ανοιγμάτων																							
A			B			C			D			E			F			M			N		
A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
-1,2	-0,5	-0,2	-1,2	-0,5	-0,2	-1,2	-0,5	-0,2	-1,2	-0,5	-0,2	-1,2	-0,5	-0,2	-1,2	-0,5	-0,2	-1,2	-0,5	-0,2	-1,2	-0,5	-0,2



Πίνακας 4. Συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$  για αμφικλινείς οροφές θερμοκηπίων.

Πίνακας 5. Συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$  για τις προσήνεμες οροφές αμφικλινών θερμοκηπίων με γωνία κλίσεως  $20^\circ \leq \varphi \leq 26^\circ$ .

h/s	$c_{pe}$						
	$\varphi=20^\circ$	$\varphi=21^\circ$	$\varphi=22^\circ$	$\varphi=23^\circ$	$\varphi=24^\circ$	$\varphi=25^\circ$	$\varphi=26^\circ$
0,20	-0,25	-0,15	-0,06	0,05	0,15	0,25	0,362
0,30	-0,48	-0,38	-0,29	-0,18	-0,08	0,02	0,135
0,40	-0,71	-0,60	-0,52	-0,42	-0,31	-0,21	-0,09
0,50	-0,93	-0,83	-0,75	-0,65	-0,54	-0,44	-0,32
0,60			-0,98	-0,88	-0,77	-0,67	-0,54
0,70	-1,07	-1,06		-1,04	-1,01	-0,9	-0,77
0,80			-1,05		-1,03	-1,02	-0,95

• Επειδή για διεύθυνση ανέμου  $\theta = 0^\circ$  και κλίση της οροφής  $15^\circ \leq \varphi \leq 30^\circ$ , η πίεση στην προσήνεμη πλευρά αλλάζει απότομα μεταξύ θετικών και αρνητικών τιμών, ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης για  $\varphi = 15^\circ$  παίρνει και την τιμή  $c_{pe} = + 0,2$  και για  $\varphi = 30^\circ$  παίρνει και την τιμή  $c_{pe} = + 0,7$ . Για ενδιάμεσες τιμές γίνεται γραμμική παρεμβολή. Ο έλεγχος της προσήνεμης πλευράς θα γίνεται και για τις δύο περιπτώσεις φορτίσεως. Για γωνίες,  $\varphi \geq 30^\circ$  για την προσήνεμη πλευρά έχομε  $c_{pe} = + 0,7$  ενώ για τις υπόλοιπες πλευρές ισχύουν οι τιμές του πίνακα 4. • Για θερμοκήπια με περισσότερα από πέντε ανοίγματα, οι συντελεστές πίεσης για τις όψεις των οροφών E και F είναι δυνατό να επαναλαμβάνονται στις επιπλέον όψεις για τόσες φορές, όσες αναφέρονται στον πίνακα (π.χ. το -0,4 (3 x) σημαίνει ότι ο συντελεστής - 0,4 μπορεί να εφαρμοστεί για τρία επιπλέον συνεχόμενα ανοίγματα) και στην συνέχεια εφαρμόζονται οι συντελεστές των όψεων M και N.

6.2.1.2. Θερμοκλίμα με τοξωτές οροφές

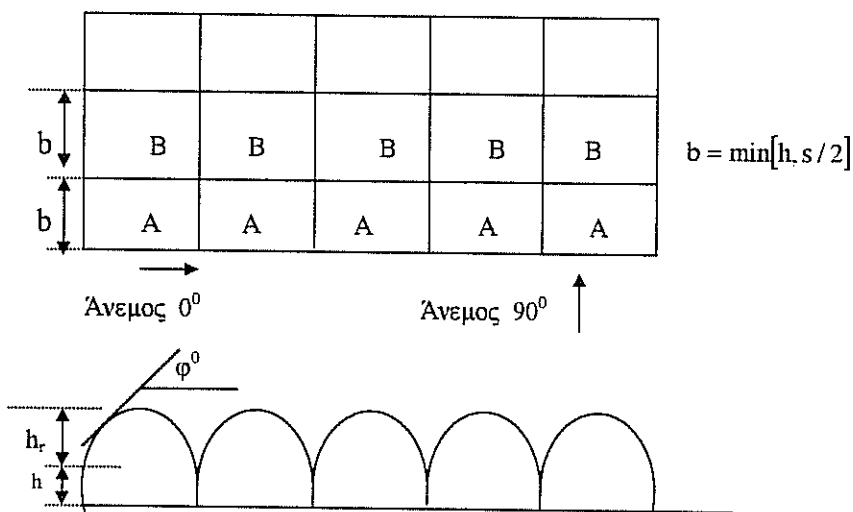
6.2.1.2.1. Τοξωτά θερμοκλίμα χωρίς κατακόρυφες πλευρικές επιφάνειες.

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$ , για τις τοξωτές οροφές θερμοκλιμάτων πολλαπλών ανοιγμάτων χωρίς κατακόρυφες πλευρικές επιφάνειες, δίδονται στον πίνακα 6.

**Πίνακας 6.** Συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$ , για τις τοξωτές οροφές θερμοκλιμάτων πολλαπλών ανοιγμάτων χωρίς κατακόρυφες πλευρικές επιφάνειες

Διεύθυνση ανέμου	Άνοιγμα	$\varphi$		$c_{pe}$	$c_{pe}^{**}$	A	B
		Απλά	Πολλαπλά				
0°	Πρώτο	90° έως 55°	90° έως 55°	+ 0,4	+ 0,4		
		55° έως 35°	55° έως 35°	- 0,1	- 0,1		
		35° έως 15°	35° έως 15°	- 0,8	- 1,1		
		15° έως -5°	15° έως -5°	- 1,3	- 1,8		
		-5° έως -25°	-5° έως -15°	- 0,6	- 0,9		
	Δεύτερο	-25° έως -90°	15° έως υδρορρόη	- 0,3	- 0,3		
		υδρορρόη έως 5°		- 0,3	- 0,3		
		5° έως -10°		- 0,9	- 1,0		
	Τρίτο και επόμενα	-10° έως 90°		- 0,2	- 0,2		
		υδρορρόη έως 5°		- 0,1	- 0,1		
5° έως -10°		- 0,7	- 0,8				
Υπήνεμο *	-10° έως 90°		- 0,1	- 0,1			
	υδρορρόη έως 5°		- 0,0	- 0,0			
90°	Όλα	5° έως -10°		- 0,6	- 0,6		
		-10° έως υδρορρόη		- 0,2	- 0,2		
		90° έως - 90°		- 0,3	- 0,3	- 1,3	- 0,6

• \* Για δύο όμοια ανοίγματα χρησιμοποιούμε τους συντελεστές που ισχύουν για το δεύτερο άνοιγμα με την διαφοροποίηση ότι για -10° έως 90° ο συντελεστής παίρνει τιμή -0,4. • Για τρία ανοίγματα χρησιμοποιούμε τους συντελεστές που ισχύουν για το δεύτερο άνοιγμα με την διαφοροποίηση ότι για -10° έως 90° ο συντελεστής παίρνει τιμή -0,4. • \*\* Οι τιμές αυτές ισχύουν για  $h_r/s < 0,35$  και επικάλυψη πλαστικό φύλλο το οποίο δεν συγκρατείται από την αποκόλληση πάνω από τον κορφιά.



**6.2.1.2.2. Τοξωτά θερμοκήπια με κατακόρυφες πλευρικές επιφάνειες**

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$ , για  $h/s \geq 0,2$  δίδονται στον πίνακα 7. Για  $h/s < 0,2$ , αντιμετωπίζονται ως θερμοκήπια χωρίς κατακόρυφες πλευρικές επιφάνειες.  
**Πίνακας 7.** Συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$ , για τις τοξωτές οροφές θερμοκηπίων με κατακόρυφες πλευρικές επιφάνειες.

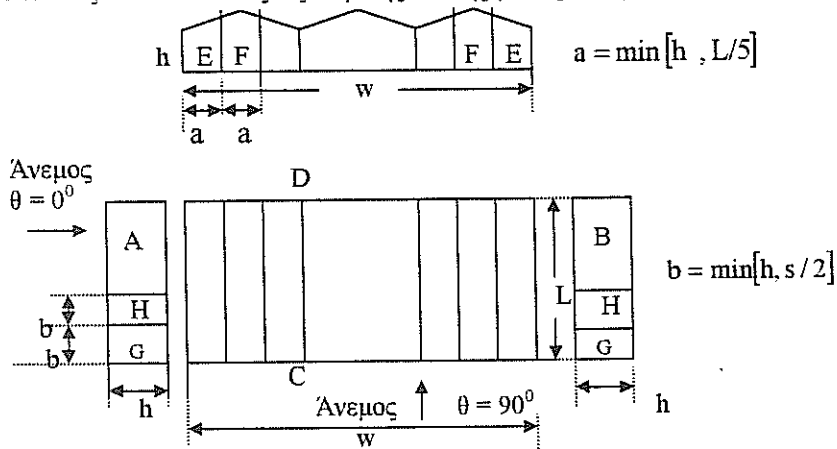
Διεύθυνση ανέμου	Άνοιγμα	$\varphi$		$c_{pe}$	$c_{pe}^{**}$	A	B
		Απλά	Πολλαπλά				
0°	Πρώτο	υδρορρόφη έως 55°	υδρορρόφη έως 55°	+ 0,3	+ 0,3		
		55° έως 35°	55° έως 35°	- 1,0	- 1,0		
		35° έως -25°	35° έως -10°	- 1,0	- 1,2		
		-25° έως υδρορρόφη	-10° έως υδρορρόφη	- 0,4/ - 0,3	- 0,4/ - 0,3		
0°	Δεύτερο	υδρορρόφη έως 10°		- 0,3	- 0,3		
		10° έως -10°		- 0,9	- 1,0		
		-10° έως υδρορρόφη		- 0,2	- 0,2		
0°	Τρίτο και επόμενα	υδρορρόφη έως 10°		Είναι το 0,6 του συντελεστή που ισχύει για το δεύτερο άνοιγμα			
		10° έως -10°					
		-10° έως υδρορρόφη					
90°	Όλα	90° έως - 90°		- 0,3	- 0,3	- 1,3	- 0,6

\*\* Οι τιμές αυτές ισχύουν για  $h_r / s < 0,35$  και επικάλυψη πλαστικό φύλλο το οποίο δεν συγκρατείται από την αποκόλληση πάνω από τον κορφιά.

**6.2.2. Πλευρικές επιφάνειες θερμοκηπίων**

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τις πλευρικές επιφάνειες των αμφικλινών θερμοκηπίων, εξαρτώνται από το λόγο  $h/w$  και δίνονται στον πίνακα 8.

**Πίνακας 8.** Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τις πλευρικές επιφάνειες θερμοκηπίων



Διεύθυνση ανέμου	$h/w$	A	B	C	D	E	F	G	H
0°	$\leq 0,4$	+ 0,6	- 0,3	- 0,3	- 0,3	- 1,0	- 0,6	-	-
	$\geq 0,4$	+ 0,6	- 0,6	- 0,4	- 0,4	- 1,0	- 0,6	-	-
90°	$\leq 0,4$	- 0,2	- 0,2	+ 0,7	- 0,3	-	-	- 0,8	- 0,5
	$\geq 0,4$	- 0,2	- 0,2	+ 0,7	- 0,3	-	-	- 1,0	- 0,6

### 6.3. Συντελεστές εσωτερικής πίεσης .

Οι συντελεστές εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}$  , για αμφικλινή και για τοξωτά θερμοκήπια, δίνονται στον πίνακα 9. Ο υπολογισμός θα επαναλαμβάνεται για την θετική και την αρνητική εσωτερική πίεση. Εάν στην προσήνεμη πλευρά έχουμε μεγάλα ανοίγματα , πρέπει να εφαρμόσουμε συντελεστή εσωτερικής πίεσης  $c_{pi} = + 0,6$ .

**Πίνακας 9.** Συντελεστές εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}$ .

Τύπος θερμοκηπίου	Διεύθυνση ανέμου $0^{\circ}$		Διεύθυνση ανέμου $90^{\circ}$	
	αμφικλινή	τοξωτά *	αμφικλινή	τοξωτά
Ένα άνοιγμα	+ 0,2 και -0,4	+ 0,2 και - 0,4	+ 0,2 και -0,2	+ 0,2 και - 0,1
Πολλαπλά ανοίγματα	+ 0,2 και -0,3	+ 0,2 και - 0,3	+ 0,2 και -0,2	+ 0,2 και - 0,2

• \* Ισχύουν για θερμοκήπια με κλειστά ανοίγματα , με πόρτες στους ακραίους τοίχους, αλλά αδιαπέρατες πλευρές. • Για θερμοκήπια με διαπερατές ή ανοιχτές πλευρές οι αρνητικοί συντελεστές είναι  $- 0,2$  και  $0,0$ .

### 6.4. Συντελεστής τριβής.

Οι δυνάμεις τριβής λόγω του ανέμου, θα υπολογίζονται για τις επιφάνειες των όψεων των πλευρικών τοίχων που είναι διατεταγμένοι παράλληλα στον άνεμο, καθώς επίσης για τις επιφάνειες των όψεων της οροφής αλλά μόνο για την περίπτωση πνοής του ανέμου με διεύθυνση  $90^{\circ}$ . Υπολογίζονται χρησιμοποιώντας συντελεστή τριβής  $c_{F} = 0,01$ .

### 6.5. Ανεμιστήρες

Τα θερμοκήπια πρέπει να σχεδιάζονται για φορτία ανέμου που αντιστοιχούν σε κλειστούς ανεμιστήρες. Όταν εφαρμόζεται η πίεση λόγω λειτουργίας των ανεμιστήρων , δεν θα εφαρμόζεται άλλη ανεμοπίεση. Ο καθαρός συντελεστής πίεσης  $c_{p,net}$  για ανοιχτούς ανεμιστήρες πρέπει να παίρνεται ίσος με  $c_{p,net} = +1,25$  και  $c_{p,net} = - 1,25$ . και θα εφαρμόζεται σε όλες τις πλευρές του θερμοκηπίου.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Eurocode 1 : Basis of design and actions on structures - Part 1 : Basis of design, CEN, ENV 1991-1, September 1994.
2. Eurocode 1 : Basis of design and actions on structures - Part 2-4 Actions on structures - Wind actions, CEN, ENV 1991-2-4, May 1995.
3. CEN : Draft prEN 13031-1 . Greenhouses : Design and construction - Part 1: Commercial production Greenhouses. 1997.
4. National Greenhouse manufactures association (NGMA) , Standards for design loads in greenhouse structures , 1997.
5. Γεωργίου Ν. Μαυρογιαννόπουλου , Θερμοκήπια , 1994.
6. Iabse Colloquium, Basis of Design and Actions on Structures Background and application of Eurocode 1, Volume 74, Delft 1996.
7. Vassiliou , N.N., Nikita - Martzopoulou ,C., “ Estimation of dynamic wind pressure for greenhouse structural design ” , Acta Horticulture , Nr 281 , 1990.

*Επεξεργασία  
Γεωργικών Προϊόντων*

*Νέες Τεχνολογίες*





**Ο Παγκόσμιος Ιστός ως εργαλείο ενίσχυσης της  
εκπαιδευτικής διαδικασίας στη Γεωργική Μηχανική.  
Εφαρμογή: Διδασκαλία του μαθήματος «Διαχείρισης  
Μικροκλίματος Θερμοκηπίου»**

**M. Καραμάνης, Κ. Κίττας**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  
Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής & Ζωικής Παραγωγής  
Πεδίον Άρεως, 38334, Βόλος, Ελλάδα

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο Παγκόσμιος Ιστός έχει καταζωθεί στη συνείδηση της εκπαιδευτικής κοινότητας, ως ένα πολυδύναμο περιβάλλον φιλόξενο για δραστηριότητες διερευνητικής μάθησης. Ωστόσο, στα πλαίσια της διδασκαλίας και μάθησης με τη χρήση υπολογιστών, η έννοια της διερευνητικής μάθησης είναι συνυφασμένη με τη χρήση των προσομοιώσεων. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια προσπάθεια να συνδυαστούν οι παραπάνω τεχνολογίες, στην κατεύθυνση της δημιουργίας ενός πρωτότυπου εκπαιδευτικού λογισμικού για την ενισχυτική διδασκαλία των φοιτητών των Γεωπονικών Σχολών, στο αντικείμενο της Διαχείρισης του Μικροκλίματος των Θερμοκηπίων.

**Using World Wide Web to enhance educational process in  
Agricultural Engineering. An application for “Greenhouse  
Climate Control” teaching**

**M. Karamanis, K. Kittas**

University of Thessaly  
School of Agriculture, Crop & Animal Production  
Pedion Areos, 38334, Volos, Greece

**ABSTRACT**

World Wide Web has appointed to the educational community as a multi-functional platform for exploratory learning purposes. Nevertheless the real contribution to this target, as far as Computer Assisted Instruction and Learning are concerned, comes from the adaptation of Computer Simulation in the instructional and learning process. The following work presents an attempt to combine the previously described evolutions, in a prototype piece of software. The prototype aims to enhance university courses in Agricultural Schools concerning Greenhouse Climate Control.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υπηρεσία του Παγκόσμιου Ιστού Πληροφοριών (WWW) κέντρισε το ενδιαφέρον της εκπαιδευτικής κοινότητας από την πρώτη στιγμή της εμφάνισης της στο χώρο του Διαδικτύου. Η δομή υπερμέσων πάνω στην οποία είναι υλοποιημένη η υπηρεσία, σε συνδυασμό με την ολοκλήρωση του πληροφοριακού και επικοινωνιακού δυναμικού του Διαδικτύου κάτω από ένα ενιαίο περιβάλλον διεπαφής για τον τελικό χρήστη (browsers), προσδίδουν στο WWW τα χαρακτηριστικά μιας θεωρητικά «ιδεατής» πλατφόρμας για δραστηριότητες διερευνητικής και ανακαλυπτικής μάθησης.

Η πραγματική ωστόσο συνεισφορά στο συγκεκριμένο τομέα -όσον αφορά τη διδασκαλία και την μάθηση με τη χρήση των Η/Υ- αφορά στις προσομοιώσεις (simulations). Η χρήση προσομοιώσεων για ερευνητικούς σκοπούς είναι ευρέως διαδεδομένη. Ιδιαίτερα όσον αφορά, για παράδειγμα, την αστροφυσική ή την μοριακή βιολογία οι προσομοιώσεις δεν αποτελούν εργαλείο αναπαράστασης του ερευνητικού αντικείμενου, αλλά το ίδιο το ερευνητικό αντικείμενο. Οι προσομοιώσεις δημιουργούνται γύρω και πάνω από ένα μοντέλο το οποίο είναι διαφανές στον τελικό χρήστη. Ο τελευταίος μπορεί να διαπιστώσει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του μοντέλου αλληλεπιδρώντας με την εφαρμογή [1].

Οι εκπαιδευτικές δυνατότητες των προσομοιώσεων, ιδιαίτερα όσον αφορά σύνθετα συστήματα ή αφηρημένες έννοιες, είναι τεράστιες, παρά ταύτα όπως επισημαίνει ο Van Joolingen οι δυνατότητες εκπαιδευτικού σχεδιασμού τέτοιου είδους εφαρμογών είναι περιορισμένες καθώς μια εφαρμογή προσομοίωσης εξαντλείται στον προσδιορισμό του μοντέλου και στην βαθμονόμησή του. Υπάρχει κατά συνέπεια η ανάγκη για υποστήριξη των εφαρμογών προσομοίωσης από εκπαιδευτικά εργαλεία και υλικό, το οποίο θα είναι σε θέση να υποστηρίξει τη μαθησιακή διαδικασία κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης με την προσομοίωση [2].

Η παρούσα εργασία αφορά στην προσπάθεια συνδυασμού ενός εκπαιδευτικού προγράμματος υλοποιημένου στο WWW με μια απλή προσομοίωση των ενεργειακών απωλειών θερμοκηπίου, για τη διδασκαλία του μαθήματος της Διαχείρισης Μικροκλίματος Θερμοκηπίου (ΔΜΘ) σε φοιτητές Γεωπονικών Σχολών.

## 2. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Παρά τη σύντομη ιστορία του το WWW έχει τύχει ευρείας αξιοποίησης ιδιαίτερα όσον αφορά στο χώρο της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Οι εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί ποικίλουν από την απλή δημοσίευση παραδόσεων και εργασιών ως την ανάπτυξη πολύπλοκων εφαρμογών που περιλαμβάνουν απαιτητικά γραφικά, προσομοιώσεις, καθώς και επικοινωνιακές και συνεργατικές δυνατότητες. Επιπρόσθετα οι συγκεκριμένες εφαρμογές έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο σε συνδυασμό με τις πανεπιστημιακές παραδόσεις, όσο και σαν αυτόνομες εκπαιδευτικές οντότητες.

Οι Yaverbaum και Liebowitz, καθώς και οι Bothum et al 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. Τα παραπάνω προγράμματα δεν συνοδεύονταν από παραδοσιακές πανεπιστημιακές παραδόσεις. Οι δύο ομάδες αναφέρουν προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη ουσιαστικής ανάδρασης, την δυσκολία ουσιαστικής

αξιολόγησης, καθώς και την δυσκολία των φοιτητών να αποδεχτούν τον υπολογιστή ως την μοναδικό μέσο διδασκαλίας [3],[4]. Οι Reed and Aljeh καθώς και ο Goldberg ανέπτυξαν εφαρμογές οι οποίες χρησιμοποιούνταν παράλληλα με τις πανεπιστημιακές παραδόσεις, έχοντας ταυτόχρονα ένα τμήμα των σπουδαστών να παρακολουθεί το μάθημα με την παραδοσιακή του μορφή. Οι εφαρμογές περιλάμβαναν εκπαιδευτικό υλικό και αναφορές στο WWW σε συνδυασμό με προσομοιώσεις στους τομείς των αεροπροωθούμενων κινητήρων και των λειτουργικών συστημάτων υπολογιστών αντίστοιχα. Οι αναφορές συγκλίνουν στο γεγονός ότι οι σπουδαστές που έκαναν χρήση της εφαρμογής σε συνδυασμό με τα παραδοσιακά μαθήματα σημείωσαν καλύτερες επιδόσεις στις εξετάσεις [5],[6].

Είναι προφανές από τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών ότι οι εκπαιδευτικές εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν περισσότερο αποτελεσματικές σε συνδυασμό με τα παραδοσιακά μαθήματα. Επιπρόσθετα οι εφαρμογές που αφορούσαν αφηρημένες έννοιες ή πολύπλοκα συστήματα είχαν καλύτερη αποδοχή από τους φοιτητές. Η εφαρμογή που αφορά στη διδασκαλία του μαθήματος της ΔΜΘ σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε για να χρησιμοποιηθεί από κοινού με τις παραδόσεις του μαθήματος και αποσκοπεί άμεσα στην βελτίωση της διδασκαλίας του συγκεκριμένου αντικειμένου.

### **3. ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**

#### **3.1 Εκπαιδευτική εφαρμογή στο περιβάλλον του WWW**

Παρότι το WWW δεν μπορεί να περιγραφεί ρεαλιστικά σαν μια υπερμεσική και μόνον εφαρμογή, η διαδικασία σχεδίασης εφαρμογών στο συγκεκριμένο χώρο στηρίζεται στις αρχές δημιουργίας υπερμεσικών εφαρμογών [7].

Αν θεωρήσουμε τη μάθηση σαν μια διαδικασία οικοδόμησης νέων νοητικών σχημάτων και τη σύνδεσή τους με ήδη υπάρχοντα, τότε ο αριθμός των συνδέσμων μεταξύ της ήδη υπάρχουσας και της προσδοκώμενης γνώσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της μαθησιακής διαδικασίας. Η παραπάνω παρατήρηση σε συνδυασμό με τη δυνατότητα «περιήγησης» μια εφαρμογής υπερμέσων σύμφωνα με τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες του κάθε χρήστη, προσδίδει στις εφαρμογές υπερμέσων τη μορφή του «ιδανικού» μαθητοκεντρικού μαθησιακού περιβάλλοντος [8]. Η πραγματικότητα βέβαια πόρρω απέχει από την προηγούμενη όποια, καθώς αποτελεσματική πρόσβαση στην πληροφορία δεν σημαίνει απαραίτητα πρόοδο στην κατεύθυνση της γνώσης[9]. Επιπρόσθετα η ανοικτή και πολύπλοκη φύση των υπερμεσικών εφαρμογών αυξάνει την αίσθηση αποπροσανατολισμού των χρηστών, καθώς και της υπερφόρτωσής τους με πληθώρα πληροφοριών [10]. Το εκπαιδευτικό αποτέλεσμα μιας εφαρμογής πολυμέσων συνδέεται άμεσα με τον σχεδιασμό της, όσον αφορά τόσο στο περιεχόμενο και τη δομή του, όσο και τις ανάγκες των χρηστών.

Μια βασική σχεδιαστική αρχή που αναφέρεται στην αναπαράσταση σύνθετων γνωστικών αντικειμένων -όπως η ΔΜΘ- με τη χρήση υπερμεσικών εφαρμογών, αφορά στην κατ' αρχήν κατάταξη του περιεχομένου σε αυτοτελείς νοηματικές ενότητες και η σύνδεσή τους στη συνέχεια με συνδέσμους [11].

Ο σχεδιασμός του περιβάλλοντος διεπαφής (Interface), όσον αφορά το WWW υπόκειται στους περιορισμούς της παρουσίασης της πληροφορίας μέσα από το παράθυρο του φυλλομετρητή. Η υιοθέτηση κάποιας χωρικής μεταφοράς μπορεί να εξυπηρετήσει τη διαδικασία σχεδιασμού, αρκεί να συνδέεται με ήδη γνωστές για το χρήστη έννοιες και καταστάσεις [12].

Η ορθολογική επιλογή των μέσων αναπαράστασης της πληροφορίας, σύμφωνα πάντα με τις ανάγκες του παρουσιαζόμενου υλικού αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στο σχεδιασμό εφαρμογών για το WWW. Οι γραφικές αναπαραστάσεις ωστόσο, είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην αναπαράσταση πολύπλοκων εννοιών ή/και αφηρημένων εννοιών, των οποίων μας ενδιαφέρει η άμεση αντίληψη[13].

Η εφαρμογή για την ενίσχυση της διδασκαλίας του μαθήματος της ΔΜΘ κάνει χρήση της μεταφοράς του βιβλίου σημειώσεων του μαθητή, σε μια προσπάθεια να υποστηριχθεί η ολιστική παρουσίαση του περιεχομένου μέσω μιας οικείας προς το χρήστη εικόνας. Η ΔΜΘ αποτελεί ένα μάλλον διαθεματικό αντικείμενο καθώς εμπλέκει μια σειρά γνωστικά πεδία όπως Φυσική, Φυσιολογία Φυτών, Μηχανολογία κτλ. Για να αντιμετωπιστεί η συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα το υλικό δομήθηκε σε ανεξάρτητες ενότητες (δικτυακές σελίδες), οι ενότητες συνδέονται ιεραρχικά μέσω ενός πίνακα περιεχομένων, αλλά και μέσω κατωτέρου επιπέδου πινάκων περιεχομένων που αναφέρονται στην κάθε ενότητα.

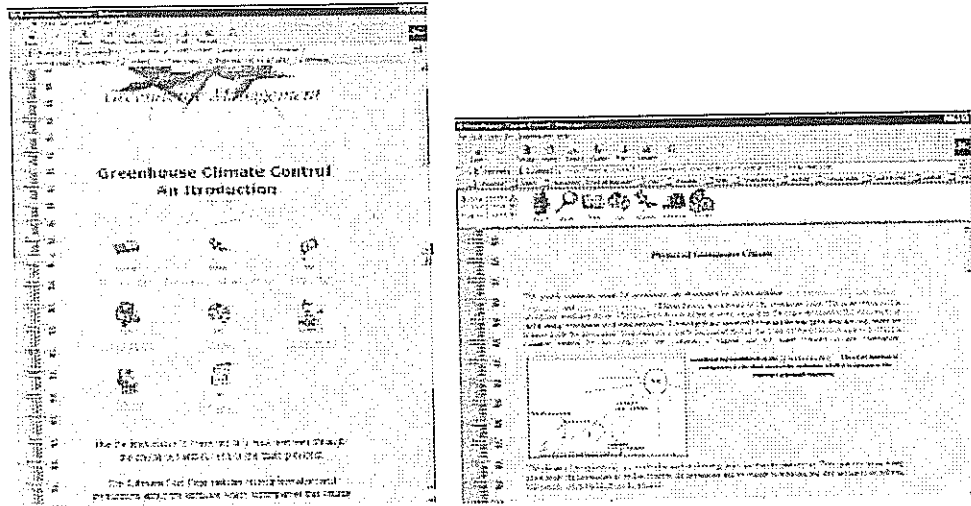
Σε εννοιολογικό επίπεδο, οι διάφορες ενότητες συνδέθηκαν μεταξύ τους σύμφωνα με το πρότυπο δικτύου μέσω λέξεων ή γραφημάτων κλειδιών που περιλαμβάνονται στο υλικό. Για την εννοιολογική διασύνδεση χρησιμοποιήθηκε η εμπειρία της διδακτικής ομάδας του μαθήματος σε σχέση με την κατανόηση των εννοιών από τους φοιτητές. Επιπλέον το παρουσιαζόμενο υλικό έχει συμπληρωθεί με δυναμικές βιβλιογραφικές αναφορές στο χώρο του Διαδικτύου, οι οποίες στοχεύουν στο να διαδραματίσουν το ρόλο του μίτου της Αριάδνης για την αναζήτηση πληροφοριακού υλικού από τους φοιτητές. Επιπρόσθετα υπάρχει στη διάθεση των φοιτητών λεξικό ορολογίας δυναμικά διασυνδεδεμένου με το περιεχόμενο των εννοιών.

Στην εφαρμογή έχουν ολοκληρωθεί μια σειρά από εργαλεία, τα οποία είναι προσβάσιμα μέσω ειδικών σελίδων εργαλείων, που με τη σειρά τους είναι προσβάσιμες από κάθε ενότητα της εφαρμογής. Συγκεκριμένα, διατίθεται ένα εργαλείο σελιδοποίησης και εκτύπωσης διαφόρων τμημάτων της εφαρμογής, μια μηχανή αναζήτησης πληροφοριών, σημειωματάριο φοιτητή, ημερολόγιο δραστηριοτήτων, καθώς και πίνακας σελιδοδεικτών για την τήρηση προσωπικού αρχείου.

Η εφαρμογή δίνει μια σειρά από δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ των φοιτητών που συμμετέχουν στο μάθημα, καθώς και μεταξύ φοιτητών και διδασκόντων. Η επικοινωνία γίνεται σε σύγχρονη και ασύγχρονη βάση. Η ασύγχρονη επικοινωνία γίνεται μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και μέσω ομάδων συζητήσεων. Ενώ η σύγχρονη επικοινωνία γίνεται με τη χρήση «δωματίων» συζήτησης (chat – rooms). Κάθε φοιτητής με την εγγραφή του στο μάθημα αποκτά ένα μοναδικό κωδικό πρόσβασης και ένα λογαριασμό ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που αναφέρεται αποκλειστικά στο μάθημα. Με τη χρήση του συγκεκριμένου κωδικού είναι δυνατή η πρόσβαση στον δικτυακό τόπο μαθήματος από οποιοδήποτε υπολογιστή διαθέτει σύνδεση με το Διαδίκτυο. Επιπλέον, είναι δυνατή η δημιουργία καινούργιων ομάδων συζητήσεων από τις ομάδες φοιτητών που αναλαμβάνουν κοινές εργασίες. Οι παραπάνω ομάδες είναι εφοδιασμένες με εργαλεία και «χώρο» για τη δημοσίευση της δουλειάς τους. Τέλος, στην κάθε ενότητα περιλαμβάνονται μια σειρά από ασκήσεις αυτοαξιολόγησης στις οποίες συμμετέχει ο φοιτητής προκειμένου να διαπιστώσει τις γνώσεις του για το συγκεκριμένη ενότητα.

Ο διδάσκοντας έχει στη διάθεσή του μια σειρά από εργαλεία τα οποία «ιχνηλατούν» την κίνηση των φοιτητών στο υλικό και δίνουν στατιστικά στοιχεία και αναφορές τόσο για την πρόοδό τους, όσο και για την κίνηση και την «αναγνωσιμότητα» του υλικού. Η εφαρμογή έχει αναπτυχθεί με τη βοήθεια του εργαλείου Web Courses

Tools (WebCT) [14], το οποίο παρέχει ένα ιδιαίτερα φιλικό περιβάλλον ανάπτυξης εκπαιδευτικών εφαρμογών στο χώρο του WWW.



Σχήμα 1 Αρχική Οθόνη και Οθόνη ενότητας από την εφαρμογή στο WWW

### 3.2 Προσομοίωση Ενεργειακών Απωλειών Θερμοκηπίου (ΠΕΑΘ)

Οι Smith και Pollard ορίζουν τις εφαρμογές προσομοίωσης ως λογισμικά τα οποία αξιοποιούν ένα μαθηματικό ή λογικό μοντέλο ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να μεταβάλλει κάποιες από τις παραμέτρους του συστήματος και να δει τα αποτελέσματα που επιφέρουν οι συγκεκριμένες αλλαγές στις υπόλοιπες παραμέτρους [15]. Κέντρο συνεπώς κάθε εφαρμογής προσομοίωσης είναι το μοντέλο το οποίο περιγράφει το σύστημα το οποίο πρόκειται να προσομοιωθεί. Η ΠΕΑΘ κάνει χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου του ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου, που προτάθηκε από τον Κίττα μέσω του οποίου υπολογίζονται οι ενεργειακές απώλειες του θερμοκηπίου. Το μοντέλο κάνει χρήση των τοπικών παραγόντων μικροκλίματος για να υπολογίσει τις ανάγκες σε θέρμανση, παρουσιάζοντας με τον τρόπο αυτό ένα ενεργειακό χάρτη της Ελλάδας για διάφορων ειδών θερμοκηπιακές καλλιέργειες [16].

Η παρουσίαση αφηρημένων εννοιών με αριθμητικές μεθόδους αποτελεί κοινή πρακτική στο χώρο της τεχνικής εκπαίδευσης. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια των πανεπιστημιακών διαλέξεων, χωρίς σε πολλές περιπτώσεις να δίνεται στους φοιτητές η δυνατότητα της αξιολόγησης της αξιοπιστίας των συγκεκριμένων μεθόδων, καθώς η εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες είναι συνήθως χρονοβόρα και δαπανηρή. Οι προσομοιώσεις φαίνεται να έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν ως ένα βαθμό το συγκεκριμένο κενό.

Η ΠΕΑΘ αναπτύχθηκε με τη χρήση του Borland C++ Builder 3, η συγκεκριμένη έκδοση υποστηρίζει την εύκολη ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής (GUI). Το μοντέλο προσομοίωσης δεν είναι ορατό στον χρήστη. Η σχεδιαστική ιδέα γύρω από την οποία αναπτύχθηκε η προσομοίωση είναι να δοθεί στο χρήστη μια ποσοτική εκτίμηση των ενεργειακών απωλειών θερμοκηπίου και κατά συνέπεια οι ανάγκες σε θέρμανση για διάφορες καλλιέργειες (ενεργειακές απαιτήσεις) κάτω από κλιματικές

συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Οι φοιτητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα προκειμένου να προτείνουν ένα ποιοτικό μοντέλο των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου, ώστε να είναι σε θέση να προτείνουν βέλτιστες τεκμηριωμένες λύσεις στους παραγωγούς.

Το εισαγωγικό παράθυρο της εφαρμογής αποτελείται από ένα παράθυρο με δύο σειρές πλήκτρων επιλογής (radio buttons), ένα πεδίο εισαγωγής, ένα αναδιπλούμενο μενού και ένα πλήκτρο εκκίνησης. Ο χρήστης καλείται να εισάγει τις παραμέτρους που του ζητούνται. Συγκεκριμένα επιλέγει περιοχή και καλλιέργεια «τσεκάροντας» το αντίστοιχα πλήκτρα επιλογής, διαλέγει τον μήνα του έτους από το αναδιπλούμενο μενού και τέλος εισάγει τις διαστάσεις του θερμοκηπίου. Με την εκκίνηση εμφανίζεται ένα δεύτερο παράθυρο το οποίο παρουσιάζει στο άνω αριστερό μέρος τις ανάγκες σε θέρμανση της συγκεκριμένης καλλιέργειας για την συγκεκριμένη περιοχή, την καθορισμένη χρονική περίοδο για τις διαστάσεις θερμοκηπίου που έχουν ζητηθεί. Ταυτόχρονα παρουσιάζονται οι ποσότητες καυσίμων που πρέπει να καταναλωθούν για να αποδώσουν τη συγκεκριμένη ενέργεια για τέσσερα διαφορετικά καύσιμα (πετρέλαιο, μαζούτ, φυσικό αέριο και ελαοπυρήνα). Αν ο φοιτητής προχωρήσει σε επόμενη μέτρηση, η οποία διαφέρει από την προηγούμενη κατά μια μόνο παράμετρο, τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην ίδια περιοχή του παραθύρου, ενώ στην άνω δεξιά περιοχή εμφανίζονται τα αποτελέσματα της προηγούμενης μέτρησης. Στο κάτω τμήμα του παραθύρου εμφανίζεται να ποσοτική εκτίμηση της διαφοράς (%), που επέφερε η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου στην απαιτούμενη ενέργεια. Η εφαρμογή υποστηρίζει μηνύματα λάθους, καθώς και παρουσίαση μηνυμάτων που αφορούν τις μη ανάγκες σε θέρμανση για συγκεκριμένες σειρές παραμέτρων.

Η εφαρμογή δεν υποστηρίζει σε αυτή την έκδοση τη δημιουργία γραφικών αναπαραστάσεων. Ζητείται όμως από τους φοιτητές να εισάγουν τα αποτελέσματα που θα πάρουν για συγκεκριμένους παραμέτρους σε μια εφαρμογή λογιστικού φύλλου ώστε να παράγουν πίνακες και γραφικές παραστάσεις. Τα λογιστικά φύλλα που θα παραχθούν μαζί με την τεκμηρίωση που τα συνοδεύει, δημοσιεύονται στο χώρο δημοσίευσης των εργασιών των φοιτητών στο WWW.

The screenshot shows a software application window titled "Results". It is divided into several sections:

- Greenhouse location:** Radio buttons for North Greece (selected), Central Greece, South Greece, and Date.
- Cultivation:** Radio buttons for Tomato, Cucumber (selected), and Aloe.
- Greenhouse Dimensions:** Length of long side (Between 40m and 100m) set to 40, and Length of short side (Between 20m and 60m) set to 20.
- Enter the month of the year:** A dropdown menu set to January.
- Buttons:** "Calculate" and "Exit".
- Results:**
  - To cover the heating demands of a Cucumber greenhouse cultivation during January at the North part of Greece, the following amount of energy is necessary: HEATING DEMANDS = 102000.00 MJ.
  - The demanded energy can be assured by the consumption of the following amounts of fuel types:
    - 12440.19 Kg of saw dust
    - 4272.30 Kg of oil
    - 3951.37 Kg of propane
    - 4925.98 Kg of natural gas
    - 4443.26 Kg of heavy oil
- Note:**
  - The demanding energy as far as it concerns a Tomato cultivation for the North part of Greece during January is: HEATING DEMANDS = 112160.00 MJ.
  - The fuel consumption for the different types of fuel is:
    - 7665.44 Kg of saw dust
    - 2622.66 Kg of oil
    - 2432.08 Kg of propane
    - 3025.45 Kg of natural gas
    - 2730.20 Kg of heavy oil
- Message:** The Cucumber is more demanding cultivation than the Tomato in terms of night temperature levels.
- Additional Note:** Note that an increase of 5 degrees to the desired night temperature cause an increase of 52.27% in heating demands and therefore to the fuel consumption.

Σχήμα 2 Οθόνη της εφαρμογής ΠΕΑΘ

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εκπαιδευτική εφαρμογή που σχεδιάστηκε αποτελεί ένα πρωτότυπο λογισμικού σκοπός του οποίου είναι ο καθορισμός και η τεκμηρίωση του σχεδιαστικού πλαισίου, πάνω στο οποίο στηρίχθηκε η ανάπτυξη της εφαρμογής. Το πρωτότυπο αναπτύχθηκε στην Αγγλική γλώσσα και παρουσιάστηκε στο Computer Based Learning Unit του Πανεπιστήμιου του Leeds ως τμήμα πτυχιακής διατριβής για την απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών. Το λογισμικό αποτελεί ένα συνδυασμό ενός εκπαιδευτικού προγράμματος υλοποιημένου στον παγκόσμιο Ιστό στο γνωστικό αντικείμενο της ΔΜΘ, με μια εφαρμογή προσομοίωσης για την ποσοτική αναπαράσταση των αναγκών σε θέρμανση θερμοκηπιακών καλλιιεργειών στην Ελληνική επικράτεια. Οι Squires και McDougall διακρίνουν δύο σχεδιαστικές προσεγγίσεις εκπαιδευτικού λογισμικού, σε σχέση με τις θεωρίες μάθησης πάνω στις οποίες στηρίζονται οι σχεδιαστικές αρχές: Τη συμπεριφοριστική άποψη η οποία θεωρεί τους χρήστες παθητικούς δέκτες γνώσεων και που ελάχιστα λαμβάνει υπόψη το νοητικό πλαίσιο και τις ιδιαιτερότητες του κάθε χρήστη. Από την άλλη πλευρά υπάρχει η δομητική άποψη η οποία θεωρεί τους χρήστες ενεργούς μετόχους της μαθησιακής διαδικασίας, ικανούς να χαράξουν τα δικές τους μαθησιακές διαδρομές σύμφωνα με τις γνώσεις και τις ανάγκες τους [17].

Η εκπαιδευτική εφαρμογή στο WWW κάνει χρήση των υπερμεσικών δυνατοτήτων αναπαράστασης της πληροφορίας σε συνδυασμό με μια σειρά από εργαλεία και επικοινωνιακές δυνατότητες σε μια προσπάθεια υποστήριξης ενός προσωπικού και δυναμικού μοντέλου μάθησης. Παρόλα αυτά το εκπαιδευτικό υλικό που παρουσιάζεται είναι στατικό στην παρουσίασή του. Από την άποψη αυτή η συγκεκριμένη εφαρμογή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μάλλον συμπεριφοριστική. Από την άλλη πλευρά η εφαρμογή προσομοίωσης παρουσιάζει στο χρήστη μια σειρά από δεδομένα και, ώστε να είναι σε θέση να οικοδομήσει ένα ποιοτικό μοντέλο των εννοιών που παρουσιάζονται. Το γεγονός ότι η εφαρμογή της προσομοίωσης δεν είναι δυνατόν να εκτελείται στο περιβάλλον του Διαδικτύου σε πραγματικό χρόνο, στερεί την εφαρμογή από τη δυνατότητα να χαρακτηριστεί μια πραγματικά δομητική και μαθητοκεντρική. Ο λόγος που δεν επιλέχθηκε η γλώσσα JAVA για την ανάπτυξη της προσομοίωσης σχετίζεται κυρίως με το μέγεθος της εφαρμογής (3,5 MB), γεγονός που καθιστούσε σχεδόν απαγορευτική την λειτουργία της σε πραγματικές συνθήκες κατά το χρόνο ανάπτυξής της (1998).

Επιπλέον θα ήταν χρήσιμη η επέκταση της προσομοίωσης σε άλλους τομείς που σχετίζονται με την ΔΜΘ (αερισμός, δροσισμός, υλικά κάλυψης, διαπνοή) και η δυναμική σύνδεση των παραπάνω παραγόντων, ώστε ο χρήστης να έχει στη διάθεσή του μια δυναμική ολοκληρωμένη προσομοίωση του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Τέλος θα ήταν χρήσιμο ένα γραφικό περιβάλλον αναπαράστασης χειριστηρίων και του χώρου του θερμοκηπίου, καθώς και η δυνατότητα απευθείας σύνδεσης της εφαρμογής με λογιστικά φύλλα ή στατιστικά πακέτα, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία και η γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων. Επιθυμία της ομάδας ανάπτυξης είναι να δημιουργηθεί ένας ενεργός χάρτης της Ελλάδας, όπου θα μπορεί να επιλεγεί η περιοχή στην οποία θα λειτουργήσει η προσομοίωση. Η βάση μετεωρολογικών δεδομένων μπορεί να ανεφοδιάζεται δυναμικά από τους ανά την Ελλάδα σταθμούς του Υπουργείου Γεωργίας.

Η δυνατότητες που θα μπορούσε να προσφέρει μια τέτοια εφαρμογή σε συνδυασμό με δομημένο, σε εκπαιδευτικές εφαρμογές στο WWW, υλικό είναι τεράστιες, καθώς θα μπορούσε να υποστηρίξει τόσο την ενίσχυση πανεπιστημιακών



μαθημάτων, όσο και προγράμματα διαρκούς εκπαίδευσης και κατάρτισης Γεωπόνων και Γεωργικών Μηχανικών. Σαν έμμεσο αποτέλεσμα αναμένεται η εξοικείωση των φοιτητών με τη χρήση του υπολογιστή σαν εργαλείου μάθησης και αναζήτησης πληροφοριών, καθώς και η ανάπτυξη ικανοτήτων τόσο αξιολόγησης και αξιοποίησης των πληροφοριών, όσο και συνεργατικής δράσης. Οι παραπάνω ικανότητες και δεξιότητες αναφέρονται στις βασικές απαιτήσεις της κοινωνίας της πληροφορίας στην οποία θα κληθούν να δραστηριοποιηθούν οι φοιτητές.

#### 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Jong, T. de, Hong, R. de, Vries, F de 1993. Coping with complex environments: the effects of providing overviews and a transparent interface on learning with a computer simulation. *Int. J. Man - Machine Studies*. 39, 621 - 639
2. Van Joolingen. W. R. 1995. QMaPS: Qualitative Reasoning for Simulation Learning Environments. *Jl. Of Artificial Intelligence in Education*. 6(1), 67 - 89
3. Yaverbaum, G. and Liebowitz, J. 1998. Gofigure Inc: A Hypermedia Web-based Case. *Computers & Education*. 30, n.(3/4), 147-156.
4. 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.
5. Reed, J. and Afjeh, A. 1998. Developing interactive educational software for the World Wide Web with Java. *Computers & Education*. 30(3/4), 183-194.
6. Goldberg, M., Salari, S. and Swoboda, P. 1996. World Wide Web - Course Tool: An Environment for Building WWW - Based Courses. <http://homebrew1.cs.ubc.ca/webct/papers/p29/index.htm>
7. Shneiderman, B. 1997. Designing information-abundant web sites: issues and recommendations. *International Journal of Human - Computer Studies*. 47(1), 5-29.
8. Forrester, M. 1995. Indications of Learning Processes in a Hypertext Environment. *Innovations in Education and Training International*. 32( 3), 256-268.
9. Laurilland, D. 1994. Rethinking University Teaching. A framework for the effective use of educational technology. London and New York: Routledge
10. Conklin, J. 1987. Hyperext: An Introduction and Survey. *IEEE Computers* Vol. 20 n.9.
11. Verbyla, J., Ashman, H. 1994. A user-configurable hypermedia-based interface via the functional model of link. *Hypermedia*.6, 3, 193-209.
12. Somers, P., Rudman, C. and Stevens, C. 1997. Designing Web Interfaces for Realtime Collaboration. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Conference on human factors on the Web Denver Colorado*. <http://www.uswect.com/web-conference/proceedings/>
13. Pilkington, R. and Grierson, A. 1996. Generating explanations in a simulation - based learning environment. *Int. J. Human - Computer Studies*. 45, 527-551.
14. <http://www.webct.com>
15. Smith, P. and Pollard, D. 1986. The role of Computer Simulations in Engineering Education. *Computer and Education*. 10(3), 335-340.
16. Kittas, C. 1987. Energy behaviour and location of greenhouses in Greece. *International Journal of Energy Systems*. 7 (2),64-71.
17. Squires, D. and McDougall, A. 1994. Choosing and Using Educational Software: A Teachers' Guide. The Falmer Press. London.

## **ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ**

**Δ. Μητρόπουλος \*, Γ. Κοζής \*, Ε. Μανωλοπούλου \*\* και Γρ.  
Λαμπρινός \***

\* Γ.Π.Α. - Τμήμα Α.Φ.Π.&Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 - 11855, Αθήνα

\*\* ΤΕΙ Καλαμάτας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, 24 100, Αντικάλαμος, Καλαμάτα

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος μέτρησης της αναπνοής των καρπών με κύρια πλεονεκτήματα την ευκολία χειρισμού, την ταχύτητα και αξιοπιστία μέτρησης, το μικρό κόστος του εξοπλισμού και κυρίως τη δυνατότητα εκτίμησης της αναπνοής στον αγρό. Οι καρποί τοποθετούνται μέσα σε αναπνευστικό θάλαμο ο δε αέρας ανακυκλώνεται μεταξύ αναπνευστικού θαλάμου και του μετρητή CO<sub>2</sub>. Η αυξανόμενη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub>, μπορεί να αναγνωσθεί στην οθόνη ή να καταγραφεί και να υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία. Η μέθοδος είναι εξαιρετικά αξιόπιστη σε σχέση με την κλασική μέθοδο του αέριου χρωματογράφου.

## **HARVEST TIME ESTIMATION USING RESPIRATION MEASUREMENT AT FIELD**

**D. Mitropoulos\*, G. Kozis\*, H. Manolopoulou,\*\* G. Lambrinos\***

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

\*\* TEI of Kalamata, Dept. of Crop production  
24100 Antikalamos, Kalamata, Greece

### **ABSTRACT**

In this paper a new method, for respiration measurement, is presented. The proposed method has many advantages such as low cost, easy use, small size and mainly the convenience to measure fruit respiration at the field. Fruits are placed in a respiration chamber and the air is recycled between the chamber and the analyzer. The increased CO<sub>2</sub> concentration, because of the respiration, is recorded, in order to be analyzed. Comparisons between this method for respiration measurement and the classic one (using Gas Chromatography) show that the new one is very reliable and efficient.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κατάλληλο στάδιο συλλογής για τους διάφορους καρπούς μπορεί να ποικίλει. Έτσι για παράδειγμα οι τομάτες, οι κόκκινες πιπεριές, τα καρπούζια και τα πεπόνια συλλέγονται πολύ κοντά στην εμπορική ωριμότητα, ενώ τα μήλα, τα αχλάδια, τα ακτινίδια και άλλα φρούτα συλλέγονται αμέσως μετά το στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας, επιδιώκοντας η πλήρης (εμπορική) ωρίμανσή τους να συμπληρωθεί κατά την συντήρησή.

Τα χρησιμοποιούμενα κριτήρια συλλογής μπορούν να διακριθούν σε:

- α) Κριτήρια εξωτερικής μορφολογίας (μέγεθος, σχήμα, χρώμα επιδερμίδας κλπ).
- β) Μηχανικές ιδιότητες των ιστών (ευκολία αποκοπής, αντίσταση της σάρκας στην πίεση, αντίσταση στη παραμόρφωση κλπ).
- γ) Φυτικοχημικοί χαρακτήρες των ιστών και του χυμού (περιεκτικότητα σε άμυλο, συνολικά οξέα, λόγος σάκχαρα / οξέα, χρώμα σάρκας, χρώμα σπόρων, σχέση σάρκας και φλοιού, δείκτης διάθλασης του χυμού κλπ).
- δ) Φυσιολογικοί χαρακτήρες του φρούτου (καρπική περίοδος, αναπνευστική δραστηριότητα, ρυθμός παραγωγής αιθυλενίου κλπ) [3] [6] [7].

Μέχρι σήμερα τα φυσιολογικά κριτήρια (πλην της καρπικής περιόδου) δεν έχουν στην πράξη σημασία για τον παραγωγό, εφαρμοζόμενα μόνο σε εργαστήρια λόγω του απαιτούμενου ειδικού, πολυδάπανου και δύσκολα μεταφερόμενου εξοπλισμού. Ωστόσο το κριτήριο "Αναπνευστική δραστηριότητα" είναι σημαντικό διότι η πορεία της αναπνευστικής δραστηριότητας ενός καρπού μπορεί να αντικατοπτρίζει την εξέλιξη της ωρίμανσής του.

Ως κύρια κριτήρια εκτίμησης και μελέτης της αναπνευστικής δραστηριότητας, χρησιμοποιούνται τις τελευταίες δεκαετίες ο ρυθμός πρόσληψης οξυγόνου, ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα ή (σπανιότερα) ο ρυθμός έκλυσης θερμικής ενέργειας. Εδώ και δεκαετίες, η κλαστικότερες και ακριβέστερες μέθοδοι προσδιορισμού του ρυθμού πρόσληψης  $O_2$  ή παραγωγής  $CO_2$  είναι αυτές που χρησιμοποιούν οξυγονογράφο ή αέριο χρωματογράφο [1] [2] [4] [5].

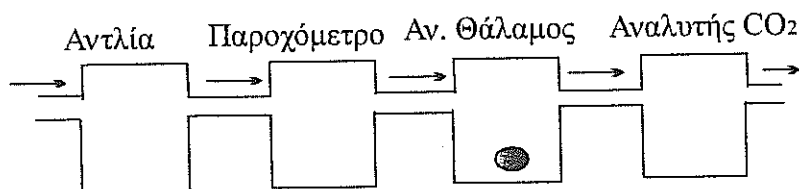
Τα κύρια μειονεκτήματα των προηγούμενων μεθόδων είναι:

- 1) Ο εξοπλισμός είναι ακριβός και βαρύς και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις στον αγρό.
- 2) Όταν κλείνουμε τον καρπό για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. 1 h) μέσα στον αναπνευστικό θάλαμο (όπως πχ στην περίπτωση της αέριας χρωματογραφίας), πιθανόν να έχουμε λόγω της συσσώρευσης  $CO_2$  επίδραση (μείωση) στην αναπνοή, πράγμα που σημαίνει ότι η μέτρηση πιθανώς να μην ανταποκρίνεται απόλυτα στην πραγματική, υποεκτιμώντας την αναπνοή του καρπού.

Με στόχο τον περιορισμό των παραπάνω μειονεκτημάτων επιχειρήθηκε πριν τρία χρόνια να χρησιμοποιηθεί μια νέα μέθοδος εκτίμησης της αναπνευστικής δραστηριότητας (Κοζής, 1998) με κύρια χαρακτηριστικά α) την χρήση φορητού εξοπλισμού χαμηλού κόστους β) την εφαρμογή απλών διαδικασιών μέτρησης και γ) τον άμεσο και γρήγορο προσδιορισμό της αναπνευστικής δραστηριότητας του καρπού.

Βασικό όργανο αυτής της πειραματικής εγκατάστασης (σχήμα 1) ήταν ένας μικρού βάρους (φορητός) IR μετρητής διοξειδίου του άνθρακα με κλίμακα 0-9900 ppm, διακριτική ικανότητα ίση με 50 ppm και ακρίβεια της τάξης  $\pm 2\%$  της πλήρους κλίμακας. Η διάταξη και η μέθοδος αυτή παρόλο ότι εκπληρούσε τους βασικούς στόχους, προσέκρουσε σε θέματα ακριβείας και πιστότητας των αποτελεσμάτων και αυτό διότι το μέγεθος της αναπνευστικής δραστηριότητας και η αβεβαιότητα των

σφαλμάτων μετρήσεων της διάταξης ήταν της ίδιας τάξης. Γιαυτό και επιχειρήθηκε αναδιάταξη της συσκευής και πλήρη αλλαγή της μεθόδου μέτρησης της αναπνευστικής δραστηριότητας των καρπών.

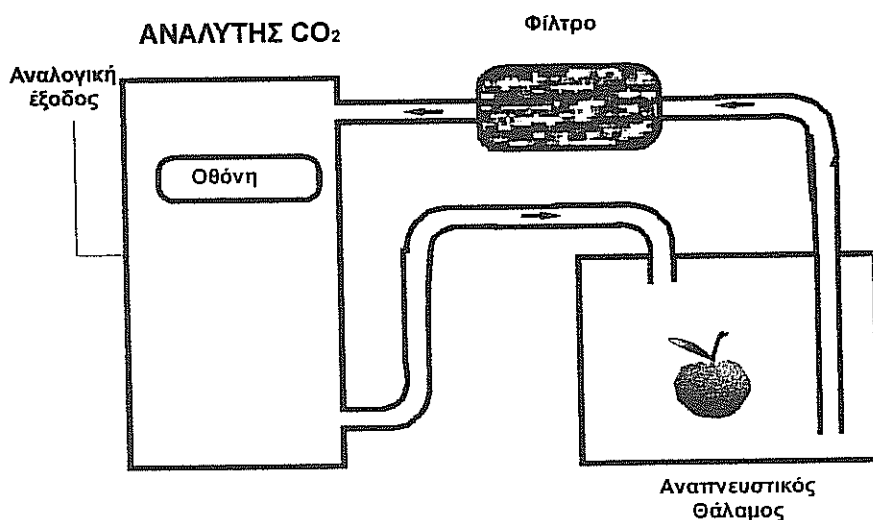


Σχήμα 1. Διάταξη RIKOPEN μέτρησης της αναπνοής με συνεχή ροή αέρα

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### Περιγραφή διάταξης

Η διάταξη που μελετήθηκε στηρίζεται, όπως και η παλαιότερη (Κοζής, 1998) σε ένα φορητό IR μετρητή διοξειδίου του άνθρακα. Ο μετρητής CO<sub>2</sub> είναι συνδεδεμένος σε σειρά με αναπνευστικό θάλαμο έτσι ώστε μαζί με τις σωληνώσεις να αποτελούν ένα κλειστό κύκλωμα (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Διάταξη RIKCLOS μέτρησης αναπνοής με ανακύκλωση του αέρα.

Ο μετρητής διοξειδίου του άνθρακα που χρησιμοποιούμε είναι προϊόν της εταιρείας Riken Keiki, είναι φορητός, μικρών διαστάσεων (230mm χ 190mm χ 113mm) και βάρους (2,4 Kg). Η λειτουργία του στηρίζεται σε ένα IR (απορρόφηση στο υπέρυθρο) ανιχνευτή και η κλίμακα μέτρησης του είναι από 0 έως 5000 ppm. Η διακριτική ικανότητα του οργάνου είναι 25 ppm ενώ η ακρίβεια του  $\pm 2\%$  της πλήρους κλίμακας. Το αποτέλεσμα της μέτρησης εμφανίζεται με ψηφιακή μορφή, το όργανο όμως διαθέτει και αναλογική έξοδο συνεχούς τάσης, οπότε το αποτέλεσμα της μέτρησης μπορεί να εκφράζεται γραμμικά σε κλίμακα 0 - 100 mV.

Το αέριο που πρόκειται να μετρηθεί οδηγείται στον αναλυτή με την βοήθεια ενσωματωμένης αντλίας.

Ο αναπνευστικός θάλαμος μπορεί να είναι πλαστικό ή γυάλινο δοχείο κατάλληλων διαστάσεων, που εξαρτώνται από το μέγεθος και τον αριθμό των καρπών των οποίων η αναπνοή πρόκειται να μετρηθεί, χωρίς να αποκλείεται να είναι και ολόκληρος θάλαμος, αρκεί να είναι στεγανός.

Για τον υπολογισμό του όγκου του κλειστού κυκλώματος γίνεται ακριβής μέτρηση και υπολογισμός των σωληνώσεων και του αναπνευστικού θαλάμου.

#### Διαδικασία μέτρησης και υπολογισμός αναπνοής

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία μέτρησης το όργανο βαθμονομημένο τίθεται σε λειτουργία για λίγο χρόνο (1-2 min) για να προθερμανθεί. Στην συνέχεια τοποθετούμε μέσα στον αναπνευστικό θάλαμο τους καρπούς, των οποίων η αναπνοή πρόκειται να μετρηθεί και σφραγίζουμε το θάλαμο. Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> μέσα στον αναπνευστικό θάλαμο αυξάνει λόγω της αναπνοής και καθώς ο αέρας ανακυκλώνεται, ο μετρητής μετράει αυξανόμενες συγκεντρώσεις. Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης είναι ανάλογος του ρυθμού αναπνοής των καρπών.

Η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με την ακρίβεια και την ευκολία που επιδιώκουμε. Χρόνος 15-20 sec είναι αρκετός για την εξισορρόπηση του συστήματος. Μετά το σφράγισμα του αναπνευστικού θαλάμου καταγράφουμε την αρχική ένδειξη της οθόνης και μετά από χρονικό διάστημα Δt (π.χ. 15 min) καταγράφουμε την τελική ένδειξη. Ο ρυθμός αναπνοής των καρπών δίνεται από την σχέση:

$$q_R = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{m} \times 10^{-4} \quad (1)$$

Όπου: q<sub>R</sub>: ρυθμός αναπνοής σε ml CO<sub>2</sub>/h/100 g καρπού.

ΔC=C<sub>f</sub>-C<sub>i</sub>: Μεταβολή της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>.

V=V<sub>f</sub>-V<sub>i</sub>: Όγκος αέρα κυκλώματος σε ml.

C: Συγκέντρωση CO<sub>2</sub> σε ppm.

t: Χρόνος σε h.

m: Μάζα του καρπού σε g.

i: Αρχική κατάσταση.

f: τελική κατάσταση.

c: κύκλωμα διάταξης.

fr: καρπός.

Το ολικό σφάλμα στην εκτίμηση της αναπνοής εξαρτάται περισσότερο από το σφάλμα μέτρησης του CO<sub>2</sub> και λιγότερο από τα σφάλματα υπολογισμού του όγκου και του χρόνου, χωρίς να παραγνωρίζεται φυσικά και η αναπνευστική δραστηριότητα του φυτικού οργάνου. Η εκτίμηση της αναπνοής με την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, έχει αβεβαιότητα από 3.9% έως 6.3%, είναι πολύ απλή, δεν χρειάζεται επιτήρηση, ενώ οι υπολογισμοί είναι απλούστατοι.

Σε αυτή την περίπτωση το ολικό σφάλμα στην εκτίμηση της αναπνοής περιορίζεται εξαιτίας της εισαγωγής στατιστικής, στον υπολογισμό της κλίσης κ.

Για τον περιορισμό του ολικού σφάλματος στην εκτίμηση του ρυθμού αναπνοής και για την μελέτη της μεταβολής της αναπνοής με το χρόνο, θα πρέπει να καταφύγουμε στην συστηματική καταγραφή μέσω της αναλογικής εξόδου του οργάνου. Η διαδικασία τοποθέτησης των καρπών είναι όπως παραπάνω. Το αναλογικό σήμα καταγράφεται από

ηλεκτρονικό καταγραφικό. Η πυκνότητα καταγραφής μπορεί να ρυθμίζεται ανάλογα με τις δυνατότητες του χρησιμοποιούμενου καταγραφικού και την δραστηριότητα του μετρούμενου φυτικού οργάνου. Η κλίση της ευθείας  $C=f(t)$  υπολογίζεται με την μέθοδο της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων και ο συντελεστής συσχέτισης  $R$  αποτελεί το κριτήριο για την εκτίμηση της αξιοπιστίας του υπολογισμού μας. Ο ρυθμός αναπνοής τελικά υπολογίζεται με την βοήθεια της σχέσης:

$$a = \kappa \times \frac{V}{m} \times 10^{-4} \quad (2)$$

Όπου:  $\kappa$  η κλίση της ευθείας  $C=f(t)$  σε ppm/h.

Σε αυτή την περίπτωση το ολικό σφάλμα στην εκτίμηση της αναπνοής περιορίζεται εξαιτίας της εισαγωγής στατιστικής, στον υπολογισμό της κλίσης  $\kappa$ .

Η διαδικασία είναι εύκολη αφού δεν απαιτείται συνεχής επιτήρηση, η αξιοπιστία αυξάνει γιατί αυξάνει κατά πολύ λόγω του αριθμού των μετρήσεων, χρειάζεται όμως κάποιο κατάλληλο φορητό σύστημα καταγραφικής και υπολογισμού.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μετά την αποπεράτωση της διάταξης, ακολούθησαν δοκιμές και παράλληλες μετρήσεις αναπνοής μήλων τόσο με την παραπάνω περιγραφείσα νέα μέθοδο όσο και με την κλασσική μέθοδο του αέριου χρωματογράφου. Η σύγκριση των δύο μεθόδων έγινε με δύο τρόπους:

Α) Στην πρώτη περίπτωση έγιναν δέκα επαναληπτικές μετρήσεις της αναπνοής μήλων και με τις δύο μεθόδους, θεωρώντας ότι η αναπνοή παραμένει σταθερή στην ίδια θερμοκρασία και η φυσιολογική συμπεριφορά των μήλων πρακτικά δεν αλλάζει σε διάρκεια λίγων ωρών. Μεταβάλλοντας την μάζα των φρούτων, ώστε να μεταβληθεί ο όγκος του αέρα στο κλειστό κύκλωμα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε τρεις περιοχές τιμών του ρυθμού αναπνοής. Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων τα αποτελέσματα εκφράζονται σε ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης (κλίση  $\kappa$ ) στον αναπνευστικό θάλαμο. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 1. Η καταγραφή των τιμών του μετρητή  $CO_2$  έγινε τόσο με ηλεκτρονικό καταγραφικό ( $Rik_{\text{καταγραφικό}}$ ) και πυκνότητα 12 μετρήσεων ανά min, όσο και με ανάγνωση της αρχικής και τελικής ένδειξης της οθόνης ( $Rik_{\text{οθόνη}}$ ), όπως θα μετράγαμε στον αγρό.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, τα αποτελέσματα υπολογισμού της αναπνοής με τις τρεις διαφορετικές διαδικασίες που περιγράφηκαν δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Παρατηρούμε επίσης ότι οι μετρήσεις με τον χρωματογράφο παρουσιάζουν πολύ μικρή τυπική απόκλιση σε σχέση με αυτές που πραγματοποιήθηκαν με την νέα μέθοδο. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού ο χρωματογράφος γενικά αποτελεί όργανο μεγάλης ακριβείας.

Όσο αφορά τους δύο διαφορετικούς τρόπους ( $Rik_{\text{καταγραφικό}}$  και  $Rik_{\text{οθόνη}}$ ) καταγραφής των δεδομένων του μετρητή  $CO_2$ , η ηλεκτρονική καταγραφή φαίνεται να δίνει λίγο καλύτερα αποτελέσματα αφού η τυπική απόκλιση σε αυτή την περίπτωση είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή που προκύπτει από την καταγραφή των ενδείξεων της οθόνης. Βέβαια για μετρήσεις στον αγρό, τυπική απόκλιση της τάξης του 6% είναι αποδεκτή.

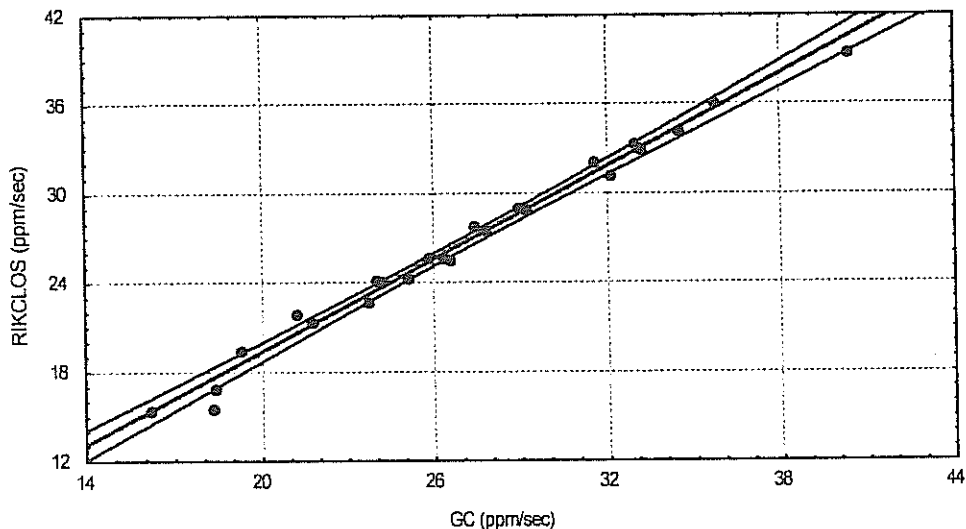
Η επαναληψιμότητα των μετρήσεων αυξάνει καθώς μεγαλώνει ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του  $CO_2$  στον αναπνευστικό θάλαμο. Αυτό συμβαίνει και για τις τρεις διαδικασίες εκτίμησης της αναπνοής και εξηγείται γιατί όσο αυξάνει ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του  $CO_2$  γίνεται εκμετάλλευση της υψηλής περιοχής της κλίμακας μέτρησης των οργάνων με άμεση συνέπεια την μείωση της αβεβαιότητας του σφάλματός των. Με κατάλληλη επιλογή του μεγέθους του αναπνευστικού θαλάμου, σε συνδυασμό με την μάζα του καρπού και την αναπνευστική του δραστηριότητα, η αξιοπιστία των μετρήσεων μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά.

Πίνακας 1. Πειραματικά αποτελέσματα											
Πρώτη Ομάδα φρούτων				Δεύτερη Ομάδα φρούτων				Τρίτη Ομάδα φρούτων			
	Χρωματ.	$Rik_{\text{καταγρ.}}$	$Rik_{\text{οθόνη}}$		Χρωματ.	$Rik_{\text{καταγρ.}}$	$Rik_{\text{οθόνη}}$		Χρωματ.	$Rik_{\text{καταγρ.}}$	$Rik_{\text{οθόνη}}$
Επανάληψη	ppm/min	ppm/min	ppm/min	Επανάληψη	ppm/min	ppm/min	ppm/min	Επανάληψη	ppm/min	ppm/min	ppm/min
1	18.32	17.11	18.75	1	29.49	27.93	30.00	1	44.89	43.93	43.75
2	18.36	18.55	17.50	2	29.48	29.73	30.00	2	44.87	43.55	46.25
3	18.15	17.46	21.25	3	29.51	27.60	27.50	3	44.99	44.99	45.00
4	18.33	17.86	18.75	4	29.17	29.32	28.75	4	44.46	44.75	46.25
5	18.24	18.41	20.00	5	29.17	28.29	28.75	5	45.11	42.77	41.25
6	18.32	17.77	18.75	6	29.48	29.35	31.25	6	45.14	45.09	45.00
7	18.46	18.58	18.75	7	29.06	29.07	28.75	7	44.91	45.44	46.25
8	18.15	17.55	18.75	8	29.21	29.45	31.25	8	44.89	45.52	47.50
9	18.42	17.99	20.00	9	29.18	28.08	28.75	9	45.12	44.07	46.25
10	18.54	18.65	21.25	10	29.11	28.78	30.00	10	44.68	45.70	45.00
<b>MD</b>	18.3	18.0	19.4	<b>MD</b>	29.3	28.8	29.5	<b>MD</b>	44.9	44.6	45.3
<b>TA</b>	0.1	0.5	1.2	<b>TA</b>	0.2	0.7	1.2	<b>TA</b>	0.2	1.0	1.7
<b>TA %</b>	0.7	3.0	6.3	<b>TA %</b>	0.6	2.6	4.1	<b>%</b>	0.5	2.2	3.9

Β) Έγιναν 25 μετρήσεις αναπνευστικής δραστηριότητας μήλων με την μέθοδο του αέριου χρωματογράφου και με την νέα μέθοδο (ηλεκτρονική καταγραφή) που κάλυπταν ένα εύρος μεταβολής συγκέντρωσης του  $CO_2$ , στον αναπνευστικό θάλαμο, από 15 έως 40 ppm/sec.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4 υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση ( $R^2=0,99$ ) ανάμεσα στις δύο μεθόδους. Από την εξίσωση της συσχέτισης φαίνεται ότι η νέα μέθοδος δίνει λίγο μεγαλύτερες τιμές, κατά 4% περίπου, σε σχέση με τον αέριο χρωματογράφο.

$$(RIKCLOS)=-1.482+1.041*(GC)$$



Σχήμα 3. Συσχέτιση μετρήσεων με αέριο χρωματογράφο (GC) και την νέα μέθοδο (RIKCLOS). Όρια εμπιστοσύνης 99%.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την προτεινόμενη μέθοδο επιτυγχάνεται ταχεία μέτρηση της αναπνευστικής δραστηριότητας ενώ η διάταξη αποτελείται από φθινό και ελαφρύ εξοπλισμό που μπορεί εύκολα να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί στον αγρό.

Η μέτρηση της αναπνοής γίνεται εντός μικρού χρονικού διαστήματος ώστε να μην επηρεάζεται η αναπνευστική δραστηριότητα του μετρούμενου φυτικού οργάνου.

Η εκτίμηση της αναπνοής με αβεβαιότητα της τάξης 4-6%, όταν χρησιμοποιείται μόνο η οπτική ένδειξη του αναλυτή, είναι λίαν ικανοποιητική για φορητό όργανο, βελτιώνεται δε στο 2-3% με αυτόματη καταγραφή. Με κατάλληλη επιλογή της περιοχής της κλίμακας μέτρησης των χρησιμοποιούμενων οργάνων η αξιοπιστία των μετρήσεων μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω.

Το γεγονός ότι η νέα διάταξη και μέθοδος ελέγχθηκε με βάση ένα καρπό, το μήλο χαμηλής αναπνευστικής δραστηριότητας, προδικάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία μετρήσεων για φυτικά όργανα με μεγαλύτερους ρυθμούς αναπνοής.

Οι δυνατότητες και πιθανές εφαρμογές της προτεινόμενης μεθόδου διευρύνονται με την προσθήκη κατάλληλης διάταξης αυτοματισμού που κάνει πια δυνατή τη συνεχή μέτρηση και καταγραφή της αναπνοής για μεγάλα χρονικά διαστήματα.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Dilley, D. R., Dewey D. H., Dedolph R. R. 1969. Automated system determining the respiratory gas exchange of plant materials. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 94, 138-141.
2. Forcier F., Raghavan G. S. V. and Garipey V. 1987. Electronic sensor for the determination of fruit and vegetable respiration. *Rev. Int. Froid*. 10, 353-356.
3. Kader A. A. et al. 1985. Postharvest technology of horticultural crops. University of California, 3-11 & 118-121.
4. Κοζής Γ. 1998. Απλή και ταχεία μέθοδος μέτρησης του ρυθμού αναπνοής των οπωρολαχανικών η οποία ανάγει την αναπνευστική δραστηριότητα σε ουσιαστικό κριτήριο σύλλογής. Πτυχιακή μελέτη. ΓΠΑ.
5. Langoworthy C. F. and Milner R. D. 1912. Some results obtained in studying ripening bananas with the respiration calorimeter. U. S. Dept. Agr. Yearbook. 293-308.
6. Manolopoulou H. – Lambrinou et al. Minimal processing of fruit and vegetables. *Inst. Techn. Agroalimentario (ΑΙΝΙΑ)* 28-52.
7. Σφακιωτάκης Ε. Μ. 1985. Μετασυλλεκτική φυσιολογία και τεχνολογία νοπών οπωροκηπευτικών προϊόντων. Εκδ. τυρομαν. Θεσσαλονίκη.

# **ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΜΗΛΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ DELICIOUS PILAFΑ ΚΑΙ GRANNY SMITH ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ**

**Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός**  
Γ.Π.Α. - Τμήμα Α.Φ.Π.&Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 - 11855, Αθήνα

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της αφυδάτωσης μήλων των ποικιλιών Delicious Pilafa και Granny Smith τα οποία συντηρήθηκαν σε παραδοσιακή (κοινή) αποθήκη. Η μελέτη καλύπτει το τρίμηνο Οκτωβρίου Ιανουαρίου των περιόδων 1998-99 και 1999-2000. Εξετάστηκαν δυο τύποι συσκευασίας (γυμνά φρούτα και συσκευασμένα με χαρτί) και έγινε σύγκριση με φρούτα που συντηρήθηκαν στους 0 και 8 ή 10 °C. Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών και των συνθηκών αποθήκευσης ενώ η συνήθης συσκευασία με χαρτί δεν έδειξε κάποια ουσιώδη διαφοροποίηση.

## **DEHYDRATION OF DELICIOUS PILAFΑ AND GRANNY SMITH APPLES UNDER WAREHOUSE CONDITIONS**

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

## **ABSTRACT**

The aim of this study is the dehydration behaviour investigation of Delicious Pilafa and Granny Smith apples during storage in traditional warehouse. The study refers to the period between October and January of the years 1999 and 2000. Dehydration comparisons of packaged or unpackaged fruits among warehouse and cooling room at 0 °C and 8 or 10 °C were conducted. Significant differences between varieties as well as storage conditions were observed. However, traditional packaging with paper sheets had no important effect on dehydration.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εμφάνιση ενός μήλου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος, το σχήμα, το χρώμα της επιδερμίδας και η λαμπρότητα. Για τα συντηρούμενα φρούτα η περίοδος που μεσολαβεί μεταξύ συλλογής και κατανάλωσης μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην εξωτερική εμφάνιση του μήλου. Η θερμοκρασία, η υγρασία, ο ρυθμός ανακύκλωσης του αέρα και η σύσταση των αερίων της ατμόσφαιρας του χώρου αποθήκευσης είναι οι κυριότεροι εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των συντηρούμενων προϊόντων.

Γιαυτό συνήθως γίνεται προσπάθεια ελέγχου και ρύθμισης των βασικών αυτών παραγόντων του περιβάλλοντος, ώστε η μακρά συντήρηση να είναι επιτυχής [1]. Ο συστηματικός έλεγχος των συνθηκών αποθήκευσης απαιτεί εγκαταστάσεις μεγάλου κόστους καθώς και σημαντικά λειτουργικά έξοδα, που τελικά επιβαρύνουν τον παραγωγό. Εναλλακτικά, σε κάποιες ημιορεινές (σχετικά ψυχρές) περιοχές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν παραδοσιακές αποθήκες για την αποθήκευση φρούτων που συλλέγονται αργά το φθινόπωρο, με στόχο την μείωση του κόστους. Όμως σ' αυτή την περίπτωση, οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας δεν μπορούν να ρυθμιστούν αλλά μόνο να τροποποιηθούν και βελτιωθούν με την χρήση ενός απλού συστήματος αερισμού μικρού κόστους. Κύρια χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που δημιουργείται είναι η έντονη διακύμανση της θερμοκρασίας και υγρασίας τόσο σε 24ωρη όσο και σε εποχιακή βάση.

Αυτές οι συνθήκες ευνοούν την αφυδάτωση των αποθηκευμένων προϊόντων, η οποία πέρα των περιβαλλοντικών συνθηκών εξαρτάται και από την ποικιλία καθώς και το στάδιο ωριμότητας των φρούτων. Η αφυδάτωση οδηγεί τα φρούτα όχι μόνο σε μάρανση αλλά και σε απώλεια της λαμπρότητας της επιδερμίδας η οποία οφείλεται στη μείωση της σπαργής των επιφανειακών κυττάρων. Όταν οι απώλειες μάζας υπερβαίνουν κάποιο ποσοστό, π.χ. το 5% [2], θεωρείται ότι η εμφάνιση και κατ' επέκταση η ποιότητα του μήλου έχει υποβαθμιστεί τόσο ώστε δύσκολα να γίνεται πλέον αποδεκτό από τον καταναλωτή.

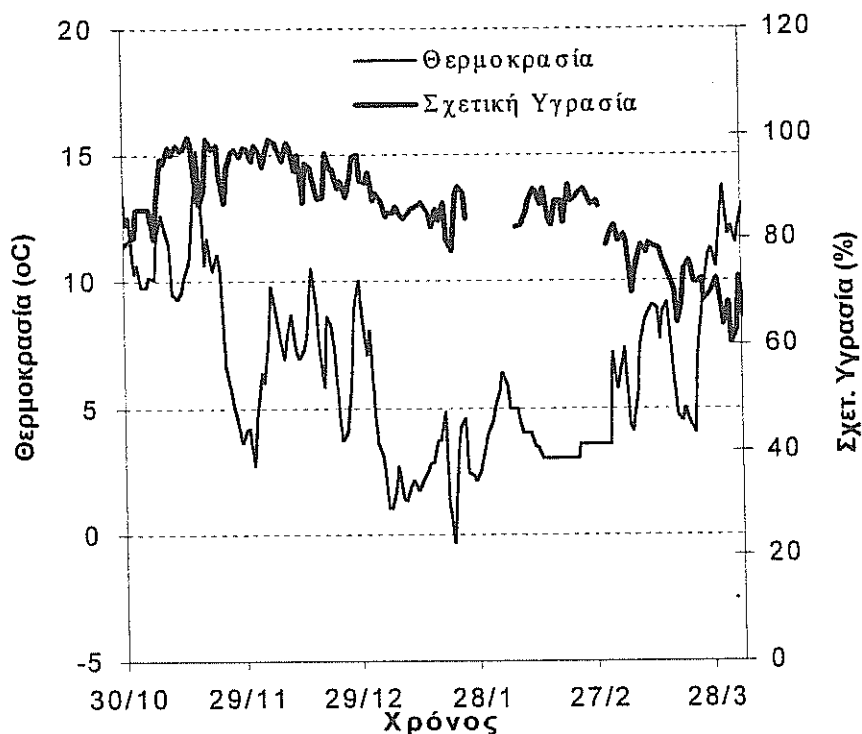
Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της αφυδάτωσης των μήλων ποικιλιών Delicious Pírafa και Granny-Smith τα οποία συντηρήθηκαν κατά βάση σε παραδοσιακή (κοινή) αποθήκη αλλά και σε χώρους με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (ψυκτικούς θαλάμους) και ο εντοπισμός των παραγόντων που την επηρεάζουν.

## ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ

Η μελέτη αναφέρεται σε μήλα δύο καλλιεργητικών περιόδων, που συγκομίστηκαν το Φθινόπωρο του 1998 και του 1999. Η χρονική διάρκεια κάθε περιόδου συντήρησης σε αποθήκη ήταν περίπου ένα τρίμηνο για την πρώτη χρονιά και ένα πεντάμηνο για την δεύτερη.

Χρησιμοποιήθηκε μια παραδοσιακή (κοινή) αποθήκη που βρίσκεται μέσα στον μηλεώνα στο Δ.Δ. Καμαρίου του Δήμου Τεγέας κοντά στην Τρίπολη. Το κλίμα της περιοχής είναι το τυπικό κλίμα της περιοχής Τριπόλεως δηλαδή αρκετά ψυχρό και γιαυτό υπάρχουν βάσιμες ελπίδες ότι τα μήλα μπορούν να συντηρηθούν σε αποθήκη για κάποιο λογικό διάστημα. Η αποθήκη είναι μικρών διαστάσεων (4,70m χ 3,10m χ 2,30m), παλαιάς κατασκευής, χτισμένη με τσιμεντόλιθους χωρίς εσωτερικό και εξωτερικό επίχρισμα. Πριν τοποθετηθούν τα μήλα ελήφθησαν όλα τα απαραίτητα μέτρα ώστε ο χώρος να είναι σχετικά στεγανός και προστατευμένος από τρωκτικά.

Τοποθετήθηκε επίσης ένα απλό σύστημα εξαερισμού, με παροχή αέρα 350 m<sup>3</sup>/h, το οποίο ελεγχόταν με την βοήθεια χρονοδιακόπτη. Κατά την διάρκεια των πρωϊνών ωρών (00:00 έως 06:00) ο ανεμιστήρας ετίθετο σε λειτουργία και εισήγαγε ψυχρό αέρα στον χώρο. Φορητός ηλεκτρονικός μετρητής / καταγραφέας Hobo χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο των συνθηκών, οι οποίες κυμάνθηκαν μεταξύ 0 και 15 °C η θερμοκρασία και μεταξύ 70% και 99% η σχετική υγρασία (σχήμα 1).



Σχήμα 1. Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας στην αποθήκη (2<sup>ος</sup> χρόνος)

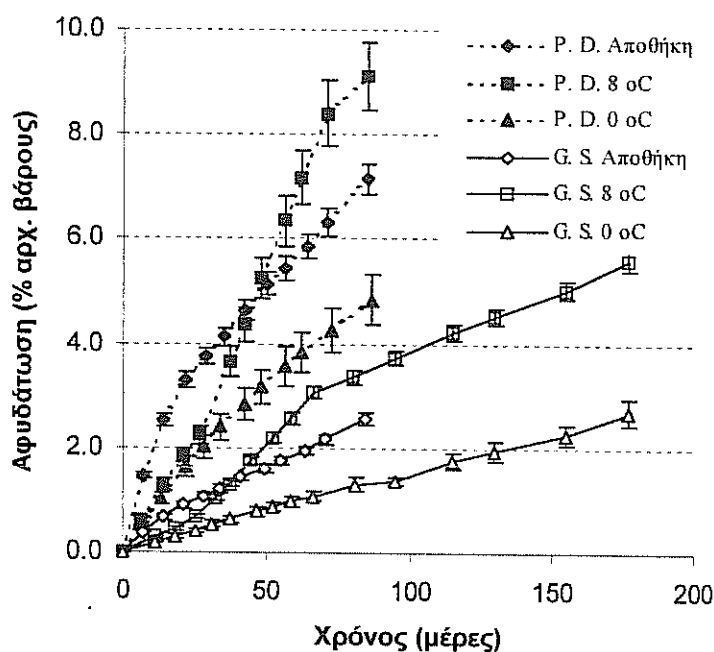
Ίδια φρούτα αποθηκεύτηκαν σε θαλάμους, με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, στους εργαστηριακούς χώρους του εργαστηρίου γεωργικής μηχανολογίας του τμήματος ΑΦΠ&ΓΜ του ΓΠΑ. Κατά τον πρώτο χρόνο της μελέτης τα φρούτα συντηρήθηκαν σε δύο θαλάμους με θερμοκρασία 0 °C και 8 °C και σχετική υγρασία 90% και 80% αντίστοιχα, ενώ τον δεύτερο χρόνο οι συνθήκες ήταν θ=0 °C και RH=90% για τον ένα θάλαμο και θ=10 °C και RH=85% για τον άλλο.

Δημιουργήθηκαν ομάδες των δέκα (την πρώτη χρονιά) και των είκοσι (την δεύτερη χρονιά) μήλων των ποικιλιών Delicious Pifafa και Granny-Smith από αγρό της περιοχής όπου βρίσκεται και η αποθήκη. Τα φρούτα χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα ήταν γυμνά σε μονόσειρα τελάρα, ενώ στην δεύτερη συσκευάστηκαν με τον συνήθη εμπορικό τρόπο, δηλαδή με εσωτερική επένδυση του τελάρου με φύλλα χαρτιού (χασαπόχαρτου). Αναφορικά με τις συνθήκες συντήρησης χρησιμοποιήθηκαν τρεις χειρισμοί αποθήκη, ψυκτικός θάλαμος 0 °C και ψυκτικός θάλαμος 8 °C (1<sup>η</sup> χρονιά) ή 10 °C (2<sup>η</sup> χρονιά). Από τον τελευταίο χειρισμό προκύπτει ένας δεύτερος μάρτυρας σε σταθερές συνθήκες συντήρησης που αντιστοιχούν στις μέσες

βαρυκεντρικές της αποθήκης όπως προέκυψαν από καταγραφές των προηγούμενων περιόδων. Κατά την συγκομιδή των μήλων και την παρασκευή των δειγμάτων έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν ομοιόμορφα φρούτα τόσο από άποψη μεγέθους όσο και από άποψη γενικότερης εμφάνισης και ηλικίας. Στην συνέχεια έγινε σήμανση και ζύγιση των μήλων. Η απώλεια μάζας εκτιμήθηκε μετά από ζυγίσεις των μήλων στον χώρο αποθήκευσης σε τακτά (κάθε εβδομάδα) χρονικά διαστήματα.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον πίνακα 1 εμφανίζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα απωλειών μάζας για τα μήλα Pilafa Delicious, ενώ στον πίνακα 2 τα αποτελέσματα για τα μήλα Granny-Smith. Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα που αφορούν τα γυμνά (μη συσκευασμένα με χαρτί) μήλα και των δύο ποικιλιών για την πρώτη πειραματική περίοδο.



Σχήμα 2. Αφυδάτωση των μήλων Delicious Pilafa και Granny Smith

Οι τυπικές αποκλίσεις (ΤΑ) κυμαίνονται από 2% έως 8% της μέσης τιμής. Τα μήλα Granny-Smith παρουσιάζουν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερες απώλειες μάζας από τα Delicious Pilafa που συντηρούνται στις ίδιες συνθήκες. Όπως προκύπτει από τους πίνακες 1 και 2, ο μέσος ρυθμός αφυδάτωσης των μήλων Granny-Smith είναι 3-4 φορές μικρότερος από αυτόν των μήλων Delicious Pilafa, γεγονός που δικαιολογείται από τη διαφορά μεγέθους και πυκνότητας των φακιδίων στην επιδερμίδα των μήλων των δυο ποικιλιών [3] όπως και από την ύπαρξη σημαντικά περισσότερων κηρωδών ουσιών στα μήλα Granny Smith.

Πίνακας 1. Απώλειες μάζας (% αρχικού βάρους) των μήλων Delicious Ρίλαφα.  
Ο χρόνος έχει μετρηθεί σε μέρες αποθήκευσης.

Αποθήκη									
Πρώτος Χρόνος					Δεύτερος Χρόνος				
Χρόνος	Γηινά		Συσκευασμένα		Χρόνος	Γηινά		Συσκευασμένα	
	Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ		Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
7	1.5	0.1	1.3	0.1	13	2.7	0.3	2.4	0.2
14	2.5	0.1	2.3	0.1	20	3.3	0.3	3.0	0.2
22	3.3	0.1	3.0	0.1	27	3.9	0.3	3.8	0.3
29	3.8	0.2	3.5	0.2	33	4.4	0.4	4.4	0.4
35	4.1	0.2	3.9	0.2	48	5.0	0.4	4.8	0.3
42	4.6	0.2	4.3	0.2	61	5.8	0.5	5.5	0.4
50	5.1	0.2	4.7	0.2	83	7.0	0.6	6.6	0.5
56	5.4	0.2	5.0	0.2	104	8.0	0.6	7.6	0.6
64	5.9	0.2	5.4	0.2	127	9.2	0.7	8.5	0.6
71	6.3	0.3	5.8	0.3	149	11.0	0.9	10.4	0.7
85	7.1	0.3	6.4	0.3					

Ψυκτικός Θάλαμος									
Πρώτος Χρόνος 8 °C					Δεύτερος Χρόνος 10 °C				
Χρόνος	Γηινά		Συσκευασμένα		Χρόνος	Γηινά		Συσκευασμένα	
	Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ		Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.6	0.1	0.8	0.1	7	0.9	0.1	1.0	0.1
14	1.3	0.1	1.6	0.1	14	1.8	0.1	1.9	0.2
21	1.8	0.2	2.2	0.1	29	3.6	0.2	3.6	0.2
27	2.2	0.2	2.7	0.1	36	4.4	0.2	4.4	0.3
37	3.7	0.3	4.1	0.2	43	5.2	0.3	5.1	0.3
42	4.3	0.3	4.9	0.3	50	5.8	0.3	5.8	0.4
48	5.2	0.4	5.8	0.3	56	6.4	0.3	6.4	0.4
56	6.4	0.5	7.0	0.4	71	7.8	0.4	7.9	0.5
62	7.2	0.5	7.9	0.4	77	8.6	0.4	8.6	0.5
71	8.4	0.6	9.2	0.5	91	10.5	0.5	10.1	0.5
85	9.1	0.7	10.0	0.5	105	12.2	0.6	11.7	0.6
					118	13.3	0.7	12.8	0.6
					135	15.1	0.7	14.3	0.7

Ψυκτικός Θάλαμος 0 °C									
Πρώτος Χρόνος					Δεύτερος Χρόνος				
Χρόνος	Γηινά		Συσκευασμένα		Χρόνος	Γηινά		Συσκευασμένα	
	Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ		Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ
0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.6	0.1	0.8	0.1	8	0.7	0.0	0.7	0.0
13	1.0	0.1	1.3	0.1	15	1.3	0.1	1.4	0.0
22	1.6	0.2	2.0	0.2	30	2.5	0.1	2.7	0.1
28	2.0	0.2	2.4	0.2	37	3.0	0.1	3.3	0.1
34	2.4	0.3	2.9	0.2	44	3.5	0.1	3.9	0.1
42	2.8	0.3	3.4	0.3	51	3.9	0.1	4.4	0.1
48	3.2	0.3	3.8	0.3	57	4.4	0.2	4.8	0.1
56	3.6	0.4	4.3	0.3	72	5.1	0.2	5.7	0.1
62	3.8	0.4	4.6	0.4	86	5.8	0.2	6.3	0.1
72	4.3	0.4	5.1	0.4	99	6.5	0.2	6.9	0.1
86	4.8	0.5	5.8	0.4	113	7.1	0.2	7.6	0.1
					127	7.8	0.3	8.3	0.2
					140	8.4	0.3	9.0	0.2
					157	9.1	0.3	9.8	0.2
					172	9.8	0.3	10.4	0.2

Πίνακας 2. Απώλειες μάζας (% αρχικού βάρους) των μήλων Granny-Smith.  
Ο χρόνος έχει μετρηθεί σε μέρες αποθήκευσης.

Αποθήκη									
Πρώτος Χρόνος					Δεύτερος Χρόνος				
Χρόνος	Γυμνά		Συσκευασμένα		Χρόνος	Γυμνά		Συσκευασμένα	
	Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ		Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.4	0.0	0.4	0.0	8	0.3	0.0	0.3	0.0
14	0.7	0.0	0.6	0.0	15	0.5	0.0	0.5	0.0
21	0.9	0.1	0.9	0.0	22	0.7	0.1	0.8	0.1
28	1.1	0.1	1.1	0.1	28	0.8	0.1	0.9	0.1
34	1.2	0.1	1.2	0.1	43	1.1	0.1	1.2	0.1
41	1.4	0.1	1.4	0.1	56	1.3	0.1	1.5	0.1
49	1.6	0.1	1.5	0.1	78	1.7	0.1	1.9	0.1
55	1.8	0.1	1.7	0.1	99	2.0	0.1	2.2	0.1
63	2.0	0.1	1.8	0.1	122	2.4	0.2	2.7	0.1
70	2.2	0.1	2.0	0.1	144	2.9	0.2	3.3	0.2
84	2.6	0.1	2.4	0.2					

Ψυκτικός Θάλαμος									
Πρώτος Χρόνος 8 °C					Δεύτερος Χρόνος 10 °C				
Χρόνος	Γυμνά		Συσκευασμένα		Χρόνος	Γυμνά		Συσκευασμένα	
	Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ		Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ
0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.3	0.0	0.3	0.0	8	0.3	0.0	0.3	0.0
18	0.5	0.0	0.5	0.0	17	0.6	0.1	0.6	0.0
25	0.7	0.0	0.7	0.0	23	0.9	0.1	0.8	0.1
32	1.0	0.0	1.1	0.1	30	1.2	0.1	1.1	0.1
37	1.3	0.1	1.4	0.1	37	1.5	0.1	1.4	0.1
44	1.8	0.1	1.8	0.1	44	1.8	0.1	1.8	0.1
52	2.2	0.1	2.3	0.1	51	2.1	0.2	2.1	0.2
58	2.6	0.1	2.7	0.1	66	2.8	0.2	2.8	0.2
66	3.1	0.1	3.2	0.1	72	3.2	0.2	3.2	0.2
80	3.4	0.1	3.6	0.2	86	4.1	0.3	4.1	0.3
95	3.7	0.1	4.0	0.2	101	5.0	0.3	5.1	0.3
115	4.2	0.2	4.5	0.2	113	5.6	0.3	5.7	0.4
130	4.5	0.2	4.9	0.2	130	6.3	0.3	6.5	0.4
155	5.0	0.2	5.5	0.2					
177	5.6	0.2	6.1	0.2					

Ψυκτικός Θάλαμος 0 °C									
Πρώτος Χρόνος					Δεύτερος Χρόνος				
Χρόνος	Γυμνά		Συσκευασμένα		Χρόνος	Γυμνά		Συσκευασμένα	
	Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ		Μ.Ο.	ΤΑ	Μ.Ο.	ΤΑ
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.2	0.0	0.2	0.0	8	0.2	0.0	0.2	0.0
18	0.3	0.0	0.3	0.0	17	0.5	0.1	0.3	0.0
25	0.4	0.0	0.4	0.0	23	0.7	0.1	0.5	0.1
31	0.5	0.1	0.5	0.0	30	0.9	0.1	0.7	0.1
37	0.6	0.1	0.6	0.0	37	1.1	0.1	0.9	0.1
46	0.8	0.1	0.7	0.0	51	1.5	0.2	1.1	0.1
52	0.9	0.1	0.8	0.0	66	1.8	0.2	1.5	0.1
58	1.0	0.1	0.9	0.0	80	2.1	0.2	1.7	0.2
66	1.1	0.1	1.0	0.1	93	2.4	0.2	2.0	0.2
81	1.3	0.1	1.2	0.1	107	2.7	0.3	2.2	0.2
95	1.4	0.1	1.4	0.1	121	3.0	0.3	2.7	0.3
115	1.8	0.2	1.7	0.1	134	3.3	0.3	2.8	0.2
130	2.0	0.2	1.9	0.1	151	3.6	0.4	3.1	0.2
155	2.3	0.2	2.2	0.1	166	3.8	0.4	3.4	0.3
177	2.7	0.2	2.6	0.1					

Σε όλες τις περιπτώσεις και για τις δυο ποικιλίες, η αφυδάτωση για συνθήκες αποθήκευσης 8 ή 10 °C είναι εντονότερη από αυτήν στην αποθήκη ή στους 0 °C. Μετά από χρονικό διάστημα 60 ημερών οι διαφορές μεταξύ αποθήκης και θαλάμου 8 ή 10 °C γίνονται στατιστικά σημαντικές. Στα μήλα Granny-Smith αυτές οι διαφορές εμφανίζονται λίγο νωρίτερα. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη ποικιλία συγκομίζεται αργότερα και ως εκ τούτου αντιμετωπίζει ευνοϊκότερο (ψυχρότερο και υγρότερο) περιβάλλον στην αποθήκη όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.

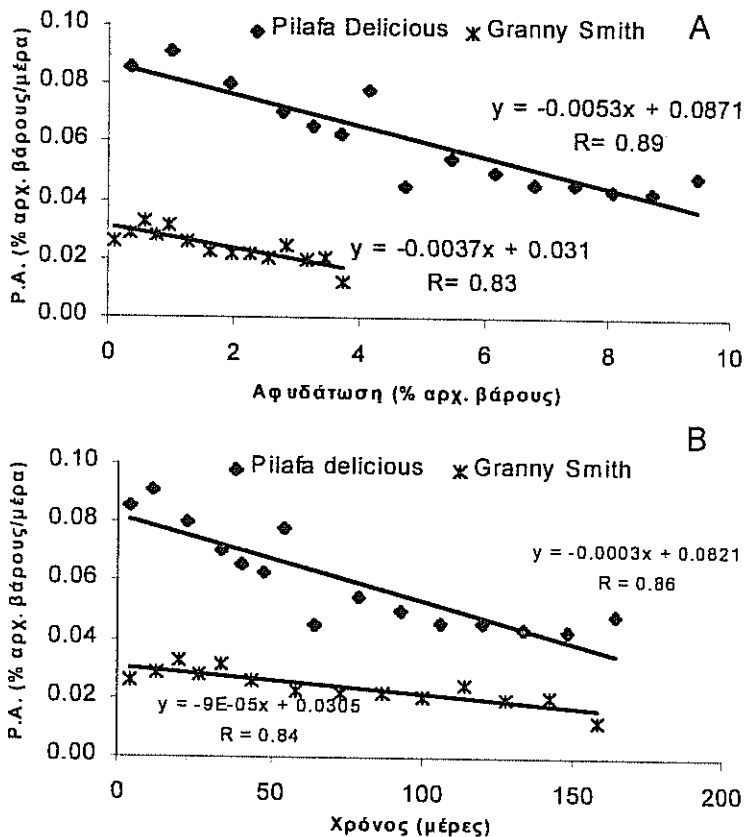
Όσο αφορά την σύγκριση των απωλειών υγρασίας μεταξύ θαλάμων θερμοκρασίας 0 °C και αποθήκης μπορούμε να πούμε ότι παρουσιάζονται σημαντικές στατιστικά διαφορές την πρώτη χρονιά. Την δεύτερη χρονιά, η αφυδάτωση στα μήλα της αποθήκης παραμένει υψηλότερη, χωρίς όμως να εμφανίζονται παντού στατιστικά σημαντικές διαφορές, σε μια μάλιστα περίπτωση (Granny-Smith χωρίς συσκευασία) η αποθήκη δείχνει καλύτερα αποτελέσματα. Αυτή η συμπεριφορά πιθανόν να οφείλεται σε διαφορές υγρασίας στο χώρο της αποθήκης ανάμεσα στις δυο πειραματικές χρονιές. Μικρές διαφορές και ως επί το πλείστον ασήμαντες, παρατηρούνται στην απώλεια μάζας μεταξύ συσκευασμένων και γυμνών μήλων, γεγονός που υποδηλώνει την μικρή αποτελεσματικότητα του τύπου αυτού συσκευασίας στην μείωση της αφυδάτωσης. Κατά πάσα πιθανότητα, όταν η σχετική υγρασία του αποθηκευτικού χώρου μειώνεται κάτω από 90% το συγκεκριμένο χαρτί συσκευασίας απορροφά υγρασία από τους καρπούς.

Προκειμένου να οδηγηθούμε σε κάποια συσχέτιση που θα γενικεύει περισσότερο την μεταβολή των απωλειών υγρασίας προσπαθήσαμε, με βάση τα αποτελέσματα μας από μήλα που συντηρήθηκαν σε ψυκτικούς θαλάμους σταθερών θερμοϋγρομετρικών συνθηκών ( $\Theta=0$  °C, RH=90%), να συσχετίσουμε τον ρυθμό αφυδάτωσης για κάθε ποικιλία με το χρόνο και την εξ αυτού εξαρτώμενη συνολική αφυδάτωση. Έτσι καταλήξαμε στις καμπύλες του σχήματος 3, όπου παρατηρούμε ότι η μεταβολή του ρυθμού αφυδάτωσης με το αντίστοιχο (χρονικά) ποσοστό αφυδάτωσης του μήλου είναι γραμμικής μορφής. Ο ρυθμός αυτός μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού συνολικής αφυδάτωσης (άρα με το χρόνο συντήρησης), οι καμπύλες δε για τις δυο μελετηθείσες ποικιλίες (Delicious Pilafa και Granny Smith) είναι τελείως διαφορετικές, όπως άλλωστε αναμενόταν, λόγω της διαφορετικής επιδερμικής δομής των δυο αυτών ποικιλιών. Μια συστηματική τέτοια επεξεργασία στοιχείων από πολλές και διαφορετικές θερμοϋγρομετρικές συνθήκες συντήρησης μπορεί να οδηγήσει στο μέλλον σε μια σχέση με δυο εξαρτημένες μεταβλητές, το χρόνο και το έλλειμμα υγρασίας, η οποία θα ήταν πιο γενική και πολύ πιο χρήσιμη για τις καθημερινές εφαρμογές συντήρησης μήλων.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα μήλα Granny Smith, όπως αναμενόταν, παρουσίασαν μικρότερη αφυδάτωση από τα Pilafa Delicious και οπωσδήποτε μπορεί ευκολότερα να συντηρηθούν σε χώρους με χαμηλή υγρασία.





Σχήμα 3. Μεταβολή του ρυθμού αφυδάτωσης (P.A.) με την συνολική αφυδάτωση και με το χρόνο αποθήκευσης.

Οι συνθήκες της αποθήκης ευνοούν μικρότερη αφυδάτωση των μήλων σε σχέση με θαλάμους 8 ή 10 °C και RH=85 έως 90%. Φαίνεται επίσης ότι η αφυδάτωση στην αποθήκη είναι μεγαλύτερη από αυτή σε θαλάμους 0 °C και RH=90%. Οι πρώτες εκτιμήσεις πάντως είναι ότι για τουλάχιστον δύο μήνες τα μήλα παραμένουν σε πολύ καλή κατάσταση.

Η συνήθης εμπορική συσκευασία με φύλλα χαρτιού δεν έχει αποτέλεσμα όσο αφορά την προστασία από την αφυδάτωση των φρούτων.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Haffner K.. 1990 Transpiration of apples after harvest. *Gartenbauwissenschaft*. 55 (1) 13-20.
2. Gorini F. L., Sozzi A., Rosati P. and Faedi W.. 1979. Weight losses of standard and spur clones of Golden Delicious apples during storage. *Proc. of XVth Int. Congress of Refrigeration*. Venice. Vol. III 799-806.
3. Λαμπρινός Γ. και Μανωλοπούλου Ε.. 1995. Αφυδάτωση των μήλων κατά την αποθήκευση με έμφαση στα μήλα Pilafa Delicious. *Πρακτικά 5<sup>ο</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Τροφίμων*. Αθήνα. 322-328.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA ΚΑΙ GRANNY SMITH ΠΟΥ ΣΥΝΤΗΡΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΑΠΟΘΗΚΗ

Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός  
Γ.Π.Α. - Τμήμα Α.Φ.Π.&Γ.Μ., Ιερά Οδός 75 - 11855, Αθήνα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της μεταβολής του χρώματος μήλων των ποικιλιών Pilafa Delicious και Granny Smith που συντηρήθηκαν σε παραδοσιακή αποθήκη. Η μελέτη καλύπτει το τρίμηνο Οκτωβρίου-Ιανουαρίου των περιόδων 1998-99 και 1999-2000. Χρησιμοποιήθηκε το χρωματομετρικό σύστημα  $L^*a^*b^*$ , οι συγκρίσεις δε έγιναν με φρούτα που συντηρήθηκαν στους 0 °C και 8 ή 10 °C. Παρατηρήθηκαν διαφορές στο χρώμα ανάλογα με τις συνθήκες συντήρησης, ενώ φαίνεται ότι οι τρεις παράγοντες  $L$ ,  $a^*$  και  $b^*$  δεν είναι εξίσου αποτελεσματικοί για την μελέτη της εξέλιξης του χρώματος, ιδίως όταν πρόκειται για έγχρωμες ποικιλίες.

## COLOR CHANGES OF DELICIOUS PILAFA AND GRANNY SMITH APPLES UNDER WAREHOUSE CONDITIONS

D. Mitropoulos G. Lambrinos  
Agronomic University of Athens, Dept. of Agricultural Engineering  
75, Iera Odos street – 11855 Greece

## ABSTRACT

The aim of this study is the color change investigation of Delicious Pilafa and Granny Smith apples during storage in common warehouse. The study refers to the period between October and January of the years 1999 and 2000.  $L^*a^*b^*$  color system was used. Comparisons of fruit color changes among warehouse and cooling rooms at 0 °C and 8 or 10 °C were conducted. Some significant color differences among various storage conditions were observed. Moreover,  $L$ ,  $a^*$  and  $b^*$  factors do not seem to be equally efficient for the color change research of apple during storage, especially in the case of color cultivars.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χρώμα και γενικότερα η εμφάνιση των φρούτων είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εμπορική αξία και την ζήτησή τους. Η καλή εμφάνιση επηρεάζει συνήθως περισσότερο τον καταναλωτή από ότι η θρεπτική αξία και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Το χρώμα των μήλων μεταβάλλεται τόσο κατά την περίοδο ανάπτυξης και ωρίμανσης πάνω στο δέντρο όσο και κατά την περίοδο συντήρησης, αποτελεί δε και ένα από τα κριτήρια συλλογής και ποιότητας. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το στάδιο ωριμότητας, τη θέση πάνω στο δέντρο, τη περιοχή, τη καλλιεργητική περίοδο, τη θρεπτική κατάσταση του δέντρου κλπ.[1], [2], [4]. Η διάρκεια συντήρησης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και το στάδιο ωριμότητας κατά την συγκομιδή είναι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρωματισμό των φρούτων κατά την αποθήκευση. Επειδή λοιπόν το χρώμα αποτελεί ένα σοβαρό παράγοντα ποιότητας, έχουν γίνει προσπάθειες να μελετηθεί η μεταβολή του κατά την διάρκεια ανάπτυξης – ωρίμανσης – αποθήκευσης σε διάφορα προϊόντα[1]. Έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορα χρωματομετρικά συστήματα, αυτό όμως που θεωρείται ότι προσεγγίζει καλύτερα το χρώμα με βάση την ανθρώπινη όραση και εξυπηρετεί σήμερα καλύτερα τις εφαρμογές είναι το σύστημα  $L^* a^* b^*$ , όπου  $L$  είναι η φωτεινότητα,  $a^*$  ο χρωματομετρικός παράγοντας πράσινο-κόκκινο και  $b^*$  ο χρωματομετρικός παράγοντας κίτρινο-μπλε [3]. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της μεταβολής του χρώματος των μήλων δυο ποικιλιών, μιας έγχρωμης (Delicious Pilafa) και μιας μονόχρωμης (Granny-Smith), οι οποίες συντηρήθηκαν τόσο σε παραδοσιακή (κοινή) αποθήκη όσο και σε χώρους με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (ψυκτικούς θαλάμους).

## ΥΛΙΚΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ

Η μελέτη αναφέρεται σε μήλα δύο καλλιεργητικών περιόδων, που συγκομίστηκαν το Φθινόπωρο του 1998 και του 1999. Η χρονική διάρκεια κάθε περιόδου συντήρησης κυμάνθηκε μεταξύ τριών μηνών (αποθήκη) και πέντε μηνών, δηλαδή από τα τέλη Οκτωβρίου μέχρι τον Μάρτιο.

Χρησιμοποιήθηκε μια παραδοσιακή (κοινή) αποθήκη, που βρίσκεται κοντά στην Τρίπολη, μικρών διαστάσεων (4,72m x 3,10m x 2,30m), παλαιάς κατασκευής, χτισμένη μετσιμεντόλιθους χωρίς εσωτερικό και εξωτερικό επίχρισμα. Πριν τοποθετηθούν τα μήλα ελήφθησαν όλα τα απαραίτητα μέτρα ώστε ο χώρος να είναι σχετικά στεγανός και προστατευμένος από τρωκτικά. Τοποθετήθηκε επίσης ένα απλό σύστημα εξαερισμού το οποίο, κατά την διάρκεια της νύκτας, εισήγαγε ψυχρό αέρα στον χώρο με παροχή 350 m<sup>3</sup>/h. Οι συνθήκες της αποθήκης κατά την περίοδο συντήρησης κυμάνθηκαν μεταξύ 0 και 15 °C η θερμοκρασία και μεταξύ 70% και 99% η σχετική υγρασία (Σ.Υ.) όπως προέκυψε μετά από συνεχή ηλεκτρονική καταγραφή με φορητό όργανο.

Ίδια φρούτα αποθηκεύτηκαν σε θαλάμους, με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και Σ.Υ., στους εργαστηριακούς χώρους του εργαστηρίου γεωργικής μηχανολογίας του τμήματος ΑΦΠ&ΓΜ του ΓΠΑ. Κατά τον πρώτο χρόνο της μελέτης τα φρούτα συντηρήθηκαν σε δύο θαλάμους με θερμοκρασία 0 °C και 8 °C και σχετική υγρασία 90% και 80% αντίστοιχα, ενώ κατά τον δεύτερο χρόνο οι συνθήκες ήταν αντίστοιχα η μεν θερμοκρασία 0 °C και 10 °C, η δε σχετική υγρασία 90% και 85%.

Δημιουργήθηκαν ομάδες των δέκα (την πρώτη χρονιά) και των είκοσι (την δεύτερη χρονιά) ομοιόμορφων μήλων των ποικιλιών Delicious Pilafa και Granny-Smith. Στην συνέχεια έγινε σήμανση δυο συγκεκριμένων περιοχών διαμέτρου 10 mm σε κάθε μήλο. Η εκτίμηση του χρώματος έγινε με μετρήσεις σε τακτά (ανά εβδομάδα) χρονικά

διαστήματα. Χρησιμοποιήθηκε ένα χρωματόμετρο Minolta CR300 και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν στο σύστημα  $L^* a^* b^*$ .

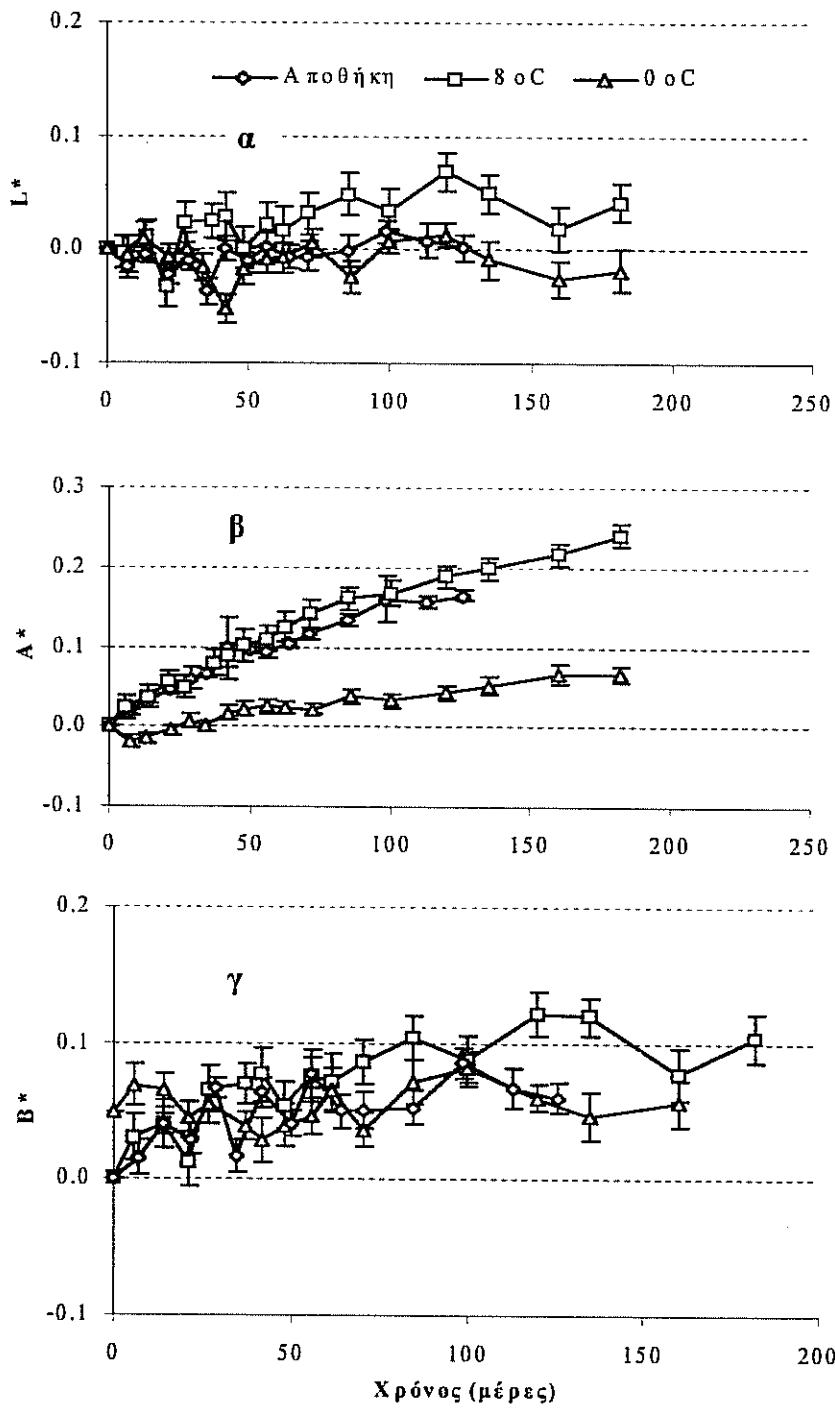
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αν προσπαθήσουμε να συγκρίνουμε τις μεταβολές των παραγόντων  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$  κατά την πρώτη και δεύτερη περίοδο συντήρησης θα δούμε ότι το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε πηγάζει από το γεγονός ότι τα μήλα δεν έχουν το ίδιο χρώμα κατά την συγκομιδή κάθε χρονιά. Αυτό φυσικά μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως αναφέρθηκε ήδη παραπάνω. Θα πρέπει η μελέτη της μεταβολής του χρώματος να γίνεται με βάση κάποιους παράγοντες που ελαχιστοποιούν το παραπάνω πρόβλημα. Γιαυτό αντί των συνήθων παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$  χρησιμοποιούμε τις αδιάστατες μεταβλητές  $L^*$ ,  $A^*$  και  $B^*$  που εκφράζουν την μεταβολή του χρώματος, σαν ποσοστό επί της αρχικής τιμής μετά συγκομιδή. Πιο συγκεκριμένα  $L^* = (L - L_0) / L_0$ ,  $A^* = (a^* - a^*_0) / (a^*_0 + 60)$  και  $B^* = (b^* - b^*_0) / (b^*_0 + 60)$  όπου  $L_0$ ,  $a^*_0$ ,  $b^*_0$  είναι οι αρχικές τιμές των χρωματομετρικών συντεταγμένων την στιγμή της συγκομιδής.

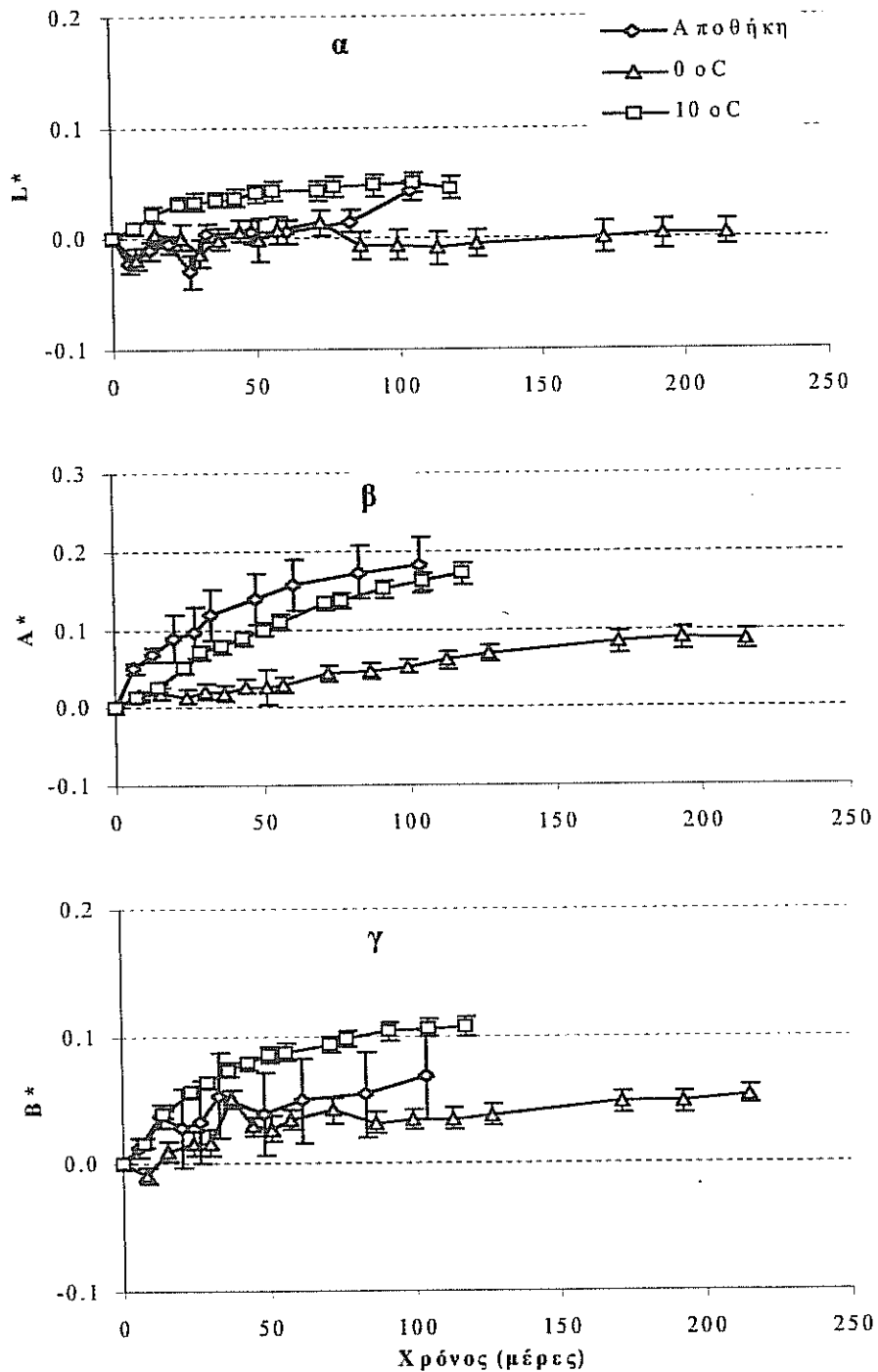
Στα μήλα Delicious Pilsafa που συντηρήθηκαν στους 0 °C δεν παρατηρείται μεταβολή του  $L^*$ . Αντίθετα στους 8 ή 10 °C βλέπουμε ότι το  $L^*$  αυξάνει με το χρόνο, αυτό είναι εντονότερο την δεύτερη χρονιά οπότε παρατηρούνται γενικά σημαντικές διαφορές από την 20<sup>η</sup> περίπου μέρα. Και στις δυο χρονιές η συμπεριφορά των μήλων της αποθήκης πλησιάζει αυτή των μήλων των 0 °C. (σχήματα 1α και 2α). Στα μήλα Granny Smith που συντηρήθηκαν στους 0 °C, το  $L^*$  μεταβάλλεται ελάχιστα με τον χρόνο την 1<sup>η</sup> χρονιά, ενώ μένει σχεδόν αμετάβλητο κατά την 2<sup>η</sup>. Η συμπεριφορά των μήλων που συντηρήθηκαν στους 8 ή 10 °C και στην αποθήκη είναι παρόμοια, διαφέρει όμως σημαντικά από αυτή των μήλων που συντηρήθηκαν στους 0 °C. Κατά τον πρώτο χρόνο συντήρησης οι διαφορές εμφανίζονται σημαντικές μετά την 120<sup>η</sup> μέρα ενώ τον δεύτερο μετά την 40<sup>η</sup>. (σχήματα 3α και 4α).

Στα σχήματα 1β και 2β παρουσιάζεται, για τα μήλα Delicious Pilsafa, η μεταβολή του παράγοντα  $A^*$  με τον χρόνο. Γενικά οι μεταβολές είναι εντονότερες σε σχέση με τον παράγοντα  $L^*$ . Τα μήλα που συντηρήθηκαν στους 0 °C παρουσιάζουν αργή αύξηση του  $A^*$ , δηλαδή χάνουν με αργό σχετικά ρυθμό το πράσινο χρώμα τους. Η εξέλιξη είναι γρηγορότερη στα μήλα που συντηρήθηκαν στους 8 ή 10 °C και στην αποθήκη. Δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ χώρου 8 ή 10 °C και αποθήκης, υπάρχουν όμως σημαντικές διαφορές μεταξύ των παραπάνω αποθηκευτικών χώρων και αυτού των 0 °C. Κατά την δεύτερη χρονιά οι μεταβολές δείχνουν εντονότερες χωρίς όμως στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η κατάσταση είναι παρόμοια και στα μήλα Granny Smith (σχήματα 3β και 4β) αφού τα μήλα των 8 ή 10 °C δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτά της αποθήκης. Παρατηρούνται όμως σημαντικές διαφορές, μεταξύ των παραπάνω και των μήλων που συντηρήθηκαν στους 0 °C, μετά την 130<sup>η</sup> μέρα την πρώτη και την 40<sup>η</sup> μέρα την δεύτερη χρονιά. Επίσης φαίνεται ότι στους 0 °C τα μήλα χάνουν προοδευτικά τον πράσινο χρωματισμό τους μετά την 120<sup>η</sup> μέρα συντήρησης.

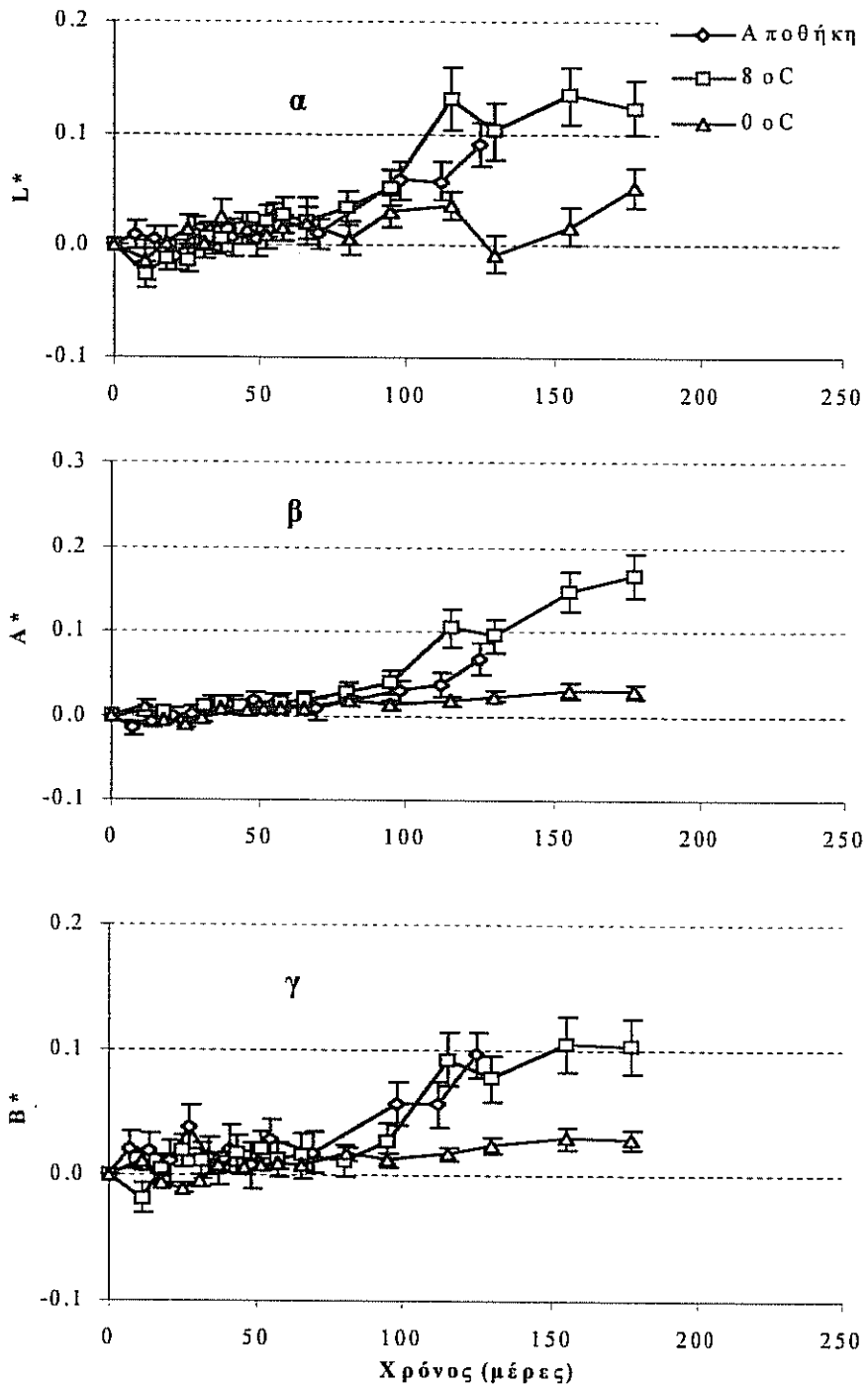
Όσον αφορά την εξέλιξη του παράγοντα  $B^*$  στα μήλα Delicious Pilsafa (σχήματα 1γ και 2γ) την πρώτη χρονιά δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων αποθηκευτικών χώρων, ενώ την δεύτερη φαίνεται ότι τα μήλα της αποθήκης αναπτύσσουν κίτρινο χρώμα ταχύτερα από τα υπόλοιπα. Στα Granny Smith βλέπουμε ότι για τα μήλα των 0 °C ο παράγοντας  $B^*$  μεταβάλλεται πολύ αργά ενώ τα υπόλοιπα μήλα δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στην δεύτερη χρονιά οι διαφορές μεταξύ των μήλων 0 °C και των υπολοίπων είναι σημαντικές μετά την 40<sup>η</sup> μέρα ενώ στην πρώτη χρονιά μετά την 100<sup>η</sup> (σχήματα 3γ και 4γ).



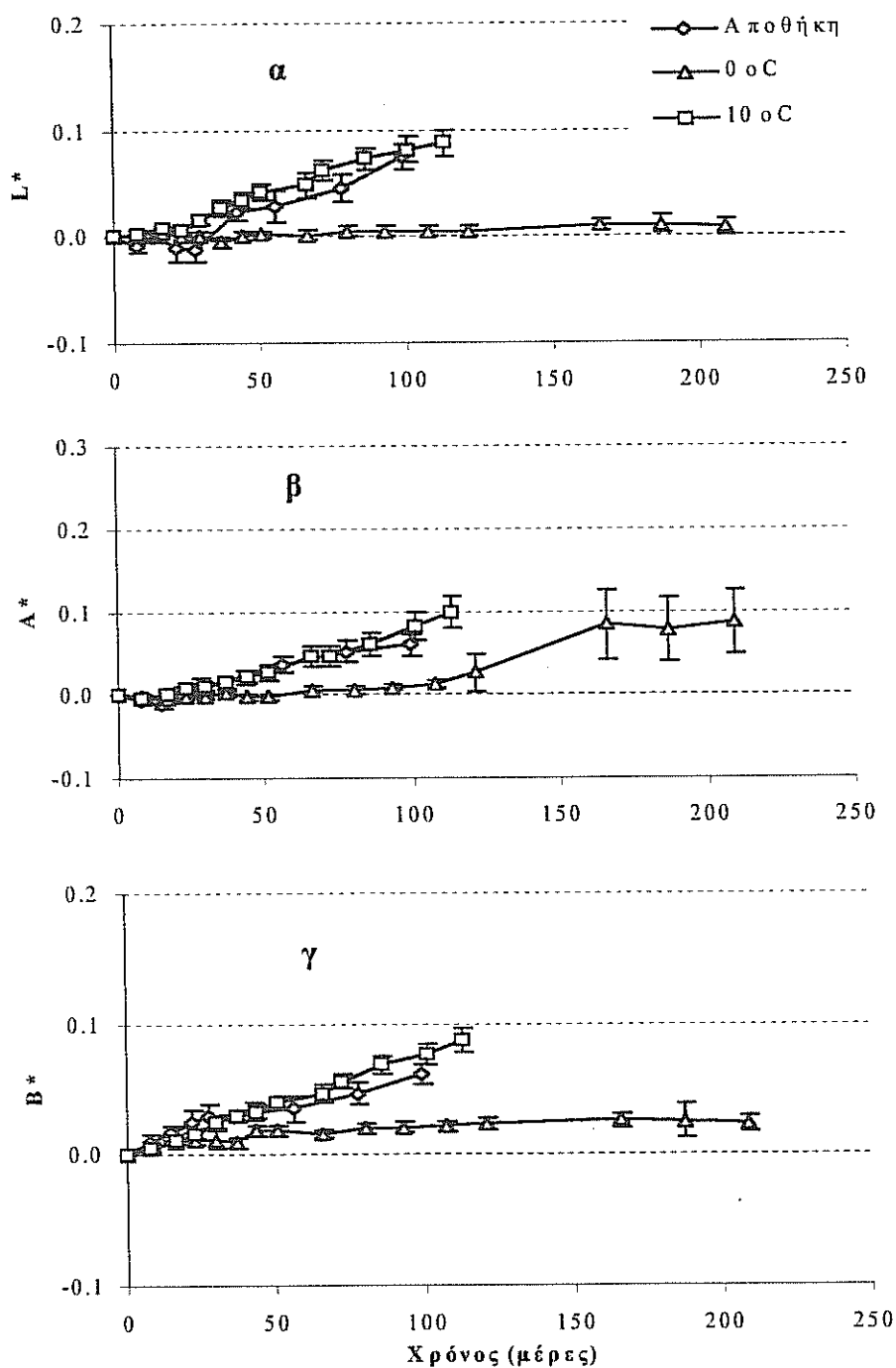
Σχήμα 1. Μεταβολή των χρωματομετρικών παραμέτρων L\*, A\*, B\* των μήλων Delicious Pírafa την πρώτη χρονιά συντήρησης.



Σχήμα 2. Μεταβολή των χρωματομετρικών παραμέτρων L\*, A\*, B\* των μίλων Delicious Pilafa την δεύτερη χρονιά συντήρησης.



Σχήμα 3. Μεταβολή των χρωματομετρικών παραμέτρων L\*, A\*, B\* των μύλων Granny Smith την πρώτη χρονιά συντήρησης.



Σχήμα 4. Μεταβολή των χρωματομετρικών παραμέτρων  $L^*$ ,  $A^*$ ,  $B^*$  των μήλων Granny Smith την δεύτερη χρονιά συντήρησης.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έχουμε διαθέσιμα οι συνθήκες της αποθήκης φαίνεται να έχουν παρόμοια επίδραση στην μεταβολή του χρώματος των μήλων Granny Smith με αυτές των θαλάμων 8 ή 10 °C. Αυτή η συμπεριφορά παρατηρείται και στους τρεις χρωματομετρικούς παράγοντες L, a\* και b\*. Αντίθετα στα μήλα Delicious Pilafa οι παράγοντες a\* και b\* δείχνουν παρεμφερή συμπεριφορά ενώ ο παράγοντας L στην περίπτωση της αποθήκης φαίνεται να αυξάνει πολύ αργά όπως στο θάλαμο των 0 °C. Η συμπεριφορά αυτή πιθανόν να σχετίζεται με την αφυδάτωση των φρούτων αφού η φωτεινότητα εξαρτάται από τον βαθμό αφυδάτωσης των επιφανειακών στρώσεων του μήλου.

Οι τρεις χρωματομετρικοί παράγοντες δεν φαίνεται να επηρεάζονται το ίδιο από τις συνθήκες αποθήκευσης. Στην περίπτωση των μήλων Delicious Pilafa, ο παράγοντας a\* (μεταβολή από πράσινο σε κόκκινο) κυρίως και λιγότερο ο παράγοντας b\* (μεταβολή από μπλε σε κίτρινο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς, ενώ ο παράγοντας L (φωτεινότητα) δεν μεταβάλλεται έντονα για να είναι χρήσιμος. Αντίθετα στην περίπτωση των μήλων Granny Smith φαίνεται ότι και οι τρεις χρωματομετρικοί παράγοντες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του τρόπου αποθήκευσης.

Τόσο από τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης αλλά και από άλλα βιβλιογραφικά δεδομένα [1], [5] φαίνεται ότι ο κάθε χρωματομετρικός παράγοντας, μόνος του, δεν μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστο κριτήριο για την εκτίμηση της ποιοτικής κατάστασης των φρούτων κατά την αποθήκευση. Τα καλύτερα αποτελέσματα που είχαμε στην μονόχρωμη ποικιλία Granny Smith δείχνουν ότι το χρώμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευκολότερα και αποτελεσματικότερα ως κριτήριο στις μονόχρωμες ποικιλίες. Πρέπει στη συνέχεια να γίνει κάποια προσπάθεια συσχετισμού των διαφόρων χρωματομετρικών παραγόντων τόσο μεταξύ τους ώστε να διερευνηθεί το ενδεχόμενο ανάπτυξης κάποιας συνάρτησης των L, a\* και b\* που θα περιγράψει την συμπεριφορά της κάθε ποικιλίας κατά την αποθήκευση, όσο και με άλλα ποιοτικά κριτήρια ώστε σε συνδυασμό με αυτά να είναι δυνατή η αξιολόγηση της συμπεριφοράς των διαφόρων ποικιλιών κατά την συντήρηση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Balla CS., Saray T., Polyak K. and Horti K.. 1995. Coloration of some horticultural products during post-harvest handling. *Proc. Of the 19<sup>th</sup> Int. Congress of Refrigeration*. Hague. 137-144.
2. Manolopoulou H., Lambrinos G. and Vlachou A.M.. 1994. Choix de la date de cueillette. Criteres de recolte chez les pommes Pilafa Delicious. *Final report C.E.E. R. P. CAMAR No 8001-CT91-105*.
3. Manual Minolta CR300
4. Ρουσσέας Δ., Λαμπρινός Γρ. και Μανωλοπούλου Ε.. 1995. Επίδραση του φυσιολογικού σταδίου ωριμότητας στην συντήρηση του αχλαδιού "Κοντούλα". *Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Τροφίμων*. Αθήνα. 284-289.
5. Yeatmen J. N., Sidwell A. P. and Norris K. H.. 1960. Derivation of a new formula for computing raw tomato juice color from objective color measurement. *Food Technology*. 1. 16-20.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΑΡΟΥΣ ΝΕΑΡΩΝ ΧΟΙΡΙΔΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

**Π. Παναγάκης<sup>1</sup>, Κ. Μπερμπερίδης<sup>2</sup>, Δ. Μπριασούλης<sup>1</sup>,  
Π. Καραϊβάζογλου<sup>2</sup>, Ε. Δήμας<sup>1</sup>**

1. Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών,  
Ιερά Οδός 75, Αθήνα 11855
2. Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Πολυτεχνική Σχολή,  
Πανεπιστήμιο Πατρών, Ρίο-Πάτρα 26110

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έγκαιρη διάγνωση προβλημάτων νεαρών χοιριδίων, όπως οι ασθένειες και η κοινωνική αταξία μπορεί να γίνει εύκολα εφόσον τα ζώα ζυγίζονται συστηματικά. Στα πλαίσια πειράματος σε πραγματικές συνθήκες μία βιντεοκάμερα παρακολούθησης εγκαταστάθηκε πάνω από φάτνη για καταγραφή εικόνων των χοιριδίων. Παράλληλα, κατά τη διάρκεια της εβδομαδιαίας ατομικής ζύγισης των χοιριδίων λαμβάνονταν έξι φωτογραφίες για κάθε ζώο. Η εκτίμηση του βάρους με την τεχνική επεξεργασίας των εικόνων που κατέγραφε η βιντεοκάμερα και με τη χρήση των φωτογραφιών, παρουσίασε μέσο σφάλμα ίσο με  $0,0478 \pm 0,00560$  και  $0,0475 \pm 0,0089$ , αντίστοιχα. Το σφάλμα του 4,78% μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό.

### EARLY-WEANED PIGLETS WEIGHT ESTIMATION USING IMAGE ANALYSIS

**P. Panagakis<sup>1</sup>, K. Berberidis<sup>2</sup>, D. Briassoulis<sup>1</sup>,  
P. Karaivazoglou<sup>2</sup>, E. Dimas<sup>1</sup>**

1. *Lab. of Farm Structures, Agricultural University of Athens,  
Iera Odos 75, Athens 11855*
2. *Computer Engineering Dept., University of Patras, Rio-Patras 26110*

Systematic weighing is of great importance, in an attempt to early diagnose various problems such as illness and social stress of early-weaned piglets. During an experiment conducted under real housing conditions, a Video camera was used to continuously monitor piglets. In parallel, six photos of each piglet were taken during its individual weekly-weighing. Compared to the real weights, the mean error, using the image analysis method was  $0,0478 \pm 0,0056$ , whereas that for the photo analysis was  $0,0475 \pm 0,0089$ . The 4,78% difference must be considered very promising.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χειρωνακτική ατομική ζύγιση των χοίρων είναι αφενός μεν κοπιαστική και χρονοβόρα για το προσωπικό μίας χοιροτροφικής μονάδας, αφετέρου δε επίπονη για τα ίδια τα ζώα. Γι'αυτόν το λόγο είτε δε γίνεται ποτέ, είτε γίνεται μόνον κατά τον απογαλακτισμό και την απομάκρυνση των ζώων από τη μονάδα. Είναι μάλιστα σημαντικό να τονιστεί ότι η ζύγιση αυτή είναι ομαδική και έτσι δεν υπάρχει καμία πληροφορία για κάθε ένα ζώο ξεχωριστά. Όμως, η ατομική ζύγιση αποτελεί σημαντικό στοιχείο διαχείρισης μίας χοιροτροφικής μονάδας. Αποτελεί το μέσο με το οποίο ο παραγωγός μπορεί να αποφασίσει για θέματα όπως: η ισόρροπη διατροφή, το κατάλληλο θερμικό μικροπεριβάλλον, η υγιεινή, οι απαραίτητες διαστάσεις των κελιών και των φατνών και τέλος το απαιτούμενο ύψος της ποτίστρας.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 90' ξεκίνησαν οι προσπάθειες για τη συνεχή ζύγιση των χοίρων χωρίς να χρειάζεται η ανθρώπινη παρέμβαση. Η ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η συνεχής βελτίωση των συστημάτων καταγραφής εικόνας και η διαρκής πτώση των τιμών τους, ώθησε τους ερευνητές στη δοκιμή συστημάτων συνεχούς καταγραφής των οπτικών δεδομένων και στην μετέπειτα επεξεργασία αυτών των δεδομένων για τη συχρή εκτίμηση του βάρους των χοίρων.

## 2. ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στην εργασία [1] για πρώτη φορά έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί το βάρος (B) των χοίρων, που στεγάζονταν σε ειδικά διαμορφωμένο κελί, αφού προηγουμένα συσχετιστεί με σωματικά μεγέθη (π.χ. ύψος, πλάτος, εμβαδόν κάτοψης, κ.ο.κ) που είχαν εκτιμηθεί από φωτογραφίες των ζώων. Το συμπέρασμα ήταν ότι η ακρίβεια στο υπολογισμό του βάρους είναι μεγαλύτερη από 95%, εφόσον χρησιμοποιηθεί μόνον το εμβαδόν της κάτοψης (K) του σώματος του ζώου χωρίς το κεφάλι, το λαιμό και την ουρά. Στην εργασία [2] περιγράφεται ένα σύστημα συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής που συλλέγει εικόνες χοίρων βάρους 42 έως 60 kg, καθώς επισκέπτονται την ποτίστρα. Το συμπέρασμα αυτής της εργασίας ήταν ότι είναι δυνατή η εκτίμηση του βάρους με σφάλμα μικρότερο του 5%. Σε μία επόμενη εργασία [3] χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρονικός σταθμός ατομικής διατροφής ώστε να είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση και η ταυτόχρονη ηλεκτρονική καταγραφή των χοίρων. Το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι η σχέση βάρους (B) και κάτοψης (K) είναι γραμμική. Τέλος, στην εργασία [4] επιβεβαιώνεται ότι η χρήση των τεχνικών επεξεργασίας εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του βάρους ατομικά στεγασμένων χοίρων με σφάλμα 5-6%, προστίθεται όμως ότι προηγουμένα θα πρέπει να γίνει η κατάλληλη προσαρμογή σε κάθε υβρίδιο ξεχωριστά. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη σημασία που έχει το ύψος των ζώων στην εκτίμηση αυτή.

Τα δύο βασικά μειονεκτήματα των μέχρι σήμερα προτεινόμενων μεθόδων είναι:

1. Η ανάγκη ατομικής στέγασης των χοίρων σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους [1,2,4] γεγονός που καθιστά πρακτικά ανεφάρμοστη τη μέθοδο σε πραγματικές μονάδες.
2. Η ανάγκη αγοράς ηλεκτρονικών σταθμών ατομικής διατροφής [3] που κρίνονται αντιοικονομικοί για τα περιορισμένα οικονομικά δεδομένα της Ελληνικής χοιροτροφίας.

Σκοπός της εργασίας που παρουσιάζεται εδώ, ήταν η χρησιμοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχουν οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνας για να εκτιμηθεί τα βάρους των πρόωρα απογαλακτιζόμενων χοιριδίων κάτω από τις πραγματικές συνθήκες στέγασης που συναντώνται στα ελληνικά χοιροστάσια. Η ιδιαιτερότητα αυτής της εργασίας είναι αφενός μεν η ηλικία των ζώων, αφετέρου δε οι πειραματικές συνθήκες ανάπτυξης και εφαρμογής των μεθόδων.

### 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 3.1 Πειραματικό πρωτόκολλο

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 1997 διεξήχθη, στη χοιροτροφική μονάδα TRAF ΕΠΕ η οποία βρίσκεται στην περιοχή της Τανάγρας Βοιωτίας, ένα πείραμα πλήρους κλίμακας υπό πραγματικές συνθήκες, συνολικής διάρκειας πέντε εβδομάδων (14/6/97-19/7/1997).

##### 3.1.1. Στέγαση χοιριδίων

Κατά τη διάρκεια του πειράματος 6 χοιρίδια ηλικίας 24-26 ημερών στεγάζονταν ομαδικά, σε συνθήκες θερμοουδετερότητας, σε κελί που ήταν τοποθετημένο μέσα σε ένα θάλαμο πρώτης ανάπτυξης. Ο θάλαμος είχε μήκος 7,4 m, πλάτος 5,4 m και ύψος που κυμαινόταν από 3,1 m στο γείσο μέχρι 4,4 m στον κορφιά. Ο αερισμός του θαλάμου ήταν μηχανικός και γινόταν με ανεμιστήρες υποπίεσης. Τα χωρίσματα του κελιού αποτελούνταν από κατακόρυφες μεταλλικές δοκίδες, ενώ το δάπεδο ήταν μεταλλικό πλήρως εσχαρωτό. Το μήκος του κελιού ήταν 2,0 m, το πλάτος του 1,0 m και το ύψος των χωρισμάτων του 0,6 m. Η πυκνότητα στέγασης ανά χοιρίδιο ήταν 0,33 m<sup>2</sup>. Η παροχή τροφής γινόταν κατά βούληση από δύο φάτνες, προς την πλευρά του διαδρόμου τροφοδοσίας, καθεμία από τις οποίες διέθετε τρεις θέσεις και είχε πλάτος 0,5 m. Η παροχή νερού γινόταν με ποτίστρα τύπου θηλής, η οποία βρισκόταν στην πλευρά απέναντι από τη φάτνη.

##### 3.1.2. Ταυτοποίηση και μαγνητοσκόπηση χοιριδίων

Η αυτόματη (χωρίς ανθρώπινη επέμβαση) ταυτοποίηση των χοιριδίων ήταν το πρώτο ζητούμενο του πειράματος. Χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμα ενάντια, τα οποία τοποθετήθηκαν ανά δύο σε κάθε χοιρίδιο, ένα σε κάθε αντί, ώστε να διευκολυνθεί η ταυτοποίηση των ζώων με τον υπολογιστή. Τα χρώματα επιλέχθηκαν έτσι ώστε να έχουν επαρκή απόσταση στον τρισδιάστατο χρωματικό χώρο, τόσο μεταξύ τους όσο και με το μαύρο υπόβαθρο του δαπέδου του κελιού στέγασης. Ως χρώματα επιλέχθηκαν τα: Πορτοκαλί, Πράσινο, Κίτρινο, Μπλε, Γαλάζιο και Κόκκινο.

Η μηχανή λήψεως εικόνας (βιντεοκάμερα) στερεώθηκε σε ύψος 2,15 m πάνω από το δάπεδο του κελιού ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση ενός χώρου που θα είχε πλάτος 1,0 m και μήκος 0,6 m (μέσα σε αυτόν το χώρο είχε εκτιμηθεί ότι θα βρίσκονταν οι χοίροι κατά τη διάρκεια της λήψης της τροφής την τελευταία εβδομάδα του πειράματος, κατά την οποία θα είχαν τις μεγαλύτερες διαστάσεις). Η μαγνητοσκόπηση προγραμματίστηκε να γίνεται από τις 07:00 ΠΜ έως τις 07:00 ΜΜ, γιατί μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα έχει αποδειχθεί ότι τα ζώα επισκέπτονται τη φάτνη τουλάχιστον δύο φορές και καταναλώνουν το 75% της ημερήσιας καταναλισκόμενης ποσότητας τροφής [5].

### 3.1.3. Ζύγιση & σωματομέτρηση χοιριδίων

Τα χοιρίδια ζυγίστηκαν στην αρχή του πειράματος (μέσο αρχικό βάρος:  $9,33 \pm 0,44$  kg) και στη συνέχεια ζυγίζονταν κάθε εβδομάδα. Για τη ζύγιση χρησιμοποιήθηκε μία ηλεκτρονική ζυγαριά με ακρίβεια  $\pm 20$  g. Ένας κλωβός κατασκευασμένος από μεταλλικό πλέγμα  $5 \text{ cm} * 10 \text{ cm}$  και με διαστάσεις:  $M=0,8 \text{ m}$ ,  $\Pi=0,5 \text{ m}$ ,  $Y=0,5 \text{ m}$  περιόριζε τις κινήσεις των χοίρων και παράλληλα χρησίμευε ως αναφορά των διαστάσεων των χοίρων κατά τη διάρκεια της φωτογράφισής τους. Το ύψος (Y) των χοιριδίων μετριόταν σε χιλιοστά (mm) στο μέσον της απόστασης ώμων και πλάτης όταν το ζώο είχε το κεφάλι του σε ευθεία γραμμή με το υπόλοιπο σώμα του.

### 3.1.4 Φωτογράφιση χοιριδίων

Κατά τη διάρκεια του πειράματος η φωτογράφιση των χοιριδίων γινόταν αμέσως μετά τη ζύγιση και ενώ τα χοιρίδια βρίσκονταν περιορισμένα μέσα στον κλωβό. Η κάτοψη κάθε χοιριδίου φωτογραφίζονταν έξι φορές σε διάστημα λίγων δευτερολέπτων, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των καταλληλότερων φωτογραφιών για παραπέρα επεξεργασία της εικόνας. Μετά την επεξεργασία αυτή ήταν δυνατή η εκτίμηση του εμβαδού της κάτοψης ( $K_b$ ) των νεαρών χοιριδίων.

## 3.2 Επεξεργασία εικόνας

Η διαδικασία της επεξεργασίας των εικόνων που καταγράφηκαν από την κάμερα προκειμένου να γίνουν μετρήσεις μεγεθών χρησίμων στην εκτίμηση του βάρους, ακολούθησε τις εξής φάσεις:

### 3.2.1 Επιλογή κατάλληλων εικόνων

Η εβδομαδιαία επιλογή των εικόνων έγινε με βάση τη “στάση” του ζώου. Έπρεπε δηλαδή να φαίνεται η κάτοψη του ζώου μόνον και όχι π.χ. τα πόδια του και να είναι τέτοια ώστε να μην παραμορφώνεται το σχήμα του (π.χ. υπερβολικό τέντωμα ή κάμψη). Φυσικά επιλέχτηκαν εικόνες που περιείχαν ολόκληρο το ζώο χωρίς επικάλυψη με τα άλλα ζώα του κελιού.

### 3.2.2 Ταυτοποίηση χρώματος

Στις επιλεγμένες εικόνες αναζητήθηκε το χρώμα του ενωτίου, που αντιστοιχούσε στο συγκεκριμένο ζώο. Η περιοχή που παρουσίαζε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση αυτού του χρώματος ανήκε στο συγκεκριμένο ζώο. Έτσι βρέθηκαν σημεία που ανήκαν στο ζώο και χρησιμοποιήθηκαν για την απομόνωση του αντικειμένου-ζώου από την υπόλοιπη εικόνα. Μελετήθηκε ο εντοπισμός του εκάστοτε ζητούμενου χρώματος και στο χώρο RGB (κόκκινο, πράσινο, μπλέ) και στο συμπληρωματικό χώρο CMY (κυανό, ματζέντα, κίτρινο) και έγινε σύγκριση των δύο περιπτώσεων.

### 3.2.3 Μετατροπή της έγχρωμης εικόνας σε εικόνα επιπέδων του γκριζου

Η έγχρωμη εικόνα μετατράπηκε σε εικόνα επιπέδων του γκριζου. Για το σκοπό αυτό πρώτα μετατράπηκε σε εικόνα του συστήματος RGB και στη συνέχεια σε εικόνα του συστήματος HIS (hue, saturation, intensity). Κατόπιν μηδενίστηκαν οι τιμές της απόχρωσης και του κορεσμού και κρατήθηκε μόνον η συνιστώσα της έντασης.

### 3.2.4 Μετατροπή της εικόνας επιπέδων του γκρίζου σε δυαδική ασπρόμαυρη εικόνα

Με την επιλογή κατάλληλου κατώφλιου, έτσι ώστε να διατηρηθεί όλη η χρήσιμη πληροφορία, μετατράπηκε η εικόνα του γκρίζου σε δυαδική ασπρόμαυρη. Όποιο pixel είχε τιμή μικρότερη από το κατώφλι μηδενίστηκε (μαύρο), ενώ όλα τα άλλα θεωρήθηκαν ίσα με τη μονάδα (άσπρο).

### 3.2.5 Οριοθέτηση στη δυαδική εικόνα του αντικειμένου-ζώου

Σ' αυτή τη φάση απομονώθηκε το προς επεξεργασία ζώο από οτιδήποτε άλλο στην εικόνα. Έχοντας βρει στην φάση της ταυτοποίησης σημεία που ανήκαν στο ζώο και ξεκινώντας από ένα τέτοιο σημείο επιλέχθηκαν όλα τα μη μηδενικά γειτονικά 8-connected σημεία. Αυτή η διαδικασία έγινε και για τα καινούργια σημεία μέχρι που δεν υπήρχαν άλλα τέτοια σημεία. Το σύνολο αυτών των σημείων αποτέλεσε το αντικείμενο-ζώο προς επεξεργασία.

### 3.2.6 Εξομάλυνση της κάτοψης και εύρεση του κύριου άξονα του ζώου

Στη φάση αυτή εφαρμόστηκαν κυρίως μορφολογικές επεξεργασίες με σκοπό να αντιμετωπιστούν κάποιες αδυναμίες ή/και αρνητικές παρενέργειες των προηγούμενων επεξεργασιών και να εξαχθούν στη συνέχεια κάποιες χρήσιμες πληροφορίες. Καταρχάς στη φάση αυτή αποκαταστάθηκαν κάποια μαύρα pixels, που εμφανίζονται για διάφορους λόγους στο εσωτερικό του αντικειμένου-ζώου, ώστε αυτό να είναι συμπαγές. Έπειτα εφαρμόζοντας διαδοχικά και για τον ίδιο αριθμό φορών πάνω στην εικόνα τις επεξεργασίες «erosion» (διάβρωση) και «dilatation» (διαστολή) εξομαλύνθηκε το περιγράμμα της κάτοψης αφαιρώντας ανεπιθύμητες περιοχές (π.χ. ουρά). Με την επεξεργασία «thinning» (εκλέπτυνση) εκφυλίστηκε το αντικείμενο-ζώο σε μια απλή γραμμή, που με τη χρήση του κριτηρίου των ελαχίστων τετραγώνων μετατράπηκε στην ευθεία-κύριο άξονα του σώματος του ζώου.

### 3.2.7 Περιστροφή του αντικειμένου-ζώου και αφαίρεση του επάνω τμήματος της κάτοψης

Ο προσδιορισμός του κύριου άξονα του ζώου, επέτρεψε την περιστροφή του ώστε να έλθει στην κατακόρυφη θέση σε σχέση με την εικόνα. Η περιστροφή κρίθηκε απαραίτητη για να διευκολυνθεί η παραπέρα επεξεργασία. Έχοντας φέρει το αντικείμενο-ζώο στην κατακόρυφη θέση και με δεδομένη τη σχετική συμμετρία που παρουσιάζει το σώμα του ως προς τον κύριο άξονα, έγινε η αφαίρεση του λαιμού και του κεφαλιού, ώστε να μείνει τελικά η κάτοψη (K).

### 3.2.8 Υπολογισμός του εμβαδού της κάτοψης και αναγωγή του σε πραγματικά μεγέθη

Έχοντας την τελική κάτοψη και μετρώντας τα pixels του εσωτερικού και του ορίου, προσδιορίστηκε το εμβαδόν ( $K_{\text{III}}$ ) της. Εφόσον η κάμερα ήταν σε σταθερή θέση και είχαν μετρηθεί οι πραγματικές διαστάσεις του πλέγματος του δαπέδου, ήταν δυνατός ο υπολογισμός του αριθμού των pixels που αντιστοιχούν στα μήκη που μετρήσαμε και κατεπέκταση ο υπολογισμός, για σταθερή απόσταση από την κάμερα, των πραγματικών μεγεθών που αντιστοιχούν στις διαστάσεις ενός pixel. Κατόπιν συνυπολογίζοντας το ύψος του ζώου, εκτιμήθηκε το πραγματικό εμβαδόν της κάτοψης.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Στατιστική επεξεργασία

#### 4.1.1 Σωματομέτρηση χοιριδίων

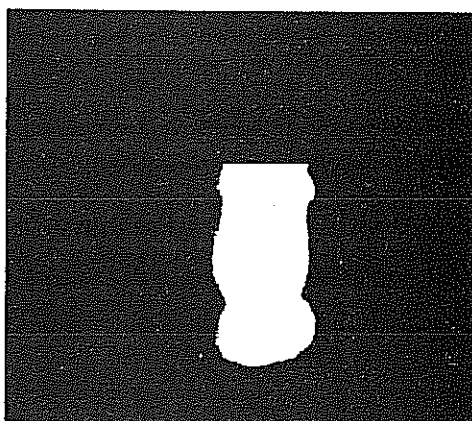
Η σχέση μεταξύ ύψους και βάρους βρέθηκε να είναι:  $Y=143 \cdot B^{1/3}$  ( $R^2=0.92$ ). Η βιβλιογραφικά [6] κατοχυρωμένη εξίσωση για χοίρους βάρους 20-100 kg είναι  $Y=159 \cdot B^{1/3}$ . Η διαφορά κρίνεται φυσιολογική και αναμενόμενη και οφείλεται πιθανόν στο ότι τα χοιρίδια του πειράματός μας ήταν πιο σύγχρονα υβρίδια, είχαν μικρότερη ηλικία και μικρότερο βάρος (9-30 kg).

#### 4.1.2. Επεξεργασία εικόνας

Η αρχική και η τελική φάση της επεξεργασίας εικόνας, όπως εφαρμόστηκαν για το χοιρίδιο με το κίτρινο ενώπιο και για μία εικόνα του στο τέλος της τέταρτης εβδομάδας, φαίνονται στο σχήμα 1 και στο σχήμα 2, αντίστοιχα.



Σχήμα 1. Εικόνα επιπέδων του γκρίζου.



Σχήμα 2. Τελική κάτοψη

Η στατιστική επεξεργασία [7] των δεδομένων του μετρηθέντος βάρους και του ( $K_{EE}$ ) έδειξε ότι υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα στο βάρος των χοιριδίων και στο εμβαδόν της κάτοψης. Η εξίσωση που περιγράφει αυτή τη σχέση είναι:

$$K_{EE} = 32.300 + 2.733,37 \cdot B \quad (R^2=0,98) \quad (1)$$

#### 4.1.3 Επεξεργασία φωτογραφιών

Η στατιστική επεξεργασία [7] των μεγεθών του βάρους και του ( $K_{\Phi}$ ) έδειξε επίσης ότι υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα στο βάρος των χοιριδίων και στο εμβαδόν της κάτοψης. Η εξίσωση που περιγράφει αυτή τη σχέση είναι:

$$K_{\Phi} = 15.128,60 + 3.459,53 \cdot B \quad (R^2=0,97) \quad (2)$$

## 4.2 Συζήτηση

Με βάση τα δεδομένα από τα οποία προέκυψαν οι τελικές εξισώσεις των δύο μεθοδολογιών μπορούμε, χρησιμοποιώντας το βάρος (B) ως εξαρτημένη μεταβλητή και το εμβαδόν της κάτοψης (K) ως ανεξάρτητη μεταβλητή, να βρούμε και τις αντίστοιχες εξισώσεις που περιγράφουν τη σχέση βάρους-εμβαδού κάτοψης. Έτσι για μεν τη μέθοδο επεξεργασίας εικόνας έχουμε την εξίσωση (3), για δε τα χοιρίδια το βάρος των οποίων εκτιμήθηκε με τη φωτογραφική μέθοδο έχουμε την εξίσωση (4):

$$B_{EE} = -11,041 + 0,000357 \cdot K_{EE} \quad (R^2=0,98) \quad (3)$$

$$B_{\Phi} = -3,753 + 0,000281 \cdot K_{\Phi} \quad (R^2=0,97) \quad (4)$$

Με τις παραπάνω εξισώσεις αφενός μεν μπορούμε να εκτιμήσουμε τα βάρη των χοιριδίων, αφετέρου δε να ελέγξουμε το κατά πόσο διαφέρουν από τα πραγματικά. Το μέσο σχετικό σφάλμα στην εκτίμηση του βάρους των χοίρων με την τεχνική επεξεργασία εικόνας ήταν  $0,0478 \pm 0,0056$ , ενώ με τη φωτογραφική μέθοδο  $0,0475 \pm 0,0089$ . Ουσιαστικά δηλαδή ενώ οι δύο μέθοδοι έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα, η διαφορά των τυπικών σφαλμάτων υποδεικνύει ότι η εκτίμηση του βάρους των χοιριδίων με τεχνική της επεξεργασίας εικόνας είναι πιο αξιόπιστη. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η διαδικασία λήψης των εικόνων με την κάμερα γινόταν κάτω από πιο σταθερές συνθήκες (π.χ. ύψος και γωνία λήψης εικόνων, αυτόματη οριοθέτηση της κάτοψης αντί για οριοθέτηση από το χρήστη, κ.ο.κ.).

Η διαφορά 4,78% που αφορά στην τεχνική επεξεργασίας εικόνας πρέπει να θεωρηθεί πολύ ικανοποιητική και κοντά στα βιβλιογραφικά δεδομένα [1,2,4], εάν ληφθούν υπόψη οι δυσκολίες που υπάρχουν στα πειράματα πλήρους κλίμακας και στα εγγενή προβλήματα αυτόματης ταυτοποίησης ομαδικά στεγασμένων χοιριδίων. Όμως, υποδεικνύει επίσης ότι υπάρχουν ακόμα αρκετά τεχνικά και πρακτικά προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν πριν από το στάδιο της εμπορικής εφαρμογής της μεθοδολογίας (τροποποιημένης) στην καθημερινή χοιροτροφική πρακτική. Ακόμα, η διαφορά 4,75% που αφορά στη μέθοδο επεξεργασίας των φωτογραφιών είναι ενθαρρυντική, αφού με μικρές παρεμβάσεις στον τρόπο λήψης των φωτογραφιών η ακρίβεια εκτίμησης του βάρους των χοίρων μπορεί να βελτιωθεί. Η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου είχε καθαρά ερευνητικό χαρακτήρα συμβάλλοντας στην επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη μέθοδο της επεξεργασίας εικόνων κάτω από πραγματικές συνθήκες χοιροτροφικής εκτροφής.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Επιβεβαιώθηκε το γεγονός ότι είναι δυνατή η με αρκετά καλή ακρίβεια, και επιδεχόμενης βελτίωσης εκτίμηση του βάρους των χοιριδίων με χρήση τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων. Δείχθηκε επίσης ότι η εκτίμηση αυτή μπορεί να διεξαχθεί ακόμη και σε πραγματικές συνθήκες
2. Μεσοπρόθεσμα είναι δυνατή η ανάπτυξη ενός βελτιωμένου συστήματος που θα δίνει ακριβέστερες εκτιμήσεις με ελαχιστοποίηση των παρεμβάσεων του χειριστή του όλου συστήματος.



**Ευχαριστίες:** Οι συγγραφείς ευχαριστούν τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας για τη χρηματοδότηση αυτού του έργου στα πλαίσια του ΠΕΝΕΔ-95.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Schofield, C. P., 1990. Evaluation of image analysis as a means of estimating the weight of pigs. *J. agric. Engng Res.* 47, 287-296.
2. Schofield, C. P. 1993. Image analysis for non-intrusive weight and activity monitoring of live pigs. *Proc. Livestock Environment IV*. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
3. Schofield, C. P. and Marchant, J. A., 1996. Measuring the size and shape of pigs using image analysis. Paper 96G-035. *In: AgEng 96*, Madrid.
4. Brandl, N. and Jorgensen, E., 1996. Determination of live weight of pigs from dimensions measured using image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture.* 15, 57-72.
5. Nienaber, J. A., McDonald, T. P., Hahn, G. L. and Chen, Y. R., 1990. Eating dynamics of growing-finishing swine. *Transactions of the ASAE.* 33(6), 2011-2018.
6. Baxter, S., 1984. *Intensive Pig Production: Environmental Management and Design*. Granada, London.
7. StatSoft, 1994. *Statistica*, Tulsa, OK.

# ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

**Φ. Ν. Κουμπουλής\*** , **Μ. Γ. Σκαρπέτης\***,  
**Π. Γιαγλάρας\*\*** και **Κ. Κίττας\*\***

\*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,  
Πεδίον Άρεως Βόλος, Ελλάδα, e-mails: fkoumb@mie.uth.gr, miskarpe@mie.uth.gr

\*\*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής,  
Πεδίον Άρεως, Βόλος, Ελλάδα, e-mails: ckittas@uth.gr, panos@uth.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την εργασία μελετάται το πρόβλημα του ελέγχου θερμοκρασίας (ή υγρασίας) σε κατανεμημένα γεωργικά συστήματα με αλληλεπίδραση και επίδραση της υγρασίας και της θερμοκρασίας από το εξωτερικό περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά θα μπορούσαν να είναι γεωργικά κτίρια με πολλαπλά δωμάτια. Τα συστήματα αυτά περιέχουν κατανεμημένους ενεργοποιητές (θερμαντήρες, ξηραντήρες-υγραντήρες). Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την τεχνική της αποσύνδεσης εισόδων-εξόδων. Η παρούσα τεχνική παρουσιάζει σημαντικά αποτελέσματα αφού μετατρέπει την πολυμεταβλητή διεργασία σε πολλές μονομεταβλητές διεργασίες και η ευστάθεια του συστήματος κλειστού βρόχου μειώνει δραστικά την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος στις επιμέρους μονάδες.

## MULTIVARIABLE HUMIDITY AND TEMPERATURE CONTROL FOR AGRICULTURAL BUILDINGS

**F. N. Koumboulis\*** , **M. G. Skarpetis\***,  
**P. Giaglaras\*\*** and **K. Kittas\*\***

\*Department of Mech. and Ind. Eng., University of Thessaly,  
Pedion Areos, Volos, GREECE, e-mails: fkoumb@mie.uth.gr, miskarpe@mie.uth.gr

\*\*School of Agriculture, Crop & Animal Production, University of Thessaly,  
Pedion Areos, Volos, GREECE, e-mails: ckittas@uth.gr, panos@uth.gr

## ABSTRACT

The problem of controlling the temperature (and/or the humidity) of multichamber agricultural buildings, is studied. The thermal (or drying) actuators are distributed to the chambers, while the desired climate is in general different for each chamber. The climate characteristics of the chambers are influenced each other, while they are also influenced from the environment. The problem is treated using the input-output decoupling technique with simultaneous stabilization, via dynamic controllers.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα του ελέγχου του κλιματισμού γεωργικών κτιρίων έχει προσελκύσει αρκετό ενδιαφέρον (βλ. π.χ. [2-4]). Σε κατανεμημένα γεωργικά συστήματα με θερμική αλληλεπίδραση και επίδραση υγρασίας και θερμοκρασίας από το εξωτερικό περιβάλλον καθώς και με κατανεμημένους ενεργοποιητές (θερμαντήρες, ξηραντήρες-υγραντήρες), το πρόβλημα του ελέγχου παρουσιάζει εξαιρετική πολυπλοκότητα. Τέτοιου είδους κατανεμημένα συστήματα συναντώνται συνήθως σε θερμοκήπια με επιμέρους δωμάτια στα οποία η απαιτούνται συνήθως τα ίδια επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας με διαφορετικές διαταραχές από το εξωτερικό περιβάλλον για κάθε δωμάτιο (π.χ. διαφορετική απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω θέσης) [βλ. [5]].

Το πρόβλημα του ελέγχου σε τέτοια συστήματα εντάσσεται στα πλαίσια της βελτίωσης του εξοπλισμού του θερμοκηπίου (βλ. [6]) και ειδικότερα στην εφαρμογή κατάλληλου υλικού και λογισμικού. Το λογισμικό αναφέρεται σε ειδικές αποφάσεις που σχετίζονται με την αποδοτικότερη απόδοση των ενεργοποιητών σε σχέση με την όλη διεργασία. Ο στόχος είναι η βελτίωση της απόδοσης συνήθως χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οικονομικά κριτήρια. Ο λόγος για αυτό είναι το χαμηλό κόστος των σύγχρονων υπολογιστικών μονάδων ελέγχου (βλ. [1]). Σημειώνεται ότι στις συγκεκριμένες διεργασίες οι μεταβλητές απόδοσης ταυτίζονται με τις μετρούμενες μεταβλητές. Οι παραδοσιακές τεχνικές ελέγχου σε τέτοιου είδους διεργασίες είναι κυρίως αποσυγκεντρωμένου τύπου. Δηλαδή, οι ελεγκτές σχεδιάζονται με βάση κάθε χωριστό δωμάτιο του κατανεμημένου συστήματος και χρησιμοποιούν μετρήσεις από το συγκεκριμένο δωμάτιο.

Στην παρούσα εργασία προτείνεται μια τεχνική πολυμεταβλητού ελέγχου και ειδικότερα αυτή της αποσυζεύξης εισόδων-εξόδων με ταυτόχρονη ευσταθειοποίηση σε περιοχή. Η τεχνική στηρίζεται σε γραμμικοποιημένο μοντέλο που προκύπτει από αποτελέσματα ταυτοποίησης. Η παρούσα τεχνική παρουσιάζει σημαντικά αποτελέσματα: α) η πολυμεταβλητή διεργασία ανάγεται σε πολλές μονομεταβλητές διεργασίες β) κάθε εξωτερική είσοδος του συστήματος επηρεάζει μόνο μια έξοδο της διεργασίας και αντίστροφα μια έξοδο της διεργασίας επηρεάζεται από μια μόνο είσοδο της διεργασίας γ) η ευστάθεια του συστήματος κλειστού βρόχου μειώνει δραστικά την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος στις επιμέρους μονάδες.

## 2. ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η δομή του μοντέλου και μελετάται το πρόβλημα του ελέγχου της θερμοκρασίας (ή της υγρασίας)  $n$  γεωργικών μονάδων τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά (βλ Σχήμα 1). Επειδή η θερμοκρασία της μιας γεωργικής μονάδας επηρεάζει την θερμοκρασία της άλλης (πολυμεταβλητό σύστημα) το πρόβλημα του ελέγχου είναι πολύπλοκο. Είναι επιθυμητό να εφαρμοστεί ένας νόμος ελέγχου που θα αποσυζεύγει το πολυμεταβλητό σύστημα σε αντίστοιχα μονομεταβλητά συστήματα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ελεγχθούν με απλές τεχνικές ελέγχου.

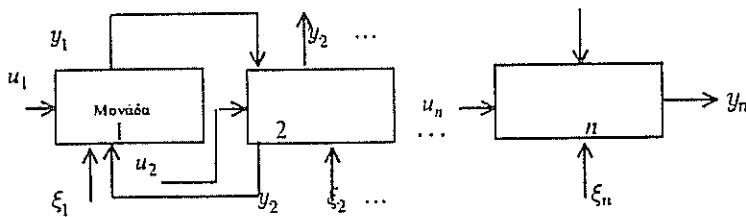
Το μοντέλο ενός τέτοιου συστήματος αλληλεπίδρασης είναι ισχυρά μη γραμμικό. Συνήθως βρίσκεται σε μια κατάσταση ισορροπίας και παρουσιάζει απολκίσεις γύρω από αυτήν. Έτσι προκύπτει ένα γραμμικοποιημένο μοντέλο το οποίο μετά από διακριτοποίηση μπορεί να έχει την ακόλουθη δομή

$$\begin{aligned}
A_n(q)y_n(k) &= B_n(q)u_n(k) + D_n(q)[y_n(k) - y_{n-1}(k)] + \xi_n(k) \\
A_{n-1}(q)y_{n-1}(k) &= B_{n-1}(q)u_{n-1}(k) + D_{n-1}(q)[y_{n-1}(k) - y_{n-2}(k)] + \\
&\quad E_{n-1}(q)[y_{n-1}(k) - y_n(k)] + \xi_{n-1}(k) \\
&\quad \vdots \\
A_2(q)y_2(k) &= B_2(q)u_2(k) + D_2(q)[y_2(k) - y_1(k)] + E_2(q)[y_2(k) - y_3(k)] + \xi_2(k) \\
A_1(q)y_1(k) &= B_1(q)u_1(k) + E_2(q)[y_1(k) - y_2(k)] + \xi_1(k)
\end{aligned}
\tag{1}$$

όπου  $y_i(k)$  συμβολίζει την θερμοκρασία (ή την υγρασία) της  $i$ -οστής γεωργικής μονάδας,  $\xi_i(k)$  συμβολίζει εξωτερικές διαταραχές θερμοκρασίας (ή υγρασίας). Οι  $A_i, B_i, E_i, D_i$  είναι πολυώνυμα του τελεστή προήγησης  $q$  και προσδιορίζουν την αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας ή της υγρασίας μεταξύ των γεωργικών μονάδων. Όπως είναι φανερό από τις παραπάνω εξισώσεις η θερμοκρασία (ή υγρασία) της  $i$ -οστής γεωργικής μονάδας εξαρτάται από τις θερμοκρασίες (ή δείκτες υγρασίας) της  $(i-1)$ -οστής και  $(i+1)$ -οστής μονάδας καθώς ακόμη από την επίδραση ενός θερμαντήρα (ή ξηραντήρα/υγραντήρα) καθώς ακόμη από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος (π.χ. για την θερμοκρασία η συναγωγή στα εξωτερικά τοιχώματα). Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η δομή ενός συστήματος δωματίων συνδεδεμένα το ένα με το άλλο σε σειρά



Η συστημική δομή της παραπάνω διάταξης παρουσιάζεται στο ακόλουθο χονδρικό διάγραμμα.



Σχήμα 1. Χονδρικό διάγραμμα συνδεδεμένων δωματίων

Ο σχεδιαστικός στόχος ελέγχου είναι το πολυμεταβλητό σύστημα (1) να μετατραπεί σε  $n$ -μονομεταβλητά συστήματα. Ο νόμος ελέγχου που προτείνεται είναι της μορφής [1]

$$\begin{aligned}
u_i(k) &= [B_i(q)]^{-1} \{-D_i(q)[y_i(k) - y_{i-1}(k)] - E_i(q)[y_i(k) - y_{i+1}(k)] + G_i(q)\Omega_i(k)\}, i = n, 1 \\
u_1(k) &= [B_1(q)]^{-1} \{-E_1(q)[y_1(k) - y_2(k)] + G_1(q)\Omega_1(k)\} \\
u_n(k) &= [B_n(q)]^{-1} \{-D_n(q)[y_n(k) - y_{n-1}(k)] + G_n(q)\Omega_n(k)\}
\end{aligned} \tag{2}$$

όπου  $\Omega_i(k)$  είναι η εξωτερική είσοδος. Εφαρμόζοντας το νόμο ελέγχου (2) στο σύστημα ανοικτού βρόχου (1) λαμβάνεται η ακόλουθη μορφή του συστήματος κλειστού βρόχου

$$A_i(q)y_i(k) = G_i(q)\Omega_i(k) + \xi_i(k), i = 1, \dots, n, k \geq 0 \tag{3}$$

όπως είναι φανερό ο σχεδιαστικός στόχος της αποσύζευξης εισόδων-εξόδων έχει επιτευχθεί.

Για να είναι υλοποιήσιμος ο νόμος ελέγχου θα πρέπει ο νόμος ελέγχου να είναι αιτιατός. Η συνθήκη για να είναι ο νόμος ελέγχου αιτιατός είναι η ακόλουθη

$$\deg[B_i(q)] \geq \deg[D_i(q)]$$

$$\deg[B_i(q)] \geq \deg[E_i(q)]$$

$$\deg[B_i(q)] \geq \deg[G_i(q)]$$

Ενώ για να είναι το σύστημα ανοικτού και κλειστού βρόχου αιτιατό θα πρέπει

$$\deg[A_i(q)] \geq \deg[B_i(q)]$$

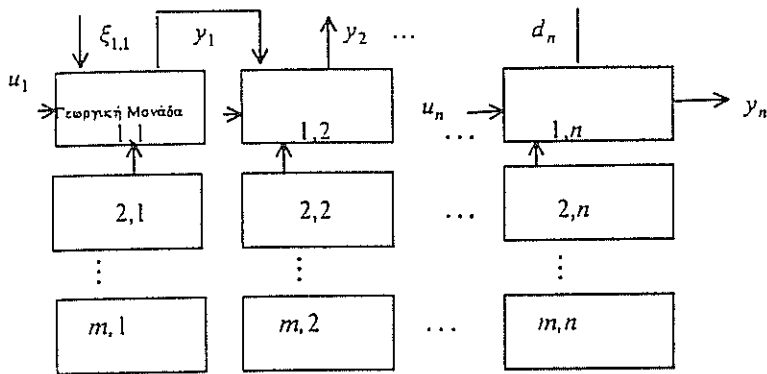
Εφόσον τα συστήματα κλειστού βρόχου είναι μονομεταβλητά, η ευσταθειοποίησή τους μπορεί να εξασφαλιστεί με μία πλειάδα τεχνικών (βλ. [1] και τις αναφορές σε αυτό).

### 3. ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΝΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Οι εξισώσεις διαφορών που χαρακτηρίζουν την θερμοκρασιακή συμπεριφορά ή την συμπεριφορά της υγρασίας των συνδεδεμένων σε ένα επίπεδο γεωργικών μονάδων δίνονται από τον ακόλουθο τύπο

$$\begin{aligned}
A_{i,j}(q)y_{i,j}(k) &= B_{i,j}(q)u_{i,j}(k) + L_{i,j}(q)[y_{i,j}(k) - y_{i-1,j}(k)] + \\
R_{i,j}(q)[y_{i,j}(k) - y_{i+1,j}(k)] &+ U_{i,j}(q)[y_{i,j}(k) - y_{i,j-1}(k)] + \\
D_{i,j}(q)[y_{i,j}(k) - y_{i,j+1}(k)] &+ \xi_{i,j}(k) \quad (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m)
\end{aligned} \tag{4}$$

όπου  $y_{i,j}(k)$  συμβολίζει την θερμοκρασία ή την υγρασία της  $i,j$ -οστής γεωργικής μονάδας,  $\xi_{i,j}(k)$  συμβολίζει εξωτερικές διαταραχές θερμοκρασίας ή υγρασίας. Οι συναρτήσεις  $A_{i,j}, B_{i,j}, R_{i,j}, L_{i,j}, U_{i,j}, D_{i,j}$  είναι συναρτήσεις του τελεστή προήγησης  $q$  και προσδιορίζουν την αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας ή της υγρασίας μεταξύ των γεωργικών μονάδων. Επίσης οι συναρτήσεις  $R_{i,j}, L_{i,j}, U_{i,j}, D_{i,j}$  μηδενίζονται στις γεωργικές μονάδες που δεν έχουν αριστερά, δεξιά, πάνω ή κάτω αντίστοιχα γεωργικές μονάδες (π.χ. για  $i=1, j=1$  ισχύει  $L_{i,j} = 0, U_{i,j} = 0$ ).



Σχήμα 2. Σχηματικό διάγραμμα ενός επιπέδου γεωργικών μονάδων

Ο σχεδιαστικός στόχος ελέγχου είναι το πολυμεταβλητό σύστημα (4) να μετατραπεί σε  $n \times m$ -μονομεταβλητά συστήματα. Ο νόμος ελέγχου που προτείνεται είναι της μορφής [1]

$$u_{i,j}(k) = -[B_{i,j}(q)]^{-1} \left\{ L_{i,j}(q)[y_{i,j}(k) - y_{i-1,j}(k)] + R_{i,j}(q)[y_{i,j}(k) - y_{i+1,j}(k)] + U_{i,j}(q)[y_{i,j}(k) - y_{i,j-1}(k)] + D_{i,j}(q)[y_{i,j}(k) - y_{i,j+1}(k)] - G_{i,j}(q)\Omega_{i,j}(k) \right\} \quad (5)$$

όπου  $\Omega_{i,j}(k)$  είναι η εξωτερική είσοδος  $i, j$ . Εφαρμόζοντας το νόμο ελέγχου (5) στο σύστημα ανοικτού βρόχου (4) λαμβάνεται η ακόλουθη μορφή του συστήματος κλειστού βρόχου

$$A_{i,j}(q)y_{i,j}(k) = G_{i,j}(q)\Omega_{i,j}(k) + \xi_{i,j}(k) \quad (i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m, \quad k \geq 0) \quad (6)$$

οπως είναι φανερό ο σχεδιαστικός στόχος της αποσύζευξης εισόδων-εξόδων έχει επιτευχθεί.

Για να είναι υλοποιήσιμος ο νόμος ελέγχου θα πρέπει ο νόμος ελέγχου να είναι αιτιατός. Η συνθήκη για να είναι ο νόμος ελέγχου αιτιατός είναι η ακόλουθη

$$\deg[B_{i,j}(q)] \geq \deg[L_{i,j}(q)]$$

$$\deg[B_{i,j}(q)] \geq \deg[R_{i,j}(q)]$$

$$\deg[B_{i,j}(q)] \geq \deg[U_{i,j}(q)]$$

$$\deg[B_{i,j}(q)] \geq \deg[D_{i,j}(q)]$$

$$\deg[B_{i,j}(q)] \geq \deg[G_{i,j}(q)]$$

Ενώ για να είναι το σύστημα ανοικτού και κλειστού βρόχου αιτιατό θα πρέπει

$$\deg[A_{i,j}(q)] \geq \deg[B_{i,j}(q)]$$

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία προτάθηκε η τεχνική της αποσύζευξης εισόδων εξόδων για διακριτά πολυμεταβλητά συστήματα γεωργικών εφαρμογών. Με την τεχνική της αποσύζευξης ο έλεγχος της θερμοκρασίας (ή της υγρασίας) των γεωργικών μονάδων (γεωργικά κτίρια με πολλά αλληλεπιδρόντα δωμάτια) μπορεί να αναχθεί στο αντίστοιχο πρόβλημα για μη αλληλεπιδρόντα δωμάτια. Η ίδια τεχνική ελέγχου μπορεί να εφαρμοστεί και σε γεωργικά κτίρια πολλών ορόφων με τρισδιάστατη αλληλεπίδραση.

Σε επόμενες μελέτες απαραίτητο είναι να εξαχθούν πειραματικά (ταυτοποίηση) και αιτιοκρατικά (φυσικοί νόμοι) μοντέλα για το πολυμεταβλητό σύστημα που περιγράφει αλληλεπιδρόντα δωμάτια θερμοκηπίων και να προκύψουν αποτελέσματα με εφαρμογή σε εργαστηριακή ή αληθινή διάταξη.

#### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Φ. Ν. Κουμπουλής, **Βιομηχανικός Έλεγχος**, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα 1999.
- [2] P. Young, L. Price, D. Bercksmans and K. Janssens "Recent Developments in the modelling and control of climate and ventilation in agricultural buildings", *Proc. of 1<sup>st</sup> IFAC Workshop on Control Applications and Ergonomics in Agriculture*, pp. 3-10, Athens, Greece, 1998.
- [3] P. C. Young, M.J. Lees, A. Chotai, W. Tych and Z. Chalabi, "Modelling and PID control of a glasshouse microclimate", *Control Eng. Practice*, Vol. 2, pp. 591-604, 1994.
- [4] T.S. Norris, B. J. Bailey, M.J. Lees and P. C. Young, "Design of a controller ventilation open-top chamber for climate change research", *Journal Agric. Eng. Research*, Vol. 64, pp. 279-288, 1996.
- [5] J. J. Hanan, F. A. Coker and K.L.Goldsberry, "A climate control for greenhouse research", *HortScience*, vol. 22, pp. 704-708, 1987.
- [6] A. Baille, "L' aide a la decision dans la gestion du climat sous serre: De nouvelles prespectives", *P.H.M.-Revue Horticole*, no. 315, pp. 5156, 1991.

# *Γεωργικά Μηχανήματα*





## **ΟΡΓΑΝΑ ΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΦΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΠΕΡΕΛΚΟΜΕΝΑ ΕΝΟΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ**

**Θ.Α.Γέμτος, Ι. Παπαθανασίου, Θ. Κυλινδρής, Χρ. Καραμούτης**

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίο Αρεως, 38334  
Βόλος, Τηλ: +3042174246, Fax: +3042174270 e-mail:gemtos@uth.gr

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Παρουσιάζονται τα όργανα για μέτρηση δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ ελκυστήρα και περελκομένων καθώς και της απορροφόμενης ισχύος κατά την έλξη και από τον δυναμοδότη. Οι δυνάμεις στο χώρο μετρούνται από έξι δυναμοκυψέλες που συνδέουν αρθρωτά δύο Π. Η γραμμική ταχύτητα μετράται με ραντάρ. Η μέτρηση της ροπής και της γωνιακής ταχύτητας γίνεται με όργανο που περιεμβάλεται μεταξύ δυναμοδότη και άξονα μετάδοσης της κίνησης. Τα παραγόμενα σήματα είναι είτε αναλογικά είτε ορθογωνικά που τροφοδοτούνται σε αντίστοιχες κάρτες και καταγράφονται στο σκληρό δίσκο Η/Υ. Παρουσιάζονται μετρήσεις με ένα περιστροφικό καλλιεργητή.

## **INSTRUMENTATION OF A TRACTOR TO MEASURE THE POWER ABSORBED BY IMPLEMENTS**

**T.A.Gemtos, J. Papathanassiou, Th. Kilindris, Chr. Karamoutis**

Laboratory of Farm Mechanization, University of Thessaly, Pedio Areos, 38334 Volos Tel:  
+3042174246, Fax: +3042174270 e-mail:gemtos@uth.gr

### **ABSTRACT**

The paper presents the instrumentation used to measure the forces developed between a farm tractor and implements during the work in the field as well as the absorbed power in traction and through the PTO. Forces in space are measured by six loading cells, which connect two Π-shaped frames. Tractor linear velocity is measured by radar. Moment and angular velocity of the PTO are measured by an instrument placed between the PTO and the transmission shaft. The signals produced are either analogue or square waves and after transformation or counting are stored in the hard disk of a laptop computer. Samples of data collected during measurements with a rotary cultivator are presented.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Η κατανάλωση ενέργειας για την εκτέλεση των γεωργικών εργασιών είναι ένας από τους παράγοντες που επιδρούν στο κόστος παραγωγής των γεωργικών προϊόντων. Για αυτό η μέτρηση της είναι απαραίτητη για την επιλογή συστημάτων που θα εξοικονομούν ενέργεια. Η γνώση των απαιτήσεων ισχύος του γεωργικού ελκυστήρα είναι ένα από τα στοιχεία επιλογής του, που ταυτόχρονα καθορίζει και το κόστος παραγωγής. Η γνώση των αναπτυσσόμενων δυνάμεων στα περιεκκόμενα γεωργικά μηχανήματα είναι απαραίτητη για τον ορθό σχεδιασμό και κατασκευή τους. Όλα τα πιο πάνω καλύπτονται από γεωργικούς ελκυστήρες που φέρουν όργανα ικανά να μετρήσουν και να καταγράψουν τα απαραίτητα στοιχεία. Τα απαραίτητα στοιχεία είναι ειδικότερα:

1. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στον χώρο μεταξύ ελκυστήρα και παρελκομένων.
2. Η γραμμική ταχύτητα του γεωργικού ελκυστήρα.
3. Η ροπή που αποδίδεται από τον δυναμοδότη του γεωργικού ελκυστήρα.
4. Η συχνότητα περιστροφής του δυναμοδότη
5. Η θέση του μηχανήματος που είναι ουσιαστικά το βάθος εργασίας του.

Επιπλέον χρήσιμα στοιχεία είναι:

1. Η κατανάλωση καυσίμου
2. Η συχνότητα περιστροφής των τροχών του γεωργικού ελκυστήρα.

Δεδομένου ότι τα μετρούμενα μεγέθη είναι δυναμικά με ευρείες διακυμάνσεις οι μετρήσεις πρέπει να είναι δυναμικές και η καταγραφή τους να γίνεται με υψηλή συχνότητα ώστε η δειγματοληψία να αντιστοιχεί με τα πραγματικά μεγέθη. Η μέτρηση της απαιτούμενης ισχύος των παρελκομένων ξεκίνησε μαζί με την Γεωργική Μηχανολογία στις αρχές του προηγούμενου αιώνα με μετρήσεις με μηχανικά δυναμόμετρα και καταγραφή σε κυλίνδρους που κινούνταν από τροχούς εδάφους. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν υδραυλικά και τέλος ηλεκτρικά δυναμόμετρα. Μια ανάλυση της βιβλιογραφίας για μέτρηση των δυνάμεων μεταξύ γεωργικού ελκυστήρα και παρελκομένων και για την καταγραφή τους δίδεται από τους Γέμτο και Τσρίκογλου (1995).

Για τον υπολογισμό της ισχύος που αποδίδεται μέσω του δυναμοδότη του γ.ε. απαιτείται η μέτρηση συνεχώς δύο στοιχείων. Της ροπής και της γωνιακής ταχύτητας. Η μέτρηση αυτή μπορεί να γίνει είτε με παρεμβολή ενός οργάνου μεταξύ του δυναμοδότη και του άξονα μετάδοσης της κινήσεως είτε με παρεμβολή του οργάνου πάνω στον άξονα είτε με προσθήκη των αισθητηρίων στον άξονα (Mushoda 1983, Luth et al. 1978, Coates και Lorenzen 1990). Τα όργανα αυτά στηρίζονται είτε στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είτε σε μέτρηση της παραμόρφωσης για την μέτρηση της ροπής. Η μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής γίνεται συνήθως με αισθητήρια με μαγνήτες. Η μεταφορά του σήματος από τα περιστρεφόμενα μέρη γίνεται με είτε ψήκτρες είτε με πομπό που περιστρέφεται μαζί με τον άξονα είτε με χρήση του φαινομένου των επαγωγικών ρευμάτων.

Η μέτρηση της ταχύτητας του γεωργικού ελκυστήρα, μπορεί να γίνει με τρεις μεθόδους:

α) Με χάραξη του χωραφιού (της διαδρομής) και χρονομέτρηση της κινήσεως σε γνωστά διαστήματα. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τυποποιημένες διαδρομές, αλλά όχι για τυχαίες κινήσεις μέσα στο χωράφι. Χρησιμοποιείται πολλές φορές για έλεγχο των άλλων οργάνων μετρήσεως της ταχύτητας.

β) Με μέτρηση της περιστροφής του τροχού σε επαφή με το έδαφος, σε συνδυασμό με ένα

χρονομετρητή. Η μέτρηση των στροφών μπορεί να γίνει είτε σε ανεξάρτητο τροχό είτε σε ένα από τους πρόσθιους τροχούς του γ.ε.

γ) Χρήση ραντάρ (φαινόμενο DOPPLER). Έχουν χρησιμοποιηθεί ραντάρ, τοποθετημένα σε ορισμένη θέση του γεωργικού ελκυστήρα, που με βάση τη διαφορά εξερχόμενου και επανερχόμενου σήματος, μετά από ανάκλαση στο έδαφος, δίνουν την ταχύτητα του γεωργικού ελκυστήρα.

Οι Torphins et al. (1988) συνέκριναν τις μεθόδους μέτρησης της γραμμικής ταχύτητας σε ποικίλες συνθήκες. Η μέθοδος μέτρησης με ραντάρ έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από την περίπτωση την υψηλής βλάστησης (βλάστηση μεγαλύτερη από 0,80 μέτρα). Αντίθετα οι τροχοί έδωσαν μεγαλύτερες αποκλίσεις και οι ερευνητές κατέληξαν ότι πρέπει να βαθμονομηθούν τα συστήματα κάθε φορά, σε συνθήκες των πραγματικών μετρήσεων.

Πολλές μέθοδοι καταγραφής των σημάτων που παράγουν τα αισθητήρια έχουν χρησιμοποιηθεί. Με την διευρυνση της χρήσης Η/Υ και την ταχύτερη βελτίωσή τους έγιναν πολλές εφαρμογές με ηλεκτρονική καταγραφή των μετρήσεων. Το σήμα των αισθητηρίων μεταδιδόταν είτε με πομπό σε πλησίον βρισκόμενο στατικό Η/Υ είτε μεταδιδόταν με καλώδια σε Η/Υ που βρίσκονταν στον γ.ε ή σε παραπλεύρως κινούμενο όχημα. Για λήψη του σήματος στον Η/Υ έπρεπε να μετατραπεί σε δυαδικό. Το σήμα εν συνεχεία αποθηκεύονταν αρχικά σε μαγνητικές ταινίες και σήμερα σε μαγνητικούς δίσκους. Στην δεκαετία του 1980 με την επέκταση της χρήσης προσωπικών Η/Υ, άρχισαν να χρησιμοποιούν τέτοιους υπολογιστές πάνω σε γ.ε. για την καταγραφή και επεξεργασία των σημάτων. Με την ανάπτυξη εξοπλισμού και λογισμικού για μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε δυαδικά με μεγάλη ταχύτητα (άνω των 100 kHz) δόθηκε η δυνατότητα μετρήσεων σε μεγάλες ταχύτητες που επέτρεψαν λήψη σημάτων σε χρόνους που πλησίαζαν τους πραγματικούς χρόνους των φαινομένων. Οι δυνατότητες τέτοιων συστημάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλες, με μεγάλη ευχέρεια υπολογισμών για μείωση του όγκου των στοιχείων.

Ένα σύστημα μετρήσεων δυνάμεων σε περιεκόμενα γ.μηχανήματα πρέπει να έχει σημαντικές δυνατότητες αποθήκευσης μεγάλου αριθμού στοιχείων αλλά και με μεγάλες συχνότητες. Είναι γνωστό ότι σύμφωνα με το θεώρημα του Shannon η καταγραφή ενός δυναμικού φαινομένου για να αποδίδει την πραγματικότητα θα πρέπει να δειγματοληπτεί με συχνότητα τουλάχιστον διπλάσια της υψηλότερης συχνότητας του φαινομένου (Doebelin 1983, Koecher και Sumner 1987). Κατά την μέτρηση διαφόρων γεωργικών εργαλείων αντιμετωπίζονται μεταβαλλόμενα φορτία που έχουν διάφορες συχνότητες. Στοιχεία της βιβλιογραφίας δίνουν συχνότητες για εργαλεία κατεργασίας του εδάφους της τάξεως των 10 Hz (Godwin et al. 1987) και για χορτοδοτικές της τάξεως των 100 Hz (Freeland et al. 1984). Στην βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί πολλές εργασίες για καταγραφή στοιχείων σε πραγματικό χρόνο (data acquisition systems in real time). Ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες των Palmer 1984, Shropshire 1983, Hayes 1986.

#### **ΥΔΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Ο γ.ε. με τα όργανα σχεδιάστηκαν για να καλύψουν τους ακόλουθους στόχους:

α) Ικανότητα μέτρησης αποδιδόμενης ισχύος από τον δυναμοδότη του γεωργικού ελκυστήρα στο παρεκόμενο.

β) Ικανότητα μέτρησης απαιτούμενων δυνάμεων μέσω του συστήματος σύνδεσης γεωργικού ελκυστήρα παρελκομένων (είτε με το άγκιστρο, είτε από τα τρία σημεία του υδραυλικού συστήματος). Οι δυνάμεις πρέπει να μετρώνται στο χώρο (τρεις διαστάσεις).

γ) Ικανότητα μετρήσεως της ταχύτητας του γεωργικού ελκυστήρα (γραμμική ταχύτητα).

δ) Ικανότητα μετρήσεως του βάθους εργασίας ή της θέσεως ως προς το έδαφος του παρελκομένου.

ε) Ικανότητα μετρήσεως της κατανάλωσης του καυσίμου του γεωργικού ελκυστήρα.

στ) Ικανότητα μετρήσεως του αριθμού στροφών των τροχών του γεωργικού ελκυστήρα (υπολογισμός ολισθήσεως).

ζ) Τα πιο πάνω στοιχεία πρέπει να είναι δυνατόν να καταγραφούν σε ένα σύστημα, που να βρίσκεται πάνω στο γεωργικό ελκυστήρα (αντοχή σε κραδασμούς), να ισχυοδοτείται είτε από το συσσωρευτή του γεωργικού ελκυστήρα (12 V), είτε από άλλο συσσωρευτή που να δίνει ικανοποιητική αυτονομία στο σύστημα, να έχει μικρή κατανάλωση ισχύος και να καταλαμβάνει μικρό χώρο.

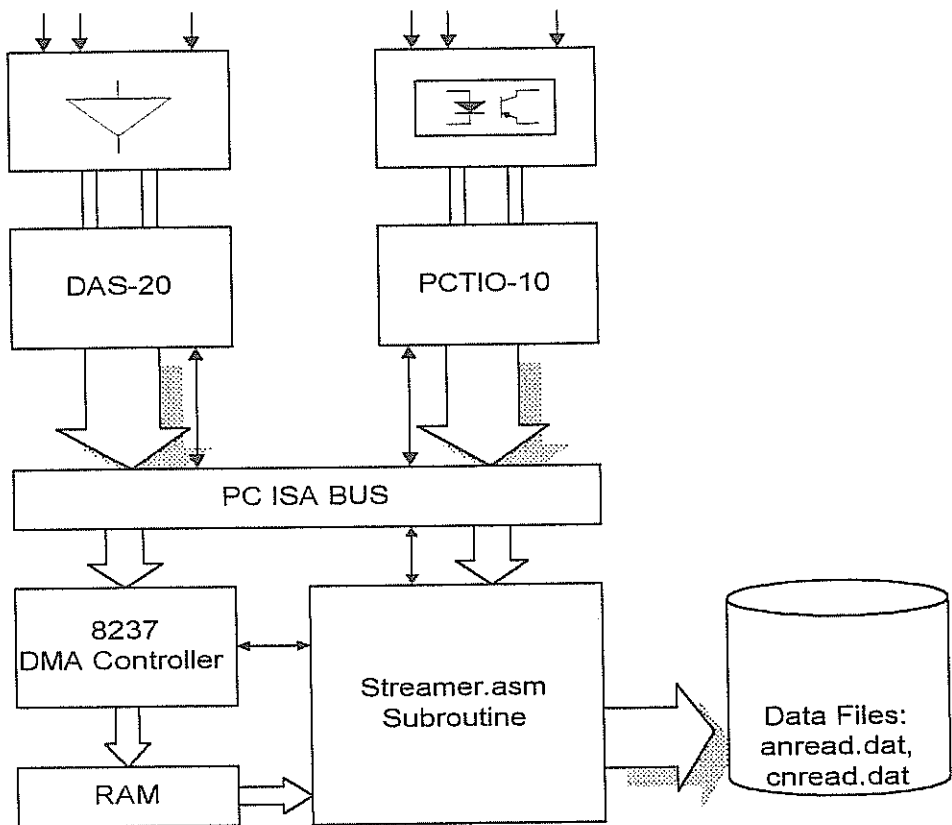
η) Πρέπει να έχει δυνατότητα καταγραφής με ταχύτητα πάνω από 1000 δείγματα το δευτερόλεπτο για κάθε αισθητήριο Το όργανο θα πρέπει να έχει αρκετό χώρο αποθήκευσης στοιχείων ή ικανότητα επεξεργασίας των στοιχείων για μείωση του αποθηκευτικού χώρου.

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται μέρος των οργάνων.

Για τη μέτρηση της απορροφόμενης ισχύος από το δυναμοδότη χρησιμοποιήθηκε ένα όργανο μέτρησης ροπής-γωνιακής ταχύτητας. Το όργανο ( DMS VI 1000) μετρά την ροπή με αισθητήριο παραμόρφωσης που παράγει μια τάση που είναι ανάλογη με το μέγεθος της ροπής. Η ταχύτητα μετράται με δύο αναγωγικές κεφαλές που παράγουν σήμα με 30 παλμούς για κάθε περιστροφή του άξονα. Για τη λειτουργία του, το όργανο πρέπει να συνδεθεί σταθερά με το γεωργικό ελκυστήρα, ώστε να παρεμβληθεί μεταξύ δυναμοδότη και του άξονα μετάδοσης κίνησης στο παρελκομένο. Δεδομένου ότι οι προδιαγραφές του οργάνου δεν επιτρέπουν σημαντικές πλάγιες τάσεις έγινε ειδική κατασκευή που επιτρέπει την αποφυγή τους. Κατασκευάστηκε ενισχυμένη πλάκα που κοχλιώθηκε στο γεωργικό ελκυστήρα. Κατασκευάστηκε άξονας που έχει από τη μία πλευρά υποδοχή για προσαρμογή στο δυναμοδότη και από την άλλη ένα κοίλο άξονα που συνδέεται με τον κυλινδρικό άξονα του οργάνου. Η σύνδεση γίνεται με ημικυκλικό πείρο που επιτρέπει μικρές κινήσεις που προκαλούνται από τις παραμορφώσεις των υλικών χωρίς να αναπτύσσονται πλάγιες τάσεις στο όργανο. Μια αντίστοιχη κατασκευή έγινε από την άλλη πλευρά που φέρει υποδοχή για την σύνδεση του άξονα μετάδοσης της περιστροφικής κίνησης στο παρελκόμενο. Το σύστημα των οργάνων και των δύο προσαρμογών στερεώνεται στην πλάκα με τρία κουζινέτα με ένσφαιρους τριβείς. Με την κατασκευή αυτή αποκλείονται πλάγιες τάσεις στο όργανο. Η επιμήκυνση του δυναμοδότη δεν δημιουργεί πρόβλημα καθώς ταιριάζει με την επέκταση προς τα πίσω των τριών σημείων ανάρτησης.

Για τη μέτρηση της ταχύτητας χρησιμοποιήθηκε ένα ραντάρ Το ραντάρ είναι κατασκευής της εταιρείας Dickey John και είναι ειδικά κατασκευασμένο για γ.ε. Το όργανο τοποθετήθηκε στο μέσο του γ.ε. μεταξύ πρόσθιου και οπίσθιου τροχού. Η στήριξη του οργάνου έγινε σε ειδική βάση στο πλαίσιο του ελκυστήρα. Το όργανο είχε σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή κλίση 35 μοιρών προς τα πίσω.

Για την πραγματοποίηση και την καταγραφή των μετρήσεων (data acquisition) χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός υπολογιστής σε σταθμό προσκόλλησης για την



Διάγραμμα 1. Αρχιτεκτονική Συστήματος

Προσαρμογή των δύο καρτών μέτρησης και πρόσκτησης μετρήσεων DAS20 και PCTIO-10 για την μέτρηση των αναλογικών σημάτων και την καταμέτρηση των παλμικών σημάτων αντίστοιχα.

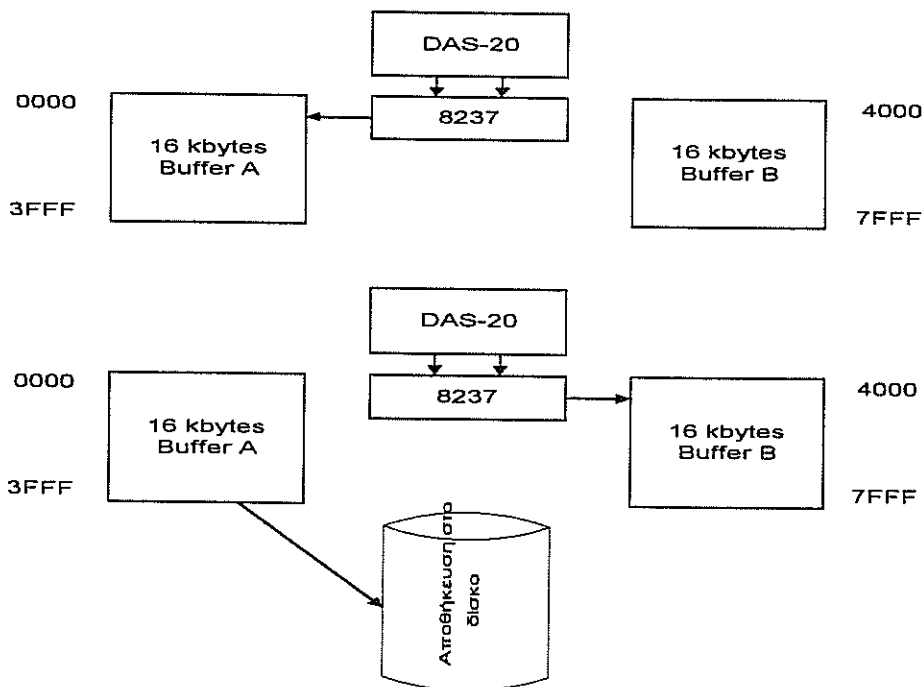
Το κυρίως λογισμικό που λειτουργεί ως επιφάνεια χρήστη, αναπτύχθηκε σε γλώσσα QBasic 4.0. Στα κρίσιμα μέρη του προγράμματος γίνεται κλήση σε υπορουτίνα γλώσσας μηχανής 80x86 που αποτελεί και τον πυρήνα της δειγματοληψίας. Τα αναλογικά σήματα των αισθητηρίων οδηγούνται για την απαραίτητη προσαρμογή (signal conditioning) στην κάρτα MB-01 πριν τροφοδοτηθούν στον A/D, ενώ στα παλμικά σήματα γίνεται προσαρμογή της στάθμης στα επίπεδα TTL και γαλβανική απομόνωση μέσω οπτοζευκτών (optocoupler). Η επιφάνεια χρήσης είναι υπεύθυνη για την παραμετροποίηση τόσο της DAS-20 όσο και της PCTIO-10 όσον αφορά στον τύπο των σημάτων που υποδέχονται οι δύο κάρτες αλλά και των ειδικών λειτουργικών χαρακτηριστικών.

Η συχνότητα δειγματοληψίας που επιτυγχάνεται είναι 1kHz για τα 7 κανάλια. Για την συνεχή καταγραφή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της Άμεσης Προσπέλασης Μνήμης (Direct Memory Access, DMA). Με την τεχνική αυτή είναι δυνατή η άμεση προσπέλαση της μνήμης RAM ενός συστήματος από περιφερειακές συσκευές χωρίς τη μεσολάβηση του μικροεπεξεργαστή. Η άμεση προσπέλαση γίνεται σε συγκεκριμένες φάσεις χρονισμού που ο επεξεργαστής δεν ζητά πρόσβαση στους διαύλους δεδομένων (data bus) και με τη βοήθεια του ελεγκτή άμεσης προσπέλασης 8237.

Για την απρόσκοπτη δειγματοληψία έχουν χρησιμοποιηθεί δύο περιοχές μνήμης (buffer) 16Kbytes (ή 8 kSamples) οι οποίες υποδέχονται τις μετρήσεις. Όταν πληρωθεί η πρώτη γίνεται μετάβαση στη δεύτερη, ενώ τα δεδομένα της πρώτης αποθηκεύονται στο σκληρό δίσκο σε αρχείο καταγραφής. Έτσι η πρώτη περιοχή μπορεί και πάλι να χρησιμοποιηθεί. Η υπο-ρουτίνα αυτή ταυτόχρονα και σε προγραμματισμένα διαστήματα διαβάζει τους απαριθμητές παλμών της PCTIO-10 και αποθηκεύει το αποτέλεσμα τους στο σκληρό δίσκο σε ξεχωριστό αρχείο καταγραφής. Ας σημειωθεί ότι ένας από τους απαριθμητές παλμών λειτουργεί ως αναφορά χρόνου απαριθμώντας τους παλμούς χρονισμού εσωτερικού ρολογιού.

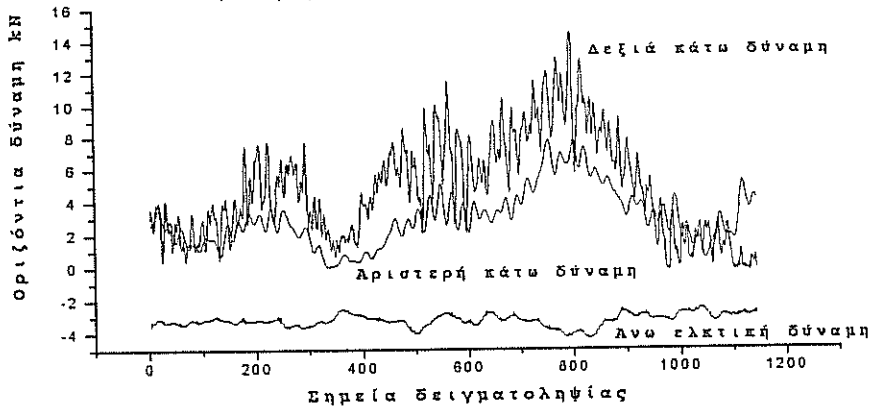
Ο έλεγχος των μετρήσεων του ραντάρ έγινε με κίνηση του γ.ε. σε ποικίλες διαδρομές και με διάφορες ταχύτητες διατηρώντας την θέση του μοχλού του πετρελαίου σταθερή. Η μέση ταχύτητα της κάθε διαδρομής υπολογίζονταν από τον χρόνο που κάλυπτε ο γ.ε. μια γνωστή απόσταση. Σε όλες τις περιπτώσεις η ταχύτητα που υπολογίζονταν δεν διέφερε από την μετρούμενη από το ραντάρ.

Ο έλεγχος του οργάνου μέτρησης έγινε με προσαρμογή ενός βραχίονα μήκους 1,5 μέτρων σε μια υποδοχή για τον άξονα του δυναμοδότη. Η τοποθέτηση γνωστών βαρών στο άκρο του βραχίονα με τον δυναμοδότη ακινητοποιημένο (με εμπλοκή) έδωσε ένα εύρος τιμών για βαθμονόμηση του οργάνου. Η ταχύτητα περιστροφής βαθμονομήθηκε με τη χρήση ενός στροβοσκοπικού στροφόμετρου.



Διάγραμμα 2. Μεταφορά δεδομένων στον σκληρό δίσκο

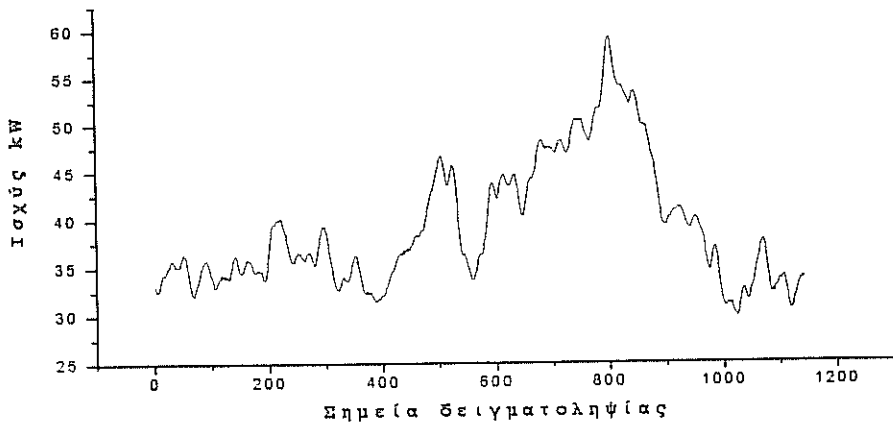
Διάγραμμα 3. Διαγράμματα οριζόντιων ελκτικών δυνάμεων του περιστροφικού καλλιεργητή



### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα όργανα στο γεωργικό ελκυστήρα χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της απορροφόμενης ισχύος και την κατανάλωση ενέργειας από ένα περιστροφικό καλλιεργητή. Τυπικές καμπύλες μιας μέτρησης φαίνονται στα διαγράμματα 3 και 4 :

Διάγραμμα 4. Απορροφόμενη ισχύς από το ΡΤΟ





Σύμφωνα με τα δεδομένα ο περιστροφικός καλλιεργητής απορρόφησε 7 Kw ισχύος στην έλξη και 39 kW στο δυναμοδότη.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα όργανα που κατασκευάστηκαν δίδουν την δυνατότητα:

1. Μετρήσεων της των αναπτυσσόμενων δυνάμεων μεταξύ γεωργικού ελκυστήρα και παραελκομένων σε διάφορους εκλυστήρες καθώς η αποσυναρμολόγηση και η μεταφορά τους είναι εύκολη.
2. Μετρήσεων της απορροφόμενης ισχύος από το δυναμοδότη του γεωργικού ελκυστήρα
3. Αποτελούν βασικό όργανο ανάπτυξης των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Coates W., Latenzen B (1990) Harvesting Guaynle Shrub by baling. Application Engineering in Agricultural 6(4) p390
2. Doebelin E.O. (1983) Measurement Systems. Application and Design. Third edition. McGraw Hill International
3. Freeland R.S., Tompkins F.D., Wilhelm L.R. Wilkerson J.B. (1984) Instrumentation for In-Field Energy Measurements of Pro-Driven Agricultural Implements. ASAE paper 84-1630.
4. Γέμτος Θ.Α. Τσιρίκογλου Θ.Ι. (199) Ο σχεδιασμός και η διαμόρφωση ενός συστήματος μέτρησης και καταγραφής των εξασκούμενων δυνάμεων από γεωργικό ελκυστήρα σε αναρτημένα γεωργικά μηχανήματα.
5. Godwin R.J. P.S.G. Magalhaes S.M. Miller R.K.Fry (1987) Instrumentation to Study the Force Systems and Vertical Dynamic Behaviour of Soil Engaging Implements J. Agr Engng Res (36). 301.
6. Hayes J.C., (1986) Agricultural Data Collection using a Briefcase Computer ASAE paper No Ser-86-304.
7. Kocher M.F. J.D. Sumners (1987) Design of Drawbar Transducers for Measuring Dynamic Forces. Trans ASAE p.70.
8. Luth H.J., Floyd V.G., Heise R.P. (1978) Evaluating Energy Requirements of Machines in the Field. ASAE paper No 78-1588.
9. Musonda N.G., Bigsby F.W., Zoerb G.C.(1983) Four Wheel Drive Tractor Instrumentation for Traction Studies. ASAE paper No 83-1554.
10. Palmer J. (1984) Automatic Collection of Data on Practical Use of Field Machines. ASAE paper No 84-1629.
11. Shropshire G.J., Woerman G.R., Bashford L.L., A Microprocessor Based Instrumentation System for Traction Studies. ASAE paper No83-1048.
12. Topkins F.D., Hert W.E., Freeland R.S., Wilkerson J.B., Wilhelm L.R., (1988) Comparison of Tractor Ground Speed Measurement Techniques. Trans ASAE 31(2) p.369.

# ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ, ΣΤΗΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Θ. Λέλλη, Α.Λουλούδη, Β.Λουλούδη  
Τ.Ε.Ι. Λάρισας Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πέντε επίπεδα συμπίεσης, τρία επίπεδα αρχικά περιεχόμενης υγρασίας εδάφους ένας τύπος εδάφους και δύο επίπεδα θερμοκρασίας ερευνηθήκαν σ' ένα πείραμα με τρεις επαναλήψεις. Το έδαφος ξηράθηκε στον αέρα και πέρασε από κόσκινο. Μετά την προπαρασκευή του το έδαφος τοποθετήθηκε σε μικρά πλαστικά σακουλάκια. Σε βάθος 30 mm τοποθετήθηκε ο σπόρος βαμβακιού. Τα δείγματα σε κάθε σακουλάκι συμπίεστηκαν στην συσκευή συμπίεσης. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ελέγχου περιβάλλοντος. Η άρδευση ήταν ομοιόμορφη. Σε κάθε δείγμα μετρήθηκε ο χρόνος φυτρώματος, η ημερήσια ανάπτυξη, η ξηρά ουσία ρίζας και υπέργειου μέρους.

## SOIL COMPACTION, MOISTURE AND TEMPERATURE EFFECTS ON THE GERMINATION OF COTTON AND INITIAL PLANT GROWTH.

Th. Lellis, A. Louloudi and B.Louloudi  
T.E.I. of Larissa Section of Farm machinery and Irrigation

## ABSTRACT

Five levels of compacting pressure, three levels of soil moisture content and two levels of temperature were investigated in a factorial design with three replications. The soil dried and passed through sieve of 5 mm holes. After preparation, the soil was put in to a plastic bag, a cotton seed (cv. Acala sj-2) was sown at 30 mm. The samples were compacted through a compacted machine. The bags were transferred to the chamber environmental control. The irrigation was uniform. In each sample were measured: emergence time of seeds, plant growth rate, plant dry matter and root dry matter.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο συμπίεση εδαφών εννοούμε την κατάσταση κατά την οποία ελαττώνεται ο όγκος του εδάφους ύστερα από πίεση που εξασκείται σ' αυτό. Η συμπίεση του εδάφους είναι ένας από τους παράγοντες που μειώνουν την γονιμότητα του εδάφους [1]. Πιστεύεται ότι, η μείωση της γονιμότητας των εδαφών εξαιτίας της συμπίεσης, δεν είναι εμφανής λόγω της αυξημένης χρήσεως χημικών λιπασμάτων.

Η εκμηχάνιση της καλλιέργειας και η αλόγιστη χρήση πολλών μηχανημάτων [2,6] σε συνδυασμό με την μονοκαλλιέργεια του βαμβακιού οδήγησε σε υπερβολική συμπίεση του εδάφους. Η συμπίεση καθορίζει τον όγκο και κυρίως την αναλογία των διαφόρων κατηγοριών πόρων ενός εδάφους [3].

Η μείωση του πορώδους, δημιουργεί προβλήματα στον αερισμό, στην κίνηση του νερού, στην ανάπτυξη των ριζών, στη θέρμανση του εδάφους καθώς επίσης και στην βλάστηση των σπόρων [4]. Επίσης μικρή αεροχωρητικότητα αυξάνει την απορροή του νερού και τη διάβρωση και μειώνει την δραστηριότητα έμβιων οργανισμών καθώς επίσης και τις στρεμματικές αποδόσεις [5].

Ο στόχος της έρευνας αυτής είναι η διερεύνηση του βαθμού συμπίεσης του εδάφους, της υγρασίας και θερμοκρασίας, σε ένα εδάφος, τύπου CL στον χρόνο βλάστησης του βαμβακιού καθώς και στην αρχική του ανάπτυξη. Αφορά πείραμα σε ειδικά δοχεία υπό ελεγχόμενες συνθήκες.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Πέντε επίπεδα συμπίεσης, τρία επίπεδα αρχικά περιεχόμενης υγρασίας εδάφους, ένας τύπος εδάφους και δυο επίπεδα θερμοκρασίας ερευνήθηκαν σε ένα πείραμα 5X3X1X2 με τρεις επαναλήψεις. Τα πέντε επίπεδα συμπίεσεως ήταν 0,50,100,200,400 κPa. Χρησιμοποιήθηκε έδαφος από βάθος 100 mm. Η μηχανική ανάλυση του εδάφους φαίνεται στο πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΣΤΣΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

Μέρη του εδάφους	Ποσοστό (%)	Χαρακτηρισμός εδάφους
Άμμος	27.3	CL
Ίλύς	40.5	
Αργίλλος	32.2	
Οργ. Ουσία	0.9	

Το έδαφος ξηράθηκε στον αέρα και πέρασε από κόσκινο διαμέτρου 5mm. Το έδαφος χωρίστηκε σε τρία μέρη. Το ένα μέρος παρέμεινε ξηρό. Στο δεύτερο μέρος και στο τρίτο μέρος προστέθηκε νερό για να γίνουν τα τρία επίπεδα υγρασίας. Το νερό προστέθηκε σιγά-σιγά με σύγχρονη αναμόχλευση του εδάφους ώστε η υγρασία να κατανεμηθεί ομοιόμορφα. Τα τρία επίπεδα της περιεχόμενης υγρασίας ήταν:  $M_1=21,25\%$  ξ.β,  $M_2=18,17\%$  ξ.β,  $M_3=15,42\%$  ξ.β.

Μετά την προπαρασκευή του το έδαφος τοποθετήθηκε σε πλαστικά σακουλάκια. Χρησιμοποιήθηκαν ενενήντα πλαστικά σακουλάκια (d ανοίγματος =150mm και h=170mm). Όλα τα σακουλάκια γέμισαν με τον ίδιο τύπο εδάφους. Αρχικά το έδαφος τοποθετήθηκε χαλαρό με τα χέρια και σ' ένα ύψος από την κορυφή

30mm. Στο σημείο αυτό τοποθετήθηκε ο σπόρος ποικιλίας (Acala SJ-2 με φυτρωτική ικανότητα 90% ) και καλύφθηκε από το ίδιο το έδαφος σε ύψος 30 mm για να σκεπασθεί ο σπόρος . Τα δείγματα σε κάθε σακουλάκι συμπίεστηκαν στην συσκευή συμπίεσεως[7] με ένα κύλινδρο διαμέτρου 80 mm και ύψους 120 mm και μετρήθηκε η πίεση που εξασκούσαν σε κάθε περίπτωση . Το εύρος των πιέσεων ήταν από 0-400 kPa. Μετά την συμπίεση μετρήθηκε η βύθιση για τον υπολογισμό της πυκνότητας .

Η όλη εργασία ολοκληρώθηκε σε 12 ώρες και καταγράφεται η ώρα που τελείωσε η κάθε μεταχείριση του κάθε δείγματος , το οποίο τοποθετήθηκε τυχαία για να μειωθούν τα αποτελέσματα από τον διαφορετικό χρόνο έναρξης της μεταχείρισης. Το όλο πείραμα ολοκληρώθηκε με την τυχαιοποίηση σε block με τρεις επαναλήψεις της κάθε μεταχείρισης. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε θαλάμους ελεγχόμενης ατμόσφαιρας. Η άρδευση ήταν ομοιόμορφη. Σε κάθε δείγμα μετρήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι [8].

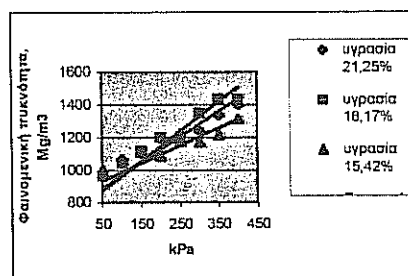
1. Βύθιση (mm) 2. Ο χρόνος φυτρώματος (ώρες) 3. Η μέση ημερήσια ανάπτυξη των φυτών ( mm/ημέρα) 4. Η υπέργειος ξηρά ουσία ( g ) 5. Η ξηρά ουσία των ριζών ( g ).

Στο τέλος της διαδικασίας του πειράματος το υπέργειο τμήμα του φυτού κόπηκε και αφού ξηράθηκε σε κλίβανο στους 103°C για 24 ώρες[9] μετρήθηκε η παραγόμενη ξηρά ουσία . Επίσης , η παραγόμενη ξηρά ουσία της ρίζας του δείγματος μετρήθηκε με τον εξής τρόπο: Τα δείγματα αφού απομακρύνθηκαν από το θάλαμο ελεγχόμενης ατμόσφαιρας , τοποθετήθηκαν σε σειρά κόσκινων με διάμετρο 2000-420 μ. Ακολούθησε έκπλυση με νερό υπό πίεση ώστε να απομακρυνθεί όλο το έδαφος και να παραμείνουν ακόμη και οι πιο μικρές σε μέγεθος ρίζες , οι οποίες μετέπειτα ξηράθηκαν σε κλίβανο στους 103 °C για 24 ώρες με σκοπό τον τελικό υπολογισμό της ξηράς ουσίας.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 3.1 Φαινομενική πυκνότητα του εδάφους(ΦΠΕ)

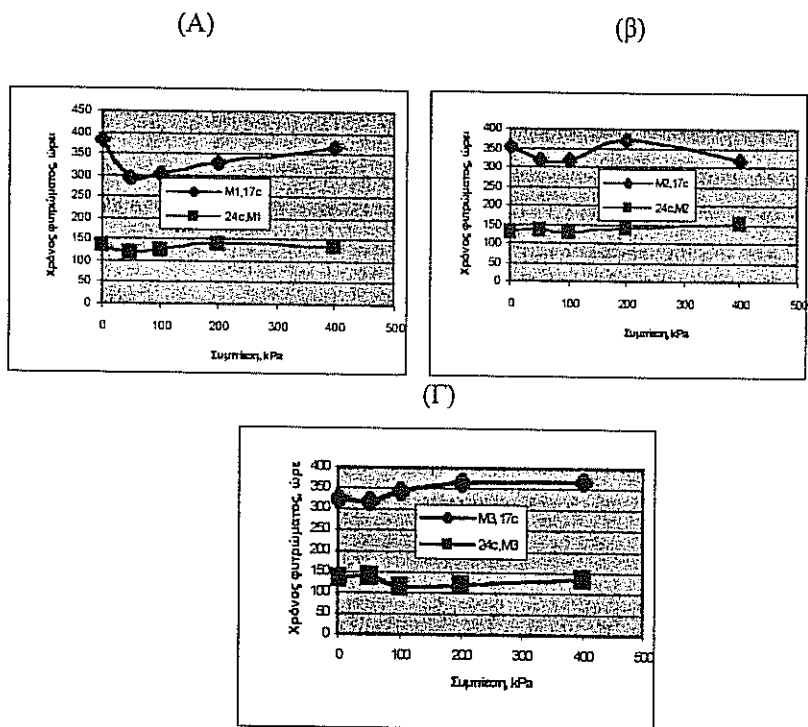
Η ΦΠΕ δίδεται σε ξηρό βάρος ανά μονάδα όγκου εδάφους. Από το σχήμα 1. Φαίνεται ότι σε επίπεδα συμπίεσης μεγαλύτερα των 200 kPa παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών της ΦΠΕ όταν αυξανόταν το επίπεδο υγρασίας και αυτό σχετίζεται με το φαινόμενο της εκδήλωσης των δυνάμεων συνάφειας. Η μέτρησή της έγινε με ζύγισμα και ογκομέτρηση των δειγμάτων.



Σχήμα 1. Επίδραση της συμπίεσης και της υγρασίας στην φαινομενική πυκνότητα

### 3.2 Επίδραση της συμπίεσης της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους στο χρόνο φυτρώματος.

Είναι φανερό ότι η θερμοκρασία επηρεάζει τις ώρες φυτρώματος του βαμβακιού.



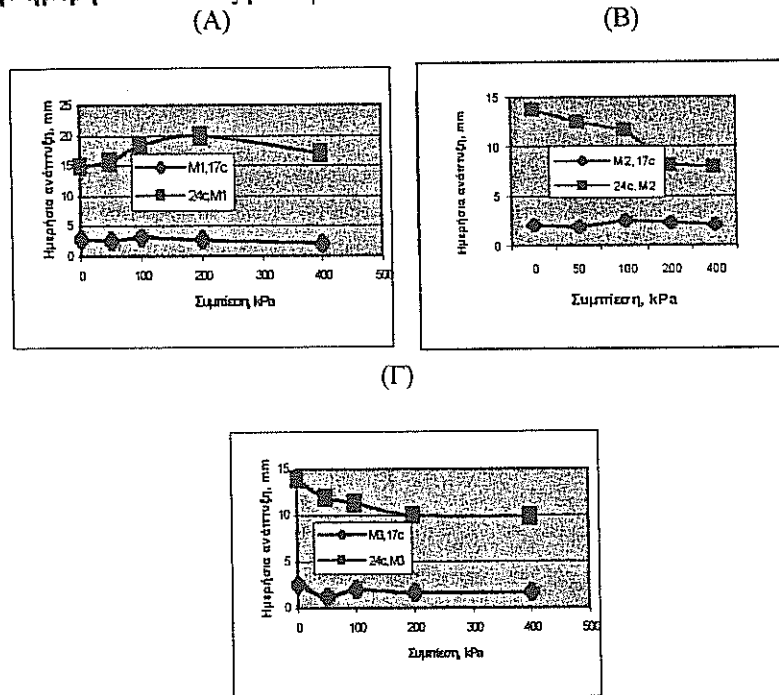
Σχ2. Επίδραση της συμπίεσης και της θερμοκρασίας στο χρόνο φυτρώματος του αυτού επιπέδου υγρασίας

Ειδικά για την αυτή υγρασία αλλά για διαφορετικές θερμοκρασίες (Σχ.3,Α) έχουμε ένα μ.ο. χρόνο φυτρώματος 336 ώρες στους 17 βαθμούς Κελσίου και 131 ώρες στους 24 βαθμούς Κελσίου. Ο ελάχιστος χρόνος φυτρώματος ήταν 294 και 119 και ο μέγιστος χρόνος φυτρώματος 383 και 143 ώρες αντιστοίχως.

Στην αυτή υγρασία αλλά για διαφορετικές θερμοκρασίες (Σχ.3,Β) έχουμε ένα μ.ο. χρόνο φυτρώματος 335 ώρες στους 17 βαθμούς Κελσίου και 136 ώρες στους 24 βαθμούς Κελσίου. Ο ελάχιστος χρόνος φυτρώματος ήταν 318 και 127 και ο μέγιστος χρόνος φυτρώματος 368 και 151 ώρες αντιστοίχως.

Επίσης στο (Σχ.3,Γ) έχουμε ένα μ.ο. χρόνο φυτρώματος 343 ώρες στους 17 βαθμούς Κελσίου και 128 ώρες στους 24 βαθμούς Κελσίου. Ο ελάχιστος χρόνος φυτρώματος ήταν 318 και 115 και ο μέγιστος χρόνος φυτρώματος 368 και 139 ώρες αντιστοίχως.

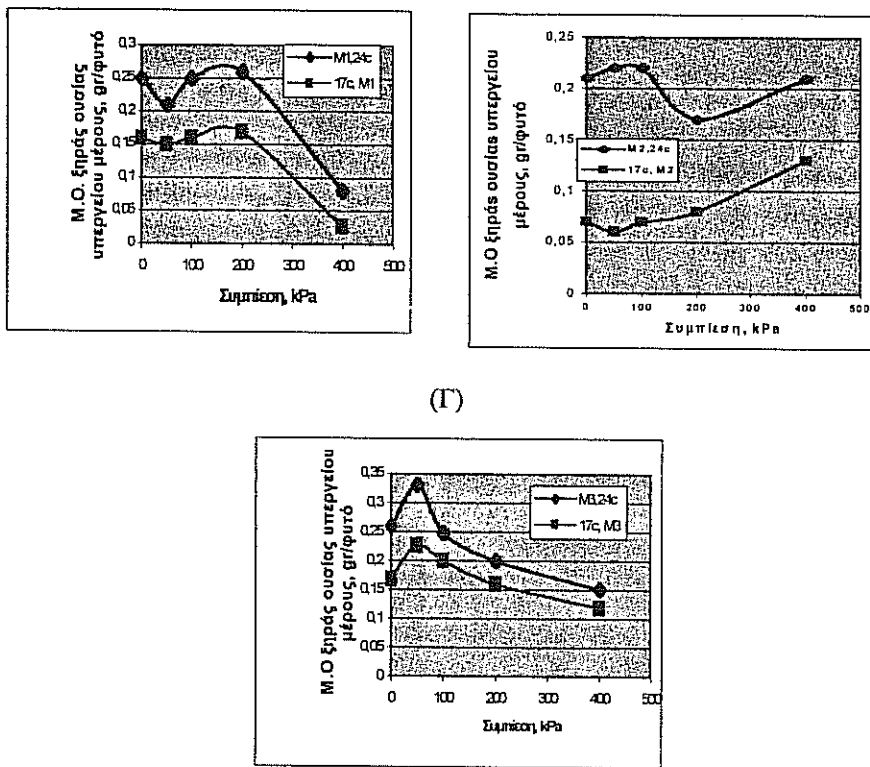
### 3.3 Η επίδραση της συμπίεσης της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους στην ημερήσια ανάπτυξη του φυτού



Σχ 3. Η επίδραση της συμπίεσης και της θερμοκρασίας στην ημερήσια ανάπτυξη του φυτού του αυτού επιπέδου υγρασίας.

Για την αυτή υγρασία αλλά για διαφορετικές θερμοκρασίες (Σχ 3,Α) έχουμε ένα μ.ο. ημερήσιας ανάπτυξης 2,71 mm στους 17 βαθμούς Κελσίου και 17 mm στους 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ημερήσια ανάπτυξη ήταν 2,1 mm και 14,9 mm και ο μέγιστη ημερήσια ανάπτυξη 3,2 mm και 20 mm αντιστοίχως. Στην αυτή υγρασία αλλά για διαφορετικές θερμοκρασίες (Σχ 3,Β) έχουμε ένα μ.ο. ημερήσιας ανάπτυξης 2,1 mm στους 17 βαθμούς Κελσίου και 10,7 mm στους 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ημερήσια ανάπτυξη ήταν 1,8 mm και 8 mm και ο μέγιστη ημερήσια ανάπτυξη 2,5 mm και 13,7 mm αντιστοίχως. Επίσης στο (Σχ 3,Γ) έχουμε ένα μ.ο. ημερήσιας ανάπτυξης 1,7 mm στους 17 βαθμούς Κελσίου και 11,2 mm στους 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ημερήσια ανάπτυξη ήταν 1,2 mm και 9 mm και η μέγιστη ημερήσια ανάπτυξη 2,5 mm και 13,9 mm αντιστοίχως.

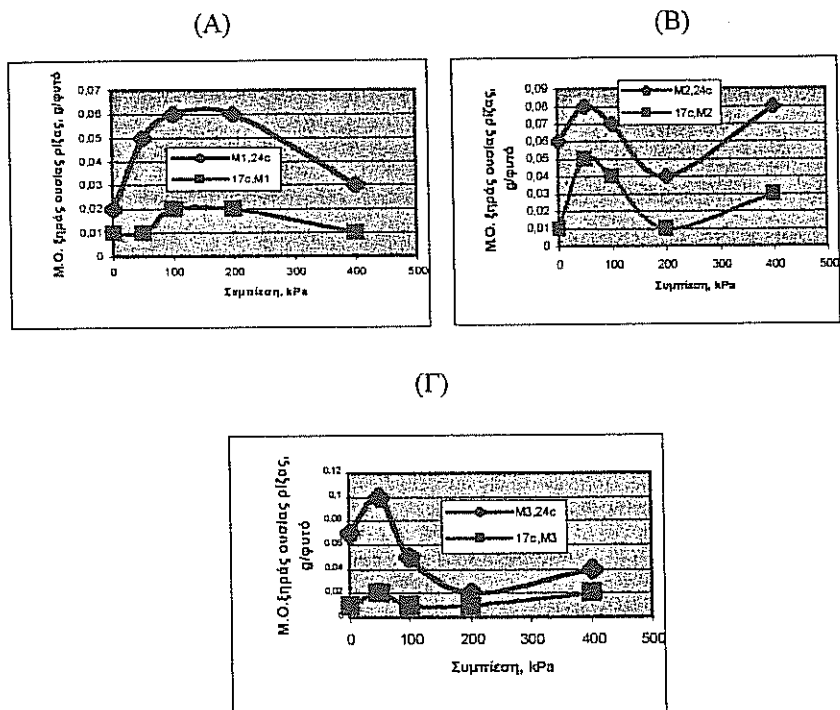
### 3.4 Επίδραση της συμπίεσης της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους στο υπέργειο τμήμα του βαμβακιού



Σχ 4. Επίδραση της συμπίεσης και της θερμοκρασίας στην ξηρά ουσία του υπέργειου μέρους του βαμβακιού του αυτού επιπέδου υγρασίας.

Ειδικά για την αυτή υγρασία αλλά για διαφορετικές θερμοκρασίες (Σχ 4,Α) έχουμε ένα μ.ο. ξηράς ουσίας υπέργειου μέρους 0,14 g στους 17 βαθμούς Κελσίου και 0,21 g στους 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ποσότητα ξηράς ουσίας υπέργειου τμήματος ήταν 0,1 και 0,08 g και η μέγιστη ποσότητα ξηράς ουσίας υπέργειου τμήματος 0,17 και 0,26 g αντιστοίχως. Στην αυτή υγρασία αλλά για διαφορετικές θερμοκρασίες (Σχ 4,Β) έχουμε ένα μ.ο. ξηράς ουσίας υπέργειου μέρους 0,08 g στους 17 βαθμούς Κελσίου και 0,20 g στους 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ποσότητα ξηράς ουσίας υπέργειου τμήματος ήταν 0,06 και 0,17 g και η μέγιστη ποσότητα ξηράς ουσίας υπέργειου τμήματος 0,13 και 0,22 g αντιστοίχως. Επίσης στο (Σχ 4,Γ) έχουμε ένα μ.ο. ξηράς ουσίας υπέργειου μέρους 0,15 g για 17 βαθμούς Κελσίου και 0,17 g για 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ποσότητα ξηράς ουσίας υπέργειου τμήματος ήταν 0,1 και 0,08 g και η μέγιστη ποσότητα ξηράς ουσίας υπέργειου τμήματος 0,2 και 0,33 g αντιστοίχως.

### 3.5 Η επίδραση της συμπίεσης, της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους στην ξηρά ουσία της ρίζας του βαμβακιού.



Σχ 5. Επίδραση της συμπίεσης και της θερμοκρασίας στη ρίζα του βαμβακιού για τα αυτά επίπεδα υγρασίας.

Ειδικά για την αυτή υγρασία αλλά για διαφορετικές θερμοκρασίες (Σχ5,Α) έχουμε ένα μ.ο. ξηράς ουσίας ρίζας 0,01 g στους 17 βαθμούς Κελσίου και 0,03 g στους 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ποσότητα ξηράς ουσίας ρίζας ήταν 0,01 και 0,02 g και η μέγιστη ποσότητα ξηράς ουσίας υπεργείου τμήματος 0,02 και 0,06 g αντιστοίχως. Στην αυτή υγρασία αλλά για διαφορετικές θερμοκρασίες (Σχ 5,Β) έχουμε ένα μ.ο. ξηράς ουσίας ρίζας 0,02 g στους 17 βαθμούς Κελσίου και 0,05 g στους 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ποσότητα ξηράς ουσίας ρίζας ήταν 0,01 και 0,04 g και η μέγιστη ποσότητα ξηράς ουσίας ρίζας 0,05 και 0,08 g αντιστοίχως. Επίσης στο (Σχ 5,Γ) έχουμε ένα μ.ο. ξηράς ουσίας ρίζας 0,016 g στους 17 βαθμούς Κελσίου και 0,052 g στους 24 βαθμούς Κελσίου. Η ελάχιστη ποσότητα ξηράς ουσίας ρίζας ήταν 0,01 και 0,02 g και η μέγιστη ποσότητα ξηράς ουσίας ρίζας 0,02 και 0,1 g αντιστοίχως.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

α) Οι σπόροι που τοποθετήθηκαν στη χαμηλότερη θερμοκρασία είχαν το διπλάσιο εύρος χρόνου φυτρώματος για όλα τα επίπεδα συμπίεσης από του σπόρους που τοποθετήθηκαν σε υψηλότερη θερμοκρασία.



- β) Αυξήθηκε ο χρόνος φυτρώματος μεταξύ 50 και 200 kPa για όλα τα επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας.
- γ) Μειώθηκε η ημερήσια ανάπτυξης του βαμβακιού, για υψηλότερα επίπεδα υγρασίας, με ελάχιστη αυξομείωση στη χαμηλή θερμοκρασία.
- δ) Υπάρχει τάση μείωσης της ξηράς ουσίας του υπέργειου μέρους του βαμβακιού για το πρώτο και τρίτο επίπεδο υγρασίας. Επίσης η χαμηλότερη θερμοκρασία για όλα τα επίπεδα συμπίεσης έδωσε χαμηλότερη ποσότητα ξηράς ουσίας.
- ε) Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες για όλα τα επίπεδα συμπίεσης υπάρχει τάση μείωσης της ξηράς ουσίας ρίζας

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Jerzy Lipiec , Inge HaËkansson. 2000. Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. *Soil & Tillage Research* 53, 87-94
2. Paolo Bazzof, Sergio Pellegrini, Andrea Rocchini, Miranda Morandi, Olga Grasselli. 1998. The effect of urban refuse compost and different tractors tyres on soil physical properties, soil erosion and maize yield. *Soil & Tillage Research* 48, 275-286
3. A. Marsili , P. Servadio , M. Pagliai , N. Vignozzi. 1998. Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber- and metal-tracked tractors. *Soil & Tillage Research* 49, 185-199
4. Johan Arvidsson. 1998. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments *Soil & Tillage Research* 49, 159-170
5. J. Arvidsson. 1998. Effects of cultivation depth in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens. *European Journal of Agronomy* 9, 79-85
6. M. Gysi, A. Ott, H. FluËhler. 1999. Influence of single passes with high wheel load on a structured, unploughed sandy loam soil. *Soil & Tillage Research* 52, 141-151
7. T.A.Gemtos, Th. Lellis. 1997. Effects of soil compaction, water and organic matter contents on emergence and initial plant growth of cotton and sugar beet. *J. agric. Engng. Res.* 66, 121-134
8. Trowse A C. 1971 Soil conditions as they affect plant establishment, root growth development and yield (A) present knowledge and need for research. *In compaction of agricultural soils, ASAE monograph, st Joseph, Michigan.*
9. American society of agricultural engineers standards. 1995. *ASAE Michigan*

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΕ ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ

Θ. Σταθάκος\* και Θ. Α. Γέμτος\*\*

\*Υποψήφιος Διδάκτορας, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας, Πεδίο Άρεως 38334 Βόλος

\*\*Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αγροτεμάχιο της κεντρικής Ελλάδας διεξήχθη μελέτη, κατά την οποία συγκρίθηκε ο γεωργικός εξοπλισμός που χρησιμοποιούν οι αγρότες της περιοχής για συμβατική καλλιέργεια βαμβακιού (άροτρο, ελαφρός καλλιεργητής, οδοντωτή σβάρνα), με σειρά μηχανημάτων για καλλιέργεια σε αναχώματα (υπεδαφοκαλλιεργητής-αυλακωτήρας, βολοκόπος-αυλακωτήρας, κύλινδρος). Η σειρά των μηχανημάτων καλλιέργειας σε αναχώματα εξοικονόμησε ενέργεια 1,36 kWh στο στρέμμα, ποσοστό 21,5%, από τα μηχανήματα συμβατικής κατεργασίας και πέτυχε σε υψηλότερο βαθμό θρυμματισμό του εδάφους, παρά τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

## A COMPARISON OF THE ENERGY CONSUMPTION FOR CONVENTIONAL AND RIDGES SOIL TILLAGE

T. Stathakos and T. A. Gemtos

### ABSTRACT

A field study was carried out in Central Greece, where the agricultural equipment used by local farmers for conventional cotton tillage (moldboard plow, spring tine cultivator and spike teeth harrow) were compared, with the machinery for ridge tillage (subsoiler – ridger, ground driven rotary cultivator – ridger and soil packer). The ridge tillage machinery saved 1,36 kWh per stremma (21,5% less than conventional tillage) and resulted in a higher degree of soil fragmentation, despite the lower energy consumption.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμβατική κατεργασία εδάφους για την καλλιέργεια βαμβακιού στην κεντρική Ελλάδα γίνεται ως εξής: Το Φθινόπωρο, το έδαφος οργώνεται με άροτρο και αφήνεται να χαλαρώσει κατά τη διάρκεια του χειμώνα υπό την επίδραση των κλιματικών συνθηκών ύγρανση - ξήρανση - παγετός. Τον Ιανουάριο - Φεβρουάριο οι παραγωγοί επεμβαίνουν με βαρύ ή ελαφρό καλλιεργητή για καταστροφή των ζιζανίων και μία αρχική αναμόχλευση του εδάφους. Στο τέλος Μαρτίου αρχίζει η προετοιμασία της σποροκλίνης για σπορά ενώ ταυτόχρονα γίνεται η εφαρμογή των χημικών λιπασμάτων και η χημική ζιζανιοκτονία. Η σπορά γίνεται από την αρχή έως το τέλος του Απριλίου ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες.

Μία μέθοδος κατεργασίας εδάφους, η οποία ξεκίνησε από τις Η.Π.Α. και εφαρμόζεται σε διάφορες άλλες χώρες, είναι η διαμόρφωση υπερυψωμένων σποροκλινών ή αναχωμάτων (ridge tillage). Η καλλιέργεια σε αναχώματα, είναι ένα καλλιεργητικό σύστημα κατά το οποίο ο σπόρος σπένεται πάνω σε αναχώματα, τα οποία διαμορφώνονται με ειδικά μηχανήματα. Είναι μία καλλιεργητική πρακτική που χρησιμοποιείται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο, με πολλές τροποποιήσεις αλλά με τον ίδιο σκοπό: να προετοιμάσει μία σποροκλίνη, η οποία ανυψώνεται πάνω από τη μέση επιφάνεια του χωραφιού (Hatfield et al. 1998). Η διαμόρφωση των αναχωμάτων στην κεντρική Ελλάδα γίνεται με σειρά μηχανημάτων που κατασκευάζει και διαθέτει στην αγορά μία ιδιωτική εταιρεία κατασκευής γεωργικών μηχανημάτων στη Λάρισα. Σύμφωνα με την καλλιεργητική τεχνική που εφαρμόζουν οι αγρότες της περιοχής, τα αναχώματα αρχικά σχηματίζονται κατά το Φθινοπωρινό όργωμα με πέρασμα υπεδαφοκαλλιεργητή-αυλακωτήρα. Την Άνοιξη εφαρμόζονται περάσματα για ψιλοχωμάτισμα και προετοιμασία της σποροκλίνης με βολοκόπο-αυλακωτήρα και πριν τη σπορά γίνεται συμπίεση των αναχωμάτων με κύλινδρο (Σταθάκος και Γέμος 1998).

Οι Burt et al. μελετώντας διάφορα συστήματα κατεργασίας εδάφους, βρήκαν ότι οι μέθοδοι κατεργασίας είχαν σημαντική επίδραση στην ενέργεια που απαιτείται για την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Η επιλογή ενός αποδοτικού μηχανήματος όπως ο υπεδαφοκαλλιεργητής στη θέση του αρότρου, μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις σε ενέργεια μέχρι 40% (Michel et al., 1985). Ο Smith (1994), εκτίμησε τις επιδράσεις της υπεδαφοκαλλιέργειας σε ξηρό αργιλώδες έδαφος σε σύγκριση με την πρακτική κατεργασίας με δισκοσβάρνα. Η φθινοπωρινή υπεδαφοκαλλιέργεια είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση στις αποδόσεις του βαμβακιού σε σύγκριση με την κατεργασία με δισκοσβάρνα, με στατιστικώς σημαντική την αύξηση στα τρία από τα τέσσερα έτη στην περιοχή χωρίς άρδευση. Η απόδοση αυξήθηκε κατά μέσο όρο 8,2 και 14,7% στις αρδευόμενες και στις μη αρδευόμενες περιοχές αντίστοιχα. Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας, απέδειξαν τη βελτιωμένη διήθηση και αποθήκευση νερού στο έδαφος που είχε εφαρμοστεί υπεδαφοκαλλιέργεια. Οι Mullins et al. (1997), μελετώντας τις επιδράσεις της υπεδαφοκαλλιέργειας στο βαμβάκι, βρήκαν ότι το αμμο-πηλώδες έδαφος είχε αναπτύξει έναν σκληρό ορίζοντα κάτω από το στρώμα οργώματος του αρότρου, και η υπεδαφοκαλλιέργεια σχίζοντάς τον, αύξησε τις αποδόσεις του βαμβακιού κατά μέσο όρο τριών ετών 22%. Τα πειράματα καλλιέργειας εδάφους των Schwab et al. (1997) στην Alabama, των Η.Π.Α., έδειξαν ότι η βαθιά κατεργασία (υπεδαφοκαλλιέργεια ή υπεδαφοκαλλιέργεια με δημιουργία αναχωμάτων) είχε ως αποτέλεσμα ταχύτερη στράγγιση εδάφους και εμφάνισε βελτιωμένο ριζικό σύστημα βαμβακιού, σε σύγκριση με τη συμβατική καλλιέργεια. Η μέγιστη στράγγιση ήταν στην κατεργασία της υπεδαφοκαλλιέργειας με δημιουργία αναχωμάτων, η οποία μείωσε την

αντίσταση του εδάφους και αύξησε την ανάπτυξη του φυτού και τη χρήση της εδαφικής υγρασίας.

Ο αντικειμενικός σκοπός της εργασίας αυτής, ήταν η σύγκριση των απαιτήσεων σε ενέργεια και του βαθμού θρυμματισμού του εδάφους του γεωργικού εξοπλισμού για συμβατική καλλιέργεια βαμβακιού και καλλιέργεια σε αναχώματα.

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η μελέτη υλοποιήθηκε τους μήνες Ιούνιο - Ιούλιο του 1999, σε αγροτεμάχιο της περιοχής Χάλκης του νομού Λάρισας, του οποίου η μηχανική σύσταση ήταν άμμος 27,5%, ιλύς 30,1% και άργιλος 42,4%. Το αγροτεμάχιο ήταν ισοπεδωμένο. Η προηγούμενη καλλιέργεια του τεμαχίου ήταν σιτάρι (*Triticum durum*). Τα φυτικά υπολείμματα της καλλιέργειας τεμαχίστηκαν με στελεχοκόπτη, μετά τη συγκέντρωση και απομάκρυνση του αχύρου.

Για τη συμβατική μέθοδο, η πρωτογενής καλλιέργεια έγινε χρησιμοποιώντας άροτρο Kverneland MZ, τριών υνιών, 30 cm πλάτους κοπής για κάθε υνί. Η επόμενη κατεργασία, έγινε για προετοιμασία της σποροκλίνης με ελαφρό καλλιεργητή Ελληνικής κατασκευής τύπου Becker, ο οποίος έφερε 30 ελατηριωτά σώματα σχήματος S, διατεταγμένα σε τέσσερις σειρές και είχε πλάτος εργασίας 3,36 m. Στο πίσω μέρος του πλαισίου του καλλιεργητή στηριζόταν αρθρωτά πλαίσιο δύο βολοκόπων με οδοντωτά ελάσματα. Η τελική κατεργασία έγινε με οδοντωτή σβάρνα επίσης Ελληνικής κατασκευής τύπου Becker, η οποία έφερε 60 σταθερά, κατακόρυφα σώματα, τα οποία ήταν συρόμενα δια μέσου αλυσίδας. Το πλάτος εργασίας της σβάρνας ήταν 3,36 m.

Για τη μέθοδο καλλιέργειας σε αναχώματα, χρησιμοποιήθηκε η σειρά μηχανημάτων που κατασκευάζει και διαθέτει στην αγορά μία ιδιωτική εταιρεία κατασκευής γεωργικών μηχανημάτων στη Λάρισα. Η πρωτογενής κατεργασία έγινε με τον υπεδαφοκαλλιεργητή - αυλακωτήρα, ένα σύνθετο μηχάνημα, στο οποίο τα στελέχη είναι διατεταγμένα σε δύο σειρές, τρία στην πρώτη σειρά και δύο στη δεύτερη, τα οποία απέχουν μεταξύ τους 48 cm. Στο πίσω μέρος του πλαισίου είναι προσαρμοσμένοι τρεις αυλακωτήρες με υνί και αναστρεπτήρες με άνοιγμα 65 cm. Το πλάτος εργασίας του μηχανήματος είναι 192 cm. Οι κατεργασίες για προετοιμασία της σποροκλίνης έγιναν με τον βολοκόπο - αυλακωτήρα, ένα σύνθετο μηχάνημα που αποτελείται από δύο οδοντωτούς κύλινδρους που συνδέονται μεταξύ τους μέσω αλυσίδας και γραναζιών με διαφορετικό αριθμό δοντιών και ο πρόσθιος κινεί τον οπίσθιο με μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής. Τα σώματα κάθε κύλινδρου είναι διατεταγμένα ανά τρία σε ομάδες σχήματος αστεριού, οι οποίες απέχουν μεταξύ τους 15 cm. Ο πρόσθιος κύλινδρος φέρει 13 ομάδες και ο οπίσθιος 12. Το πλάτος εργασίας του μηχανήματος είναι 192 cm. Στο πίσω μέρος του πλαισίου είναι προσαρμοσμένοι αυλακωτήρες με υνί και αναστρεπτήρες. Ο κύλινδρος συμπίεσης (σχήμα 3) είναι ένα σύνθετο μηχάνημα, το οποίο στο μπροστινό μέρος του πλαισίου έχει προσαρμοσμένους αυλακωτήρες. Στο πίσω μέρος του πλαισίου συνδέεται αρθρωτά μέσω ελατηρίων ρύθμισης πίεσης ένα σύστημα κύλινδρων, το σχήμα των οποίων είναι αντίστοιχο των αναχωμάτων.

Γεωργικός ελκυστήρας ισχύος 80 HP (58 kW), χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της απόδοσης των μηχανημάτων καλλιέργειας σε αναχώματα και της συμβατικής. Στον ελκυστήρα εγκαταστάθηκε εξοπλισμός ηλεκτρονικής καταγραφής της διακύμανσης της ελκτικής δύναμης που ασκεί ο γεωργικός ελκυστήρας στο μηχάνημα κατά την εργασία του στο χωράφι (Τσιρίκογλου και Γέμτος 1998). Ο εξοπλισμός αυτός κατασκευάστηκε και βαθμονομήθηκε από το Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Αποτελείται από δυναμοκυψέλες, το αναλογικό σήμα εξόδου των οποίων,

αφού μετατραπεί σε ψηφιακό με τη χρήση μετατροπέα A/D, αποθηκεύεται στη μνήμη ηλεκτρονικού υπολογιστή PC 386. Η σειρά και η συχνότητα δειγματοληψίας προγραμματίστηκαν.

Η ελκτική δύναμη κάθε μηχανήματος μετρήθηκε σε δύο ταχύτητες εργασίας του ελκυστήρα και σε κάθε ταχύτητα πάρθηκαν δύο μετρήσεις. Ο ίδιος μέγιστος αριθμός στροφών του κινητήρα, 2500 rpm, χρησιμοποιήθηκε για κάθε ταχύτητα και κάθε μηχανήμα. Το βάθος εργασίας των μηχανημάτων ρυθμιζόνταν από τους μοχλούς ρύθμισης βάθους και έλξης του υδραυλικού συστήματος του ελκυστήρα. Για το άροτρο και τον υπεδάφοκαλλιεργητή - αυλακωτήρα το βάθος εργασίας ρυθμίστηκε στα 27 cm, για τον ελαφρό καλλιεργητή και το βολοκόπο - αυλακωτήρα στα 9 cm, για την οδοντωτή σβάρνα στα 4 cm και ο κύλινδρος ρυθμίστηκε ώστε να κινείται χωρίς να συσσωρεύει χώματα.

Μετρήθηκε η ταχύτητα εργασίας του ελκυστήρα με όλα τα μηχανήματα. Εκτιμήθηκε το ποσοστό ολίσθησης του ελκυστήρα με όλα τα μηχανήματα, από τη θεωρητική ταχύτητα του ελκυστήρα στον ίδιο αριθμό στροφών σύμφωνα με τις τιμές του κατασκευαστή και τη μετρούμενη ταχύτητα εργασίας. Υπολογίστηκε η απαιτούμενη ισχύς έλξης των μηχανημάτων, ο ρυθμός κατεργασίας του εδάφους και η κατανάλωση ενέργειας των μηχανημάτων ανά στρέμμα.

Η αντίσταση του εδάφους σε διείσδυση (cone index), προσδιορίστηκε με μηχανικό διεισδυσιόμετρο, με βάση κώνου 129 mm<sup>2</sup>, και γωνία 30° (ASAE Standards 1997). Οι διεισδύσεις έγιναν σε 6 βάθη, βάθος κώνου 5, 15, 25, 35 και 45 cm. Για το φαινόμενο ειδικό βάρος και την υγρασία του εδάφους λήφθηκαν δείγματα από 0-5 και 5-10 cm βάθος, με τη χρήση κυλινδρικού δειγματολήπτη εσωτερικής διαμέτρου 10 cm και ύψους 5 cm, που εισχωρούσε στο έδαφος με χτυπήματα σφυριού. Τα κυλινδρικά δείγματα εδάφους κλεινόταν αεροστεγώς και μεταφερόταν στο εργαστήριο, ζυγίζονταν και ξηραίνονταν σε κλίβανο στους 105°C για 24 ώρες.

Η συνοχή του εδάφους και η γωνία εσωτερικής τριβής, μετρήθηκαν με τη χρήση διατμητικού κιβωτίου. Στο διατμητικό κιβώτιο διαμέτρου 4 cm, εφαρμόζονταν περιστροφική ροπή, χωρίς ή με προσθήκη κατακόρυφων φορτίων 1, 2, 3, 5, 6, 7 και 8 kg, η οποία προκαλούσε διάτμηση του εδάφους. Η μέγιστη ροπή καταγράφονταν από ψηφιακό ροτόμετρο από την οποία προέκυψε η τάση διάτμησης (Γέμτος 1994). Από τα ζεύγη τιμών της τάσης διάτμησης με το κατακόρυφο φορτίο, υπολογίστηκε με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων η ευθεία, από την οποία προκύπτει ο συντελεστής συνοχής του εδάφους και η γωνία εσωτερικής τριβής. Με ανάλογη διαδικασία υπολογίστηκε η συνάφεια δύο δίσκων με το έδαφος και η γωνία τριβής τους. Οι δίσκοι είχαν διαμέτρους 4,55 και 5,25 cm και προέρχονταν από υλικό κατασκευής στρώσεων αρότρου TERRA και KVERNELAND αντίστοιχα (θεωρήθηκε ότι το υλικό κατασκευής των αυλακωτήρων ήταν όμοιο με εκείνο των στρώσεων αρότρου TERRA).

Ο βαθμός θρυμματισμού του εδάφους που προκλήθηκε από τους καλλιεργητικούς χειρισμούς, εκτιμήθηκε με δειγματοληψία εδάφους της σποροκλίνης για την κατανομή των ξηρών συσσωματωμάτων, χρησιμοποιώντας δύο μεθόδους. Τη μέθοδο υπολογισμού της διαμέτρου μέσου βάρους MWD (*meanweight diameter*) και τη μέθοδο υπολογισμού της γεωμετρικής μέσης διαμέτρου GMD (*geometric mean diameter*) (Kempfer and Rosenau 1986). Η δειγματοληψία έλαβε χώρα στις αντίστοιχες ημερομηνίες κάθε κατεργασίας. Δύο δείγματα λήφθηκαν από την κατεργασία κάθε μηχανήματος. Συλλέχθηκαν όλα τα δείγματα και αφέθηκαν στον ήλιο για ξήρανση. Κατόπιν μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκε καθένα σε συσκευή με διαδοχικά κόσκινα. Στη συσκευή, κάθε δείγμα εδάφους κινήθηκε

παλινδρομικά και διαχωρίστηκε σύμφωνα με τις σπές από τα κόσκινα σε κατηγορίες διαμέτρου 0,5, 1, 2, 4, 8, και >8 cm, οι οποίες επίσης ζυγίστηκαν.

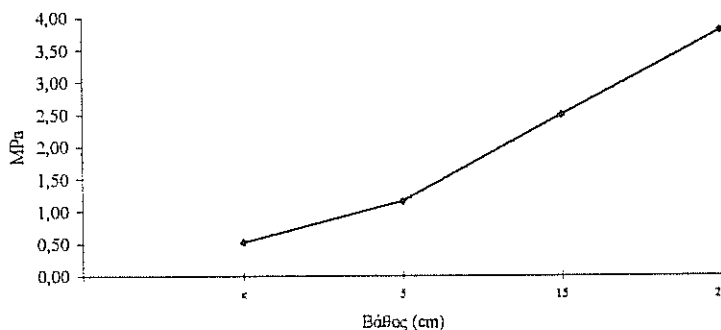
### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι αρχικές ιδιότητες του εδάφους παρουσιάζονται στον πίνακα 1 και το διάγραμμα 1. Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους σε βάθος 0-5 cm ήταν  $1,03 \text{ gr/cm}^3$  και σε βάθος 5-10 cm,  $1,22 \text{ gr/cm}^3$  (πίνακας 1). Η σχετική υγρασία του εδάφους σε ξηρή βάση σε βάθος 0-5 cm ήταν 0,07 % και σε βάθος 5-10 cm, 0,09 %. Οι τιμές αυτές, δείχνουν ότι το έδαφος ήταν ξηρό και συμπιεσμένο. Η αντίσταση του εδάφους σε διείσδυση, μετά τα 25 cm δε μετρήθηκε λόγω των πολύ υψηλών τιμών που έφτανε (διάγραμμα 1). Ο συντελεστής συνοχής του εδάφους ήταν 54,6 kPa, η εφαπτομένη της γωνίας εσωτερικής τριβής του εδάφους ήταν 2,827 και προκύπτει ότι η γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους ήταν  $70,5^{\circ}$  (διάγραμμα 2). Με χρήση μικρού δίσκου ο συντελεστής συνάφειας υπολογίστηκε -0,14 kPa, η εφαπτομένη της γωνίας τριβής 0,428 και η γωνία τριβής  $23,2^{\circ}$ . Με χρήση μεγάλου δίσκου ο συντελεστής συνάφειας υπολογίστηκε -1,35 kPa, η εφαπτομένη της γωνίας τριβής 0,507 και η γωνία τριβής  $26,9^{\circ}$ .

Πίνακας 1. Φυσικές ιδιότητες του εδάφους.

Βάθος μέτρησης (cm)	0-5	5-10
Φαινόμενο Ειδικό Βάρος ( $\text{gr/cm}^3$ )	1,03	1,22
Υγρασία (%)	0,07	0,09

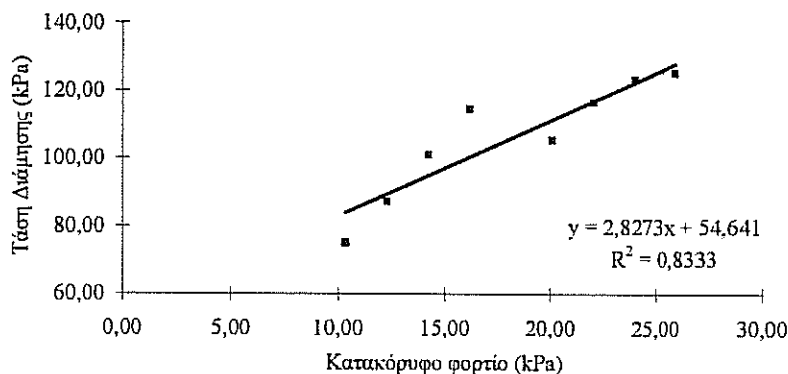
Διάγραμμα 1. Αντίσταση του εδάφους σε διείσδυση (cone index).



Τα αποτελέσματα μετρήσεων των ελκτικών δυνάμεων παρουσιάζονται στους πίνακες 2 και 3. Στην πρωτογενή καλλιέργεια, η ελκτική δύναμη ήταν μεγαλύτερη στον υπεδαφοκαλλιεργητή – αυλακωτήρα από το άροτρο κατά 6,93 kN, ποσοστό 44,8%, σε βάθος εργασίας 27 cm. Η ταχύτητα εργασίας ήταν μεγαλύτερη στο άροτρο κατά 1,33 km/h και η ολίσθηση, σχετιζόμενη με την ελκτική δύναμη, ήταν μεγαλύτερη στον υπεδαφοκαλλιεργητή. Ως εκ τούτου, η ισχύς που απαιτήθηκε για την έλξη των μηχανημάτων ήταν 23,82 kW για το άροτρο και 26,06 kW για τον υπεδαφοκαλλιεργητή. Ωστόσο όμως, λόγω μεγαλύτερου πλάτους εργασίας (1,92 έναντι 0,9 m), η απόδοση του υπεδαφοκαλλιεργητή ήταν ταχύτερη κατά 3,06 στρ./h από το άροτρο, ποσοστό 61,7%. Κατά συνέπεια, η κατανάλωση ενέργειας ανά στρέμμα ήταν

4,78 kWh για το άροτρο και 3,24 kWh για τον υπεδαφοκαλλιεργητή – αυλακωτήρα, δηλαδή 1,54 kWh απαιτούνται επιπλέον για την κατεργασία ενός στρέμματος με άροτρο. Το άροτρο χρειάστηκε 8,5% μικρότερη ισχύ κινητήρα για έλξη και ο υπεδαφοκαλλιεργητής εξοικονόμησε 38,2% χρόνο εργασίας, και 32,2% ενέργεια.

Διάγραμμα 2. Συντελεστής συνοχής και γωνία εσωτερικής τριβής εδάφους.



Από τη σύγκριση των μηχανημάτων προετοιμασίας της σποροκλίνης, ο ελαφρός καλλιεργητής σημείωσε μεγαλύτερη ελκτική δύναμη 2,12 kN από το βολοκόπο - αυλακωτήρα, ποσοστό 19,6%. Η οδοντωτή σβάρνα σημείωσε 4,69 kN μεγαλύτερη ελκτική δύναμη από τον κύλινδρο, ποσοστό 409%. Η απόδοση του ελαφρού καλλιεργητή ήταν ταχύτερη κατά 9,45 στρ./h από το βολοκόπο - αυλακωτήρα καλλιεργητή και η απόδοση της οδοντωτής σβάρνας ταχύτερη κατά 11,98 στρ./h από τον κύλινδρο. Η κατανάλωση ενέργειας ήταν υψηλότερη στο βολοκόπο - αυλακωτήρα κατά 45,8%, και στην οδοντωτή σβάρνα κατά 182%.

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας των μηχανημάτων συμβατικής κατεργασίας στο στρέμμα ήταν 6,33 kWh και των μηχανημάτων καλλιέργειας σε αναχώματα 4,97 kWh. Η σειρά των μηχανημάτων καλλιέργειας σε αναχώματα εξοικονόμησε ενέργεια 1,36 kWh στο στρέμμα, ποσοστό 21,5%, σε σύγκριση με τη συμβατική.

Πίνακας 2. Μέσοι όροι απόδοσης μηχανημάτων συμβατικής καλλιέργειας.

	Άροτρο	Ελ. Καλ/τής	Οδ. Σβάρνα	ΣΥΝΟΛΟ
Ελκτική δύναμη (kN)	15,48	12,94	5,84	
Πλάτος εργασίας (m)	0,9	3,36	3,36	
Βάθος εργασίας (cm)	27	9	4	
Ταχύτητα εργασίας (km/h)	5,51	6,66	8,59	
Ολίσθηση (%)	8,87	7,21	3,37	
Απόδοση μηχανήματος (στρ./h)	4,96	22,38	28,85	
Ισχύς (kW)	23,82	24,05	13,95	
Ενέργεια / στρ. (kWh)	4,78	1,07	0,48	6,33

Πίνακας 3. Μέσοι όροι απόδοσης μηχανημάτων καλλιέργειας σε αναχώματα.

	Υπεδ/τής	Βολοκόπος	Κύλινδρος	ΣΥΝΟΛΟ
Ελκτική δύναμη (kN)	22,41	10,82	1,15	
Πλάτος εργασίας (m)	1,92	1,92	1,92	
Βάθος εργασίας (cm)	27	9	-	
Ταχύτητα εργασίας (km/h)	4,18	6,73	8,78	
Ολίσθηση (%)	13,08	6,15	1,18	
Απόδοση μηχανήματος (στρ./h)	8,02	12,93	16,87	
Ισχύς (kW)	26,06	20,47	2,81	
Ενέργεια / στρ. (kWh)	3,24	1,56	0,17	4,97

Το 35,1% των βόλων μετά το πέρασμα του ελαφρού καλλιεργητή, είχε διάμετρο μέχρι 2 cm, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό σβόλων μέχρι διαμέτρου 2 cm μετά από το πέρασμα του βολοκόπου - αυλακωτήρα, ήταν 46,5% (πίνακας 4). Μετά το πέρασμα της οδοντωτής σβάρνας, το ποσοστό βόλων μέχρι διαμέτρου 2 cm ήταν 39,4%, ενώ μετά το πέρασμα του κύλινδρου, το ποσοστό βόλων μέχρι διαμέτρου 2 cm ήταν 55,9%. Οι τιμές της διαμέτρου μέσου βάρους MWD και της γεωμετρικής μέσης διαμέτρου GMD, που παρουσιάζονται στους πίνακες 4 και 5 ήταν ανάλογες. Ο βολοκόπος - αυλακωτήρας αποδείχτηκε πιο κατάλληλο μηχανήμα κατεργασίας και θρυμματισμού του εδάφους από τον ελαφρό καλλιεργητή. Μετά το πέρασμα και των τελευταίων μηχανημάτων των δύο μεθόδων, της οδοντωτής σβάρνας και του κύλινδρου, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η σειρά των μηχανημάτων καλλιέργειας σε αναχώματα πέτυχε σε υψηλότερο βαθμό θρυμματισμό του εδάφους, παρά τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από τα αντίστοιχα μηχανήματα συμβατικής καλλιέργειας.

Πίνακας 4. Κατανομή των σβόλων % κατά βάρος, με βάση τη διάμετρό τους.

	0,5 cm	1 cm	2 cm	4 cm	8 cm	>8 cm
Ελαφρός καλλιεργητής	12,7	8,5	13,9	13,4	43,9	7,5
Βολοκόπος - αυλακ.	21,5	11,8	13,2	15,1	38,3	0,0
Οδοντωτή Σβάρνα	12,7	10,3	16,4	16,3	44,3	0,0
Κύλινδρος	28,3	13,5	14,1	19,0	25,1	0,0

Πίνακας 5. Διάμετρος μέσου βάρους MWD συσσωματωμάτων εδάφους.

Συμβατική Καλλιέργεια	Ελαφρός Καλ/τής	0,49
	Οδοντωτή Σβάρνα	0,31
Καλλιέργεια Σε Αναχώματα	Βολοκόπος	0,27
	Κύλινδρος	0,25

Πίνακας 6. Γεωμετρική μέση διάμετρος GMD συσσωματωμάτων εδάφους.

Συμβατική Καλλιέργεια	Ελαφρός Καλ/τής	0,24
	Οδοντωτή Σβάρνα	0,23
Καλλιέργεια Σε Αναχώματα	Βολοκόπος	0,21
	Κύλινδρος	0,18



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Το άροτρο χρειάστηκε 8,5% μικρότερη ισχύ για έλξη, ενώ ο υπεδ/τής - αυλακωτήρας εξοικονόμησε 38,2% σε χρόνο εργασίας και 32,2% σε ενέργεια.
2. Η σειρά των μηχανημάτων καλλιέργειας σε αναχώματα εξοικονόμησε ενέργεια 1,36 kWh στο στρέμμα από τα μηχανήματα συμβατικής κατεργασίας, ποσοστό 21,5%.
3. Η σειρά των μηχανημάτων καλλιέργειας σε αναχώματα πέτυχε σε υψηλότερο βαθμό θρυμματισμό του εδάφους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASAE Standards, 44th Ed. 1997. S313.2. Soil cone penetrometer. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Burt, E. C., D. W. Reeves, R. L. Raper. 1994. Energy utilization as affected by traffic in a conventional and conservation tillage system. Transactions of the ASAE. 37(3):759-762.
- Γέμτος, Θ. 1994. Γεωργική Μηχανολογία. Σημειώσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος.
- Hatfield, J. L., R. R. Allmaras, G. W. Rehm, B. Lowery. 1998. Ridge tillage for corn and soybean production: environmental quality impacts. Soil & Tillage Research. 48(3):145-154.
- Kemper, W. D., R. C. Rosenau. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution, Physical and Mineralogical Methods no. 9, in Methods of Soil Analysis, Part 1, 2<sup>nd</sup> Edition. Madison, WI. ASA/SSSA. 425-442.
- Michel Jr., J. A., K. J. Fornstrom, J. Borelli. 1985. Energy requirements of two tillage systems for irrigated sugarbeets, dry beans and corn. Transactions of the ASAE 28 (6):1731-1735.
- Mullins, G. L., C. H. Burmester, D. W. Reeves. 1997. Cotton response to in-row subsoiling and potassium fertilizer placement in Alabama. Soil & Tillage research. 40:145-154.
- Σταθάκος, Θ., Θ. Α. Γέμτος. 1998. Καλλιέργεια βαμβακιού σε αναχώματα: μία εναλλακτική μέθοδος. 1<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής. Τόμος Εισηγήσεων. Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας. σελ: 89-99.
- Schwab, E. B., D. W. Reeves, R. L. Raper, C. H. Burmester. 1997. Tillage systems for the Tennessee Valley: cotton yield and soil water use. Proceedings Beltwide Cotton Conferences, New Orleans, LA, USA, January 6-10, 1997: Volume 1.
- Smith, L. A. 1994. Cotton response to deep tillage with controlled traffic on clay. ASAE Paper No. 93-1563.
- Τσιρίκογλου, Θ. Ι., Θ. Α. Γέμτος. 1998. Επανασχεδιασμός με σκοπό τη μείωση του κόστους παραγωγής δισκοσβάρνας (εργοστασίου Σάμπρη). 1<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής. Τόμος Εισηγήσεων. Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας. σελ: 35-46.

# ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΑΡΕΩΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΗ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

**Ι. Παπαθανασίου<sup>1</sup>, Χ. Καβαλάρης<sup>2</sup>, Χ.Καραμούτης<sup>3</sup>, Θ.Α.Γέμτος<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Μεταπτυχιακοί φοιτητές. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Πεδίο Αρεως, 38334 Βόλος

<sup>4</sup> Αναπληρωτής Καθηγητής. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Πεδίο Αρεως, 38334 Βόλος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αναφέρεται στην δυνατότητα επανασχεδιασμού ενός βαρέως καλλιεργητή με σκοπό την βελτιστοποίηση της ποιότητας εργασίας του σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση της απορροφόμενης ενέργειας. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν η προσθήκη πρόσθιων αβαθών υνιών καθώς και η απόσταση μεταξύ των κυρίως στελεχών. Η απόσταση των στελεχών ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική αναμόχλευση του εδάφους ταυτόχρονα με την ελαχιστοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται πρέπει να είναι κάτω από 60 cm. Η προσαρμογή βοηθητικών στελεχών μικρότερου βάθους εργασίας που προηγούνταν των κυρίως σωμάτων μείωσε την κατανάλωση ενέργειας κατά 10%.

## REDESIGN OF A HEAVY CULTIVATOR TO OPTIMIZE THE QUALITY OF WORK.

**I. Papathanassiou<sup>1</sup>, Ch. Kavalaris<sup>2</sup>, Ch. Karamoutis<sup>3</sup>, T.A. Gemtos<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Post graduated students. University of Thessaly. Pedio Areos, 38334 Volos

<sup>4</sup> Agricultural Engineer. Assoc. Professor. University of Thessaly.  
Pedio Areos, 38334 Volos

## ABSTRACT

This paper presents a study to redesign a heavy cultivator in order to optimize the quality of the work and minimize the energy consumption. The parameters studied were the suitable spacing between the tines and the addition of shallower tines in front of the main. The experiment established that the spacing between the main tines of the heavy cultivator must be less than 60 cm to achieve satisfactory soil breaking up and to minimize the energy consumption. The shallower tines in front of the main tines decreased the energy consumption about 10%.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βαρείς καλλιεργητές που χρησιμοποιούνται για την πρωτογενή κατεργασία του εδάφους έχουν μια ιδιαίτερη εξάπλωση τα τελευταία χρόνια. Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση τους υποκαθιστά τη χρήση αρότρων που χρησιμοποιούνταν κατά κύριο λόγο μέχρι σήμερα. Στόχος της χρήσης των βαρέων καλλιεργητών είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και η δημιουργία μιας πιο ανταγωνιστικής γεωργίας. Οι βαρείς καλλιεργητές αναμοχλεύουν το έδαφος αυξάνοντας τη φαινομενική ξηρή πυκνότητα και το πορώδες του εδάφους χωρίς όμως να το αναστρέφουν όπως συμβαίνει με τα άροτρα. Συνήθως εργάζονται σε ίδιο βάθος με τα άροτρα. Ο βαθμός αναμόχλευσης του εδάφους που επιτυγχάνουν είναι περίπου ο ίδιος και η διαφορά τους με το άροτρο έγκειται στην μη καταστροφή των ζιζανίων και στη μη ενσωμάτωση των υπολειμμάτων καθώς και στα μικρότερα ποσά ενέργειας που καταναλώνουν. Σε πειράματα που έχουν διεξαχθεί η απόδοση των φυτών που ήταν εγκατεστημένα σε εδάφη τα οποία είχαν υποστεί πρωτογενή κατεργασία με άροτρο και βαρύ καλλιεργητή ήταν περίπου η ίδια, ενώ οι ενεργειακές εισροές παρουσίαζαν σημαντικές διαφορές, με το βαρύ καλλιεργητή να έχει τη μικρότερη. Επομένως το όφελος ήταν μεγαλύτερο στη δεύτερη περίπτωση [1].

Η γνώση των ποσών ενέργειας που απαιτεί το κάθε γεωργικό μηχάνημα κατεργασίας του εδάφους κάνει εύκολη τη σύγκριση μεταξύ τους από άποψη ενεργειακών αναγκών καθώς και του προσδιορισμού του πιο αποδοτικού σε συνάρτηση με τα αποτελέσματα της καλλιέργειας. Η κατάσταση του εδάφους που δημιουργείται μετά την κατεργασία είναι πρωταρχικής σημασίας γιατί καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την μετέπειτα ανάπτυξη των φυτών. Γι' αυτό το λόγο η βελτίωση των υφισταμένων μηχανημάτων κατεργασίας θα πρέπει να αποσκοπεί στη βελτίωση των αποτελεσμάτων στην καλλιέργεια σε συνδυασμό με τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Τα περιθώρια βελτίωσης των βαρέων καλλιεργητών είναι ιδιαίτερα διευρυμένα. Η αναλογία διαστάσεων και το σχήμα των στελεχών τους καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της εργασίας που προσφέρουν στην αναμόχλευση του εδάφους. Επίσης ο συνδυασμός στελεχών που χρησιμοποιούνται σε ένα βαρύ καλλιεργητή επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα εργασίας του. Οι υπάρχοντες βαρείς καλλιεργητές παρουσιάζουν ήδη μια αυξημένη οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τα άροτρα ενώ όπως προαναφέρθηκε η ποιότητα εργασίας τους δεν υστερεί σημαντικά σε σχέση με την ποιότητα που προσφέρουν τα άροτρα. Παράλληλα ο σχεδιασμός τους επιτρέπει μεγάλες αλλαγές προς όφελος της οικονομίας και της εργασίας που μπορούν να προσφέρουν. Ένας βαρύς καλλιεργητής αποτελείται από ένα ή περισσότερα άκαμπτα ή σε κάποιες περιπτώσεις και μερικώς εύκαμπτα στελέχη τα οποία έχουν την δυνατότητα να εφαρμόζουν τάσεις στο έδαφος και να προκαλούν τη διάτμηση και επομένως την αναμόχλευση του εδάφους. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός βαρέως καλλιεργητή εξαρτώνται άμεσα από τη μορφή και τα επιμέρους χαρακτηριστικά των στελεχών του. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι το πλάτος και το βάθος εργασίας καθώς και η αναλογία αυτών των δύο μεγεθών. Επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η γωνία κλίσης του υνιού των στελεχών. Η ύπαρξη περισσότερων από ένα στέλεχος σε ένα βαρύ καλλιεργητή προκαλεί την αλληλεπίδραση των στελεχών μεταξύ τους. Έτσι ένας βαρύς καλλιεργητής όταν κατεργάζεται το έδαφος προκαλεί μεταβολές οι οποίες εξαρτώνται όχι μόνο από τα χαρακτηριστικά του κάθε στελέχους αλλά και από τη συνδυασμένη δράση τους, που εξαρτάται από την μεταξύ τους απόσταση.

Η απαιτούμενη ελκτική δύναμη και επομένως η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη χρήση ενός βαρέως καλλιεργητή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος εργασίας. Ιδιαίτερα κάτω από κάποιο συγκεκριμένο βάθος (κριτικό ή κρίσιμο βάθος) τα

ποσά ενέργειας που καταναλώνονται αυξάνουν σημαντικά [2]. Αυτό συμβαίνει γιατί αλλάζει η μορφή διάτμησης του εδάφους και παρατηρείται μετακίνηση του εδάφους προς τα πλάγια μόνο και όχι προς την επιφάνεια του εδάφους όπως παρατηρείται σε βάθη μικρότερα του κριτικού. Παράλληλα παρατηρείται συμπίεση του εδάφους και όχι αναμόχλευση με δυσμενές αποτέλεσμα για το έδαφος. Το μέγεθος λοιπόν του κριτικού βάθους καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα εργασίας ενός βαρέως καλλιεργητή καθώς και τα ποσά ενέργειας που απαιτεί. Το μέγεθος του κριτικού βάθους επηρεάζεται από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους αλλά και από το ίδιο το γεωργικό εργαλείο. Επομένως ο σχεδιασμός των βαρέων καλλιεργητών θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αυξάνει το κριτικό βάθος και έτσι να μην γίνεται υπέρβασή του σε καμία περίπτωση.

Στο παρελθόν έγιναν αρκετές προσπάθειες μελέτης και αξιολόγησης της εργασίας που προσφέρουν διάφοροι καλλιεργητές [3,4,5] με στόχο τη βελτίωση του σχεδιασμού κάποιων καλλιεργητών. Η βελτίωση στόχευε στην ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε συνδυασμό με τη βελτιστοποίηση της εργασίας που προσέφεραν κατά την κατεργασία του εδάφους. Μελετήθηκαν τα επιμέρους χαρακτηριστικά των καλλιεργητών και αξιολογήθηκε η επίδραση που είχε κάθε αλλαγή του μεγέθους τους στα αποτελέσματα που επιτυγχάνονταν στο έδαφος. Κάποιες μελέτες προχώρησαν και στην διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των στελεχών μεταξύ τους και επιδιώχθηκε η βελτίωση μέσω της μεταβολής του συνδυασμένου αποτελέσματος στο έδαφος από όλα τα στελέχη ενός βαρέως καλλιεργητή. Όλες οι έρευνες εξέταζαν την ποιότητα της εργασίας που επιτυγχάνονταν στο έδαφος σε συνδυασμό με την ενέργεια που καταναλώνονταν ώστε να επιτευχθεί η συγκεκριμένη εργασία.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δοκιμάστηκε η προσθήκη στελεχών μικρότερου βάθους που προηγούνταν των κυρίως στελεχών σε ένα βαρύ καλλιεργητή σε συνδυασμό με διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των κύριων στελεχών. Μετρήθηκαν οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις σε κάθε συνδυασμό σε συνάρτηση με την αναμόχλευση που επιτυγχάνονταν στο έδαφος. Παράλληλα μελετήθηκε η επίδραση της κατεργασίας στα εγκατεστημένα ζιζάνια και ο βαθμός καταστροφής τους. Χρησιμοποιήθηκε ο γεωργικός ελκυστήρας του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σε συνδυασμό με ένα σύστημα μέτρησης των αναπτυσσομένων δυνάμεων σε τρεις διαστάσεις. Η μέτρηση των αναπτυσσομένων δυνάμεων σε κάθε εναλλακτικό σχεδιασμό του βαρέως καλλιεργητή επαναλαμβάνονταν 4 φορές. Το σύστημα μέτρησης αποτελούνταν από έξι δυναμόμετρα (δυναμοκυψέλες) που είναι αρθρωτά συνδεδεμένες μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και του παρελκόμενου μηχανήματος με τη βοήθεια των ειδικών πλαισίων σχήματος Π [6]. Οι δυναμοκυψέλες μετέτρεπαν τις δυνάμεις σε αναλογικά σήματα (τάση) που μετά από ενίσχυση και μετατροπή τους σε ψηφιακές ενδείξεις αποθηκεύονταν στη μνήμη φορητού υπολογιστή που συνόδευε τη διάταξη. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν με συχνότητα δειγματοληψίας 1 kHz.

Για την προσαρμογή των βοηθητικών στελεχών μικρότερου βάθους χρησιμοποιήθηκε ειδικό πλαίσιο που προηγούνταν του βαρέως καλλιεργητή. Το πλαίσιο ήταν με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένο ώστε να δίνει τη δυνατότητα προσαρμογής των βοηθητικών στελεχών σε διάφορες θέσεις. Η εκτίμηση της ποιότητας αναμόχλευσης του εδάφους έγινε με μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση, που παρoυσίαζε το έδαφος πριν και μετά την κατεργασία λαμβάνοντας 3 μετρήσεις σε κάθε επανάληψη. Χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό διεισδυσιόμετρο με κώνο γωνίας 30° και βάσης 13,8 mm που είχε τη δυνατότητα να λαμβάνει μετρήσεις αντίστασης ανά 1 cm

και να τις αποθηκεύει. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν ανά 10 cm σε όλο το πλάτος κατεργασίας ώστε να δημιουργείται μια πλήρης εικόνα της κατάστασης του εδάφους. Μια ξύλινη πλάκα με οπές ανά 10 cm χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό κοινού επιπέδου αναφοράς. Ο βαθμός καταστροφής των ζιζανίων που επιτυγχάνονταν με κάθε σχεδιασμό εκτιμούνταν με μέτρηση της χλωρής μάζας των ζιζανίων που παρέμεναν εγκατεστημένα στο έδαφος μετά την κατεργασία.

Δοκιμάστηκαν διάφοροι εναλλακτικοί σχεδιασμοί του βαρέως καλλιεργητή. Μετρήθηκε η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους ώστε να εξασφαλιστούν παρόμοιες συνθήκες μετρήσεων και κυμαίνονταν από 17%-19% σε υγρή βάση. Το βάθος κατεργασίας των κυρίως στελεχών παρέμεινε σταθερό σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων στα 40 cm. Η ταχύτητα των δοκιμών μετρήθηκε με χρονομετρήσεις γνωστών διαστημάτων και ήταν 0,95 - 1 m/s. Πριν την κατεργασία ελέγχονταν ο βαθμός συμπίεσης του εδάφους μετρώντας την αντίσταση στη διείσδυση. Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν η κατεργασία και η μέτρηση των δυνάμεων που αναπτύσσονταν. Ακολουθούσε μέτρηση της χλωρής μάζας των ζιζανίων που δεν καταστράφηκαν και παρέμεναν εγκατεστημένα στο έδαφος. Τέλος πραγματοποιούνταν μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός χαλάρωσης του εδάφους που επιτεύχθηκε. Οι εναλλακτικοί σχεδιασμοί προέκυπταν τοποθετώντας τα κύρια στελέχη σε διάφορες αποστάσεις μεταξύ τους σε συνδυασμό με προσθήκη ή όχι βοηθητικών στελεχών μικρότερου βάρους που προηγούνταν (Πίνακας 1). Στην περίπτωση που η απόσταση των κυρίως στελεχών ήταν 80 cm χρησιμοποιήθηκαν 2 στελέχη (πλάτος εργασίας 1.2 m). Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν 3 κύρια στελέχη (Απόσταση 40, 60 cm πλάτος εργασίας 1.2 m και 1.8 m αντίστοιχα). Η απόσταση των βοηθητικών στελεχών από τα κύρια στελέχη επιλέχθηκε έτσι ώστε να μην παρεμποδίζουν την αναμόλυνση του εδάφους που επιτυγχάνεται από τα κύρια στελέχη.

Πίνακας 1. Εναλλακτικοί σχεδιασμοί βαρέως καλλιεργητή που δοκιμάστηκαν.

	Βοηθητικά στελέχη			
	Απόσταση κύριων στελεχών (cm)	Απόσταση από κύρια στελέχη (cm)	Βάθος κατεργασίας (cm)	Απόσταση μεταξύ τους (cm)
1	80			
2	80	40	10	40
3	80	40	20	40
4	40	140	10	40
5	40	40	10	40
6	40	140	20	40
7	60	140	10	30
8	60	140	20	30
9	60	140	20*	30

\* υνί κοπής μεγαλύτερου πλάτους

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι πρώτες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με χρήση δύο κυρίως στελεχών του βαρέως καλλιεργητή με απόσταση μεταξύ τους 80 cm. Οι ελκτικές δυνάμεις που απαιτήθηκαν για την πραγματοποίησή τους ήταν 15194 N, 14943 N, 13214 N αντίστοιχα για τους σχεδιασμούς 1, 2, 3 (Διάγραμμα 1). Η ειδική αντίσταση (απαιτούμενη δύναμη/επιφάνεια κατεργασίας) αντίστοιχα ήταν 31654 N/m<sup>2</sup>, 31131 N/m<sup>2</sup>, 27529 N/m<sup>2</sup>. Η χρήση βοηθητικών στελεχών μικρότερου βάθους που προηγούνταν των κυρίως στελεχών ήταν ευεργετική και μείωσε τις απαιτούμενες δυνάμεις κατά 2% στην πρώτη περίπτωση και κατά 13% στη δεύτερη. Η χρήση βοηθητικών στελεχών αύξησε το μέγεθος του κριτικού βάθους με αποτέλεσμα τη μείωση των δυνάμεων που απαιτούνται, ώστε να επιτευχθεί η αναμόχλευση σε όλο το βάθος κατεργασίας. Επιβεβαιώθηκαν σε πραγματικές συνθήκες παλαιότερες παρατηρήσεις που είχαν πραγματοποιηθεί σε ελεγχόμενες συνθήκες [3]. Η αναμόχλευση του εδάφους που επιτεύχθηκε δεν ήταν πλήρης σε όλο το πλάτος κατεργασίας (Διάγραμμα 3 1,2,3). Οι επόμενες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με χρήση τρίτου κύριου στελέχους του βαρέως καλλιεργητή. Οι δυνάμεις που απαιτήθηκαν για την πραγματοποίησή τους ήταν αντίστοιχα 19209 N, 21609 N, 17308 N, 21729 N, 22800 N, 24615 N για τους σχεδιασμούς 4, 5, 6, 7, 8, 9. (Διάγραμμα 2). Η ειδική αντίσταση ήταν αντίστοιχα 40018,75 N/m<sup>2</sup>, 45018,75 N/m<sup>2</sup>, 36058,33 N/m<sup>2</sup>, 30179,16 N/m<sup>2</sup>, 31666,66 N/m<sup>2</sup>, 34187,5 N/m<sup>2</sup>. Η αύξηση του βάθους των βοηθητικών στελεχών από τα 10 στα 20 cm μείωσε τις απαιτούμενες δυνάμεις κατά 10 % περίπου (διαφορά σχεδιασμών 4,6). Η αύξηση της απόστασης των βοηθητικών στελεχών από τα κύρια στελέχη ώστε να μην εμποδίζεται η εργασία των τελευταίων μείωσε τις απαιτούμενες δυνάμεις κατά 11 % περίπου (διαφορά σχεδιασμών 4,5). Η αύξηση της απόστασης μεταξύ των κυρίων στελεχών από τα 40 στα 60 cm μείωσε την ειδική αντίσταση κατά 20 - 30 %. Η χρήση υνιού κοπής μεγαλύτερου πλάτους στα βοηθητικά στελέχη αύξησε τις δυνάμεις που απαιτήθηκαν χωρίς να συνοδευτεί από καλύτερη αναμόχλευση του εδάφους (Διάγραμμα 3 9). Η αναμόχλευση του εδάφους που επιτεύχθηκε ήταν περισσότερο ικανοποιητική, από την προηγούμενη περίπτωση της απόστασης 80 cm μεταξύ των κυρίως στελεχών σε όλο το πλάτος κατεργασίας είτε η απόσταση των κυρίως στελεχών ήταν 40 είτε 60 cm (Γράφημα 3 4,5,6,7,8).

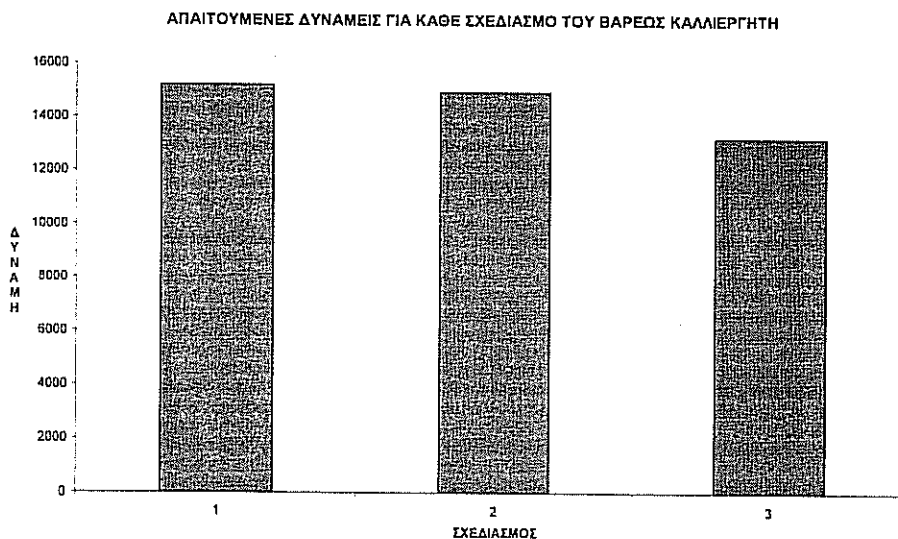
### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση βοηθητικών στελεχών που προηγούνται των κυρίως στελεχών μειώνει την ειδική αντίσταση κατά 10%, ενώ αντίθετα επιτυγχάνεται ποιοτικότερη αναμόχλευση του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Τα βοηθητικά στελέχη θα πρέπει να βρίσκονται σε ικανοποιητική απόσταση από τα κύρια ώστε να μην παρεμποδίζεται η εργασία των τελευταίων. Η χρήση βοηθητικών στελεχών έχει ευνοϊκή επίδραση στην καταστροφή των εγκατεστημένων ζιζανίων σε σχέση με τις περιπτώσεις που δεν χρησιμοποιούνται βοηθητικά στελέχη.

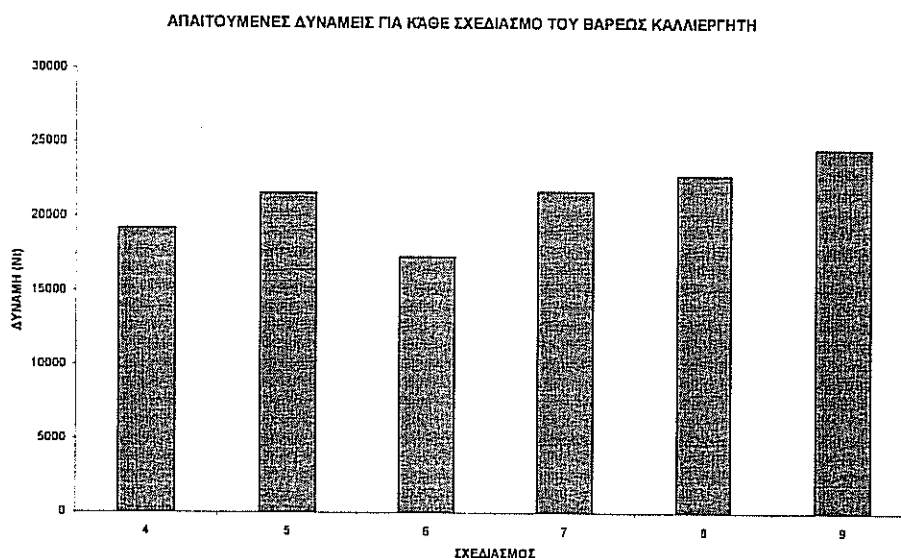
Το σχετικό βάθος των βοηθητικών στελεχών σε σχέση με το βάθος κατεργασίας των κύριων στελεχών φαίνεται να επηρεάζει ελαφρά την ειδική αντίσταση μειώνοντας την όταν αυξάνεται από το 1/4 του βάθους στο 1/2.

Οι δοκιμές των διαφόρων εναλλακτικών σχεδιασμών του βαρέως καλλιεργητή που πραγματοποιήθηκαν, έδειξαν ότι η καταλληλότερη απόσταση των κύριων στελεχών, λαμβάνοντας υπόψη την ειδική αντίσταση που παρουσιάζει ο κάθε σχεδιασμός καθώς και την αναμόχλευση του εδάφους είναι τα 60 cm. Παρατηρήθηκε μείωση της ειδικής

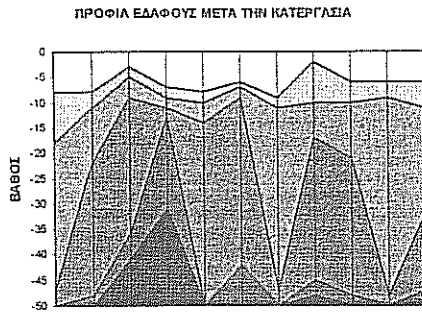
αντίστασης κατά 30% σε σχέση με την απόσταση των 40 cm ενώ η διαφορά στην αναμόχλευση δεν ήταν τόσο σημαντική. Αντίθετα στη περίπτωση της απόστασης των 80 cm η ειδική αντίσταση είναι παρόμοια με αυτή των 60 cm ενώ η αναμόχλευση του εδάφους ήταν μικρότερη.



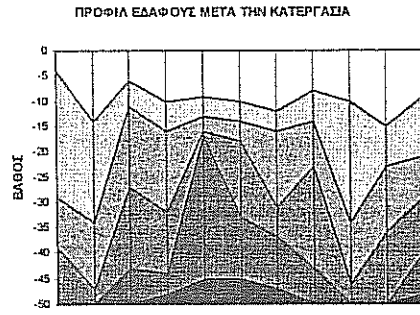
Διάγραμμα 1. Απαιτούμενη δύναμη με κάθε σχεδιασμό του βαρέως καλλιεργητή.



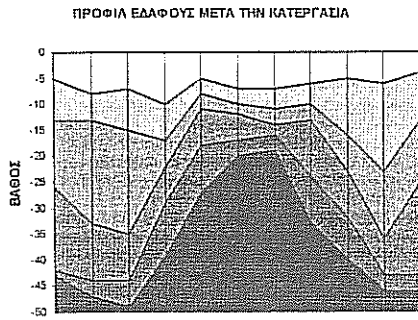
Διάγραμμα 2. Απαιτούμενη δύναμη με κάθε σχεδιασμό του βαρέως καλλιεργητή



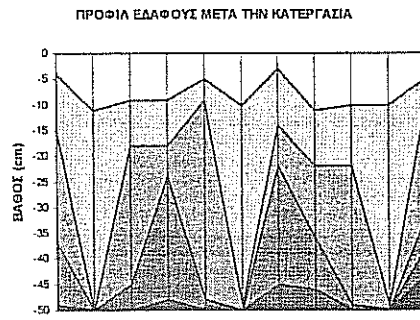
1



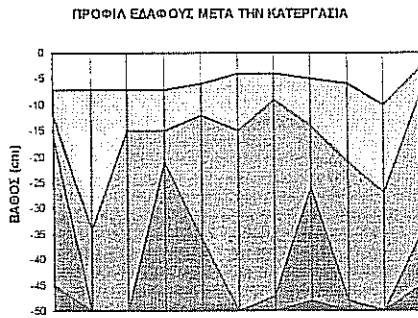
2



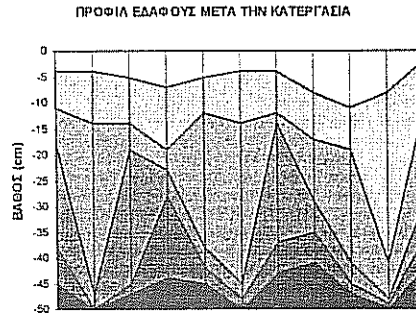
3



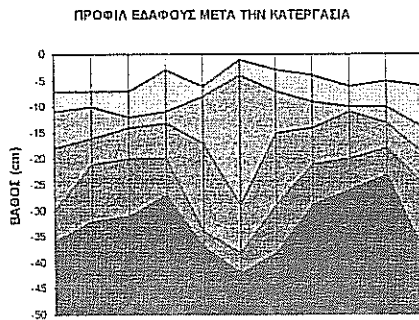
4



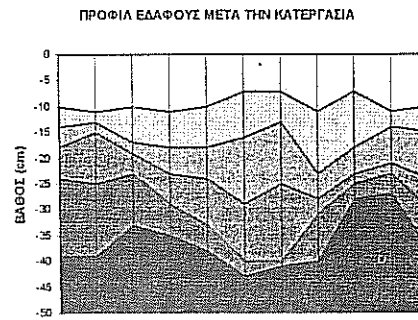
5



6

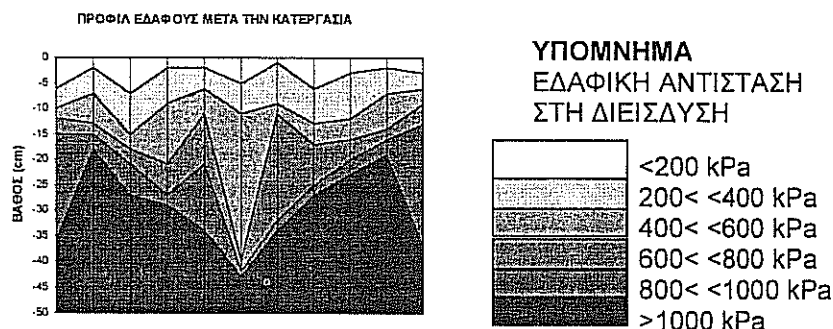


7



8





9

Διάγραμμα 3. Προφίλ εδάφους μετά το πέρασμα του βαρύ καλλιεργητή

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. J.L. HERNANZ , V.S. GIRON , C. CERISOLA (1995) . Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil & Tillage Research* 35(1995) 183-198.
2. GODWIN R.J. ; G. SPOOR (1977) . Soil failure with narrow tines. *Journal of Agricultural Engineering Research* 22, 213 – 228.
3. GODWIN R.J ; G. SPOOR (1978) . An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research* Vol. 23
4. JORI I.J.; S. SALAMON.(1998) Soil compaction management by vari – width subsoiler. 13th International Congress on Agricultural Engineering. Vol 3 Agricultural Mechanization. pp 93-100
5. O' CALLAGHAN J.R.; McCULLEN P.J.(1965) . Cleavage of soil by inclined and wedge shaped tines. *Journal of Agricultural Engineering Research* 10, 248 – 254.
6. ΓΕΜΤΟΣ Θ.Α. ; ΤΣΙΡΙΚΟΓΛΟΥ Θ.Ι. Ο σχεδιασμός και η διαμόρφωση ενός συστήματος μέτρησης και καταγραφής των εξασκούμενων δυνάμεων από γεωργικό ελκυστήρα σε αναρτημένα γεωργικά μηχανήματα. *Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα* (4) 89-96.

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΪΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΑΧΑΙΡΑΣ ΑΡΟΤΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΡΟΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αθανάσιος Νάτσης, Γεώργιος Παπαδάκης\*, Ιωάννης Πιτσιλής

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργ. Γεωργικής Μηχανολογίας  
Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα, Τηλ. (01) 5294041, Fax (01) 5294032

\*e-mail: [gpap@aua.gr](mailto:gpap@aua.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της χρήσης της δισκομάχαιρας και του προϋνίου κατά την άροση εδαφών δεν είναι ούτε νέο αλλά ούτε και ούτε και άγνωστο. Έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία από τη χρήση της μάχαιρας και του προϋνίου όμως δεν υπάρχουν πολλά επιστημονικά δεδομένα που να επιχειρηματολογούν για την αναγκαιότητά τους στην ποιότητα και το κόστος της άροσης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής μελέτης της επίδρασης της χρήσης αρότρου με ή χωρίς μάχαιρα και προϋνίο στην ποιότητα της άροσης και στην κατανάλωση ενέργειας.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE FOREPLOUGHSHARE AND THE DISK COULTER ON THE TILLAGE QUALITY AND THE FUEL CONSUMPTION

A. Natsis, G. Papadakis\*, I. Pitsilis

Agricultural University of Athens, Agricultural Engineering Dept.  
75 Iera Odos street, 118 55 Athens, Greece, Tel. +30.1.5294041, Fax +30.1.5294032

\*e-mail: [gpap@aua.gr](mailto:gpap@aua.gr)

## ABSTRACT

Despite the fact that considerable experience has been gained so far from the use of disk coulters and foreploughshares there is not many experimental data that prove the value of these implements. In the present paper the results from an experimental study of the influence of the disk coulters and the foreploughshare on the tillage quality and the tractor fuel consumption are presented.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της χρήσης της μάχαιρας και του προύνιου κατά την άροση εδαφών δεν είναι ούτε νέο αλλά ούτε και άγνωστο. Έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία από τη χρήση της μάχαιρας και του προύνιου όμως δεν υπάρχουν πολλά επιστημονικά δεδομένα που να επιχειρηματολογούν για την αναγκαιότητά τους στην ποιότητα και το κόστος της άροσης. Το αποτέλεσμα είναι να κρατιέται αρνητική στάση στη χρήση της μάχαιρας και του προύνιου από τους αγρότες και επιχειρήσεις να κατασκευάζουν είτε να πωλούν άροτρα χωρίς αυτά τα εξαρτήματα.

Η μάχαιρα προορίζεται για να κόβει κάθετα τη λωρίδα του εδάφους πριν από το υνί διευκολύνοντας έτσι αφ' ενός μεν την εργασία του υνίου, αφ' ετέρου δε την δημιουργία καθαρής αυλακιάς [1,2,3]. Το είδος, βάθος, η κλίση και το μέγεθος της μάχαιρας είναι συνάρτηση του εδάφους που θα οργωθεί [1,4,5]. Η χρήση της σωστής μάχαιρας μειώνει σημαντικά την αντίσταση έλξης του αρότρου [6,7].

Το προύνιο τοποθετείται πριν από κάθε σώμα του αρότρου, κόβει δε και ρίχνει στον πυθμένα της προηγούμενης αυλακιάς ένα επιφανειακό τμήμα της λωρίδας που κόβει στη συνέχεια το σώμα του αρότρου η οποία και το καλύπτει πλήρως [8,9]. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη κάλυψη των ζιζανίων [10,11,6].

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε πειραματικά η επίδραση της χρήσης αρότρου με ή χωρίς μάχαιρα και προύνιο στην ποιότητα της άροσης και στην κατανάλωση ενέργειας του ελκυστήρα.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε αργιλώδες έδαφος όπου χρησιμοποιήθηκε συγκρότημα ελκυστήρα (75 HP) με τρίνο αρότρο (3 υνία πλάτους άροσης 35 cm). Τα πειράματα άροσης έγιναν σε έδαφος όπου είχαν αναπτυχθεί διάφορα ζιζάνια. Το μέσο ύψος των ζιζανίων ήταν 165 mm. Έγιναν τρεις συνδυασμοί επεμβάσεων με τέσσερις επαναλήψεις κάθε επέμβασης:

1. Άροση με αρότρο που έφερε προύνιο και δισκομάχαιρα
2. Άροση με αρότρο με προύνιο χωρίς δισκομάχαιρα
3. Άροση χωρίς προύνιο και χωρίς δισκομάχαιρα.

Όλες οι αρόσεις έγιναν σε βάθος 26-30 cm. Έγιναν μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους κατά τις αρόσεις, μετρήθηκε η πυκνότητα ζιζανίων πριν και μετά την άροση, το ποσοστό και το βάθος τοποθέτησης των ζιζανίων μετά την αναστροφή του εδάφους, το μέγεθος των συσσωματωμάτων του εδάφους και η κατανάλωση πετρελαίου. Έγιναν δυναμομετρήσεις για κάθε επέμβαση. Μετρήθηκαν, η πυκνότητα των ζιζανίων πριν και μετά την άροση (τεμάχια ζιζανίων ανά m<sup>2</sup> καλλιεργούμενης επιφάνειας), και για κάθε επέμβαση, το βάθος εργασίας, η κατανάλωση πετρελαίου και το μέγεθος των συσσωματωμάτων μετά την άροση. Η κατανάλωση πετρελαίου μετρήθηκε με ειδικό μετρητικό σύστημα προσαρμοσμένο στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου του ελκυστήρα. Η μέτρηση των συσσωματωμάτων του εδάφους έγινε σε δείγματα εδάφους που κοσκινίστικαν με κόσκινα για να γίνει η κατάταξή τους σε πέντε κατηγορίες, >150 mm, 150-100 mm, 100-50 mm και <50 mm. Τέλος η υγρασία του εδάφους μετρήθηκε

σε πέντε σημεία διαγωνίως της καλλιεργούμενης επιφάνειας και ήταν 18.5 % κ.ό κατά μέσο όρο.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των μετρήσεων. Από τους Πίνακες 1 και 2, παρατηρούμε ότι η χρήση του προϋνίου και της μάχαιρας επιδρά σημαντικά στον αριθμό των ζιζανίων που παραχώνονται στο βάθος του καλλιεργούμενου εδάφους. Συγκεκριμένα, όταν χρησιμοποιείται προϋνίο και μάχαιρα η ποσότητα των ζιζανίων που μένουν στην επιφάνεια είναι 2.4%, με προϋνίο χωρίς μάχαιρα είναι 5.5%, ενώ όταν δεν χρησιμοποιείται ούτε προϋνίο ούτε μάχαιρα το ποσοστό αυτό είναι 35.9%.

Πίνακας 1. Επίδραση της χρήσης προϋνίου και δισκομάχαιρας στην παράχωση των ζιζανίων

Επέμβαση	Αριθμός τεμαχίων ζιζανίων ανά m <sup>2</sup> στην επιφάνεια του εδάφους		
	Πριν την επέμβαση	Μετά την επέμβαση	% μετά την επέμβαση
Άροτρο με προϋνίο και μάχαιρα	620	15	2.4
Άροτρο με προϋνίο και χωρίς μάχαιρα	578	32	5.5
Άροτρο χωρίς προϋνίο και χωρίς μάχαιρα	512	184	35.9

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται ο αριθμός και το βάθος τοποθέτησης των ζιζανίων για όλες τις επεμβάσεις. Στον Πίνακα 2 φαίνεται ότι όταν δεν χρησιμοποιείται ούτε προϋνίο ούτε μάχαιρα μικρό μόνο ποσοστό αριθμού ζιζανίων (21.7%) τοποθετείται σε βάθος 20-30 cm ενώ όταν χρησιμοποιείται προϋνίο και μάχαιρα ή προϋνίο μόνο, τα ποσοστά αυτά είναι 86.8 και 79.2 αντίστοιχα.

Πίνακας 2. Επίδραση του προϋνίου και της δισκομάχαιρας στο βάθος παράχωσης των ζιζανίων

Βάθος τοποθέτησης ζιζανίων (cm)	Αριθμός ζιζανίων (%) επί του συνόλου των ζιζανίων		
	Άροτρο με προϋνίο και μάχαιρα	Άροτρο με προϋνίο μόνο	Άροτρο μόνο
Στην επιφάνεια	2.4	5.5	35.9
0 – 10	4.0	6.9	19.0
10 – 20	6.8	8.4	23.4
20 – 30	86.8	79.2	21.7

Στόν Πίνακα 3 φαίνεται ότι η αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στο άροτρο όταν χρησιμοποιείται προϋνίο είναι 23.6 % μεγαλύτερη από όταν δεν χρησιμοποιείται αυτό και 12.7 % μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιείται προϋνίο και μάχαιρα. Αυτό αποδεικνύει ότι η χρήση της μάχαιρας είναι σημαντική στην μείωση της αντίστασης έλξης.

Πίνακας 3. Επίδραση του προϋνίου και της δισκομάχαιρας στην αντίσταση του εδάφους

Επέμβαση	Βάθος εργασίας (cm)	Πλάτος εργασίας (m)	Αντίσταση Εδάφους (kN)	Ειδική αντίσταση (N/dm <sup>2</sup> )
Άροτρο με προϋνίο και μάχαιρα	27.8	1.02	14.9	526.9
Άροτρο με προϋνίο και χωρίς μάχαιρα	28.0	1.04	16.4	562.5
Άροτρο χωρίς προϋνίο και χωρίς μάχαιρα	27.2	1.03	13.3	472.9

Στόν Πίνακα 4 παρουσιάζεται το μέγεθος των συσσωματωμάτων για όλες τις επεμβάσεις όπου φαίνεται ότι το μέγεθος των συσσωματωμάτων >15 cm στην περίπτωση που χρησιμοποιείται προϋνίο και μάχαιρα δεν εμφανίζεται καθόλου, αυτό σημαίνει ότι οι επόμενες επεμβάσεις για την προετοιμασία της κλίνης σποράς θα είναι λιγότερες και η εξοικονόμησης ενέργειας μεγάλη.

Πίνακας 4. Επίδραση του προϋνίου και της δισκομάχαιρας στο βαθμό θρυμματισμού των συσσωματωμάτων

Επέμβαση	Συσσωματώματα στο σύνολο των συσσωματωμάτων			
	>15 cm	15 - 10 cm	10 - 5 cm.	< 5 cm
Άροτρο με προϋνίο και μάχαιρα	0	5.0	14.0	81.0
Άροτρο με προϋνίο και χωρίς μάχαιρα	1.5	4.6	13.8	80.1
Άροτρο χωρίς προϋνίο και χωρίς μάχαιρα	4.2	4.0	18.8	73.0

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρά το ότι η χρήση του προϋνίου και της μάχαιρας αυξάνει την αντίσταση έλξης, επιβεβαιώθηκε ότι μειώνονται οι συμπληρωματικές επεμβάσεις όπως η δεύτερη άροση η/και ψεκασμοί και μπορεί να αυξηθεί και το βάθος άροσης. Στο σύνολο η ποιότητα εργασίας του αρότρου με προϋνίο και μάχαιρα είναι πολύ καλύτερη σε σύγκριση με την χρήση μόνο προϋνίου η χωρίς προϋνίο και χωρίς μάχαιρα.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Goryackin V. P. 1968. Collected works in three volumes. Translated from Russian. Edited by N.D. Luchinskii.

2. Kushwaha R., Vaishnav A., Zoerb G. 1986. Soil bin evaluation of disc coulters under no till crop residue conditions. Transactions of the ASAE, 29(1), 40-44.
3. Tice E. and Hendrick J. 1992. Disc coulters operating characteristics. Transactions of the ASAE, 35(1), 3-10.
4. Nerli N. Dynamics of the disk harrow. Pisa 1930, Translated: Jerusalem, 1984 .
5. Nieuwenburg P.I.J.J., Speelman L., Wensik H.E. 1992. An evaluation of some disk coulters designs. Journal of Agricultural Engineering Research, 51, 67-80.
6. Natsis A., Papadakis G., Pitsilis I. 1999. The influence of soil type ,soil water and share sharpness of a mouldboard plough on energy consumption, rate of work and tillage quality. Journal of Agricultural Engineering Research, 72, 171-176.
7. Chang, Cheu-Shang, Correa W.A. Jr., Coelho A.R.C.M. 1998. Draft resistance and energy consumption for moldboard plow penetration. International conference on agricultural engineering AgEng Oslo 1998, Paper no 98-A-086.
8. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P. 1993. Engineering Principles of agricultural machines. Published by the ASAE.
9. Choi C., and Erbach D., 1986. Cornstalk residue shearing by rolling coulters. Transactions of the ASAE, 29(6), 1530-1535.
10. Wise G and Bourarach E.H. Tillage Machinery. In CIGR Handbook of Agricultural Engineering 1999. Volume III. Plant Production Engineering, pp 184-217.
11. Adam K.M., Erbach D.C. 1992. Secondary tillage tool effect on soil aggregation. Transactions of the ASAE, 35(6), 1771-1775.

# **ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΛΚΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ**

**Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισόπουλος, Δ. Λόης,  
Χ. Σερσελούδης, Γ. Κλάδης**

Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας  
Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών & Κατασκευών  
Δημοκρατίας 61, 135 61 Άγ. Ανάργυροι Αττικής

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα εργασία ανασκοπούνται συνοπτικά οι επίσημοι κώδικες 1 και 2 δοκιμών γεωργικών ελκυστήρων του OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). Παρουσιάζονται επίσης λεπτομερώς ο σχεδιασμός και οι δυνατότητες του νέου συστήματος με το οποίο διενεργούνται στο Ι.Γ.Ε.Μ.Κ. οι δοκιμές ελκτικής ισχύος γεωργικών και δασικών ελκυστήρων για την απόδειξη της συμμόρφωσής τους με τις υποχρεωτικές απαιτήσεις των κωδίκων και τη χορήγηση έγκρισης τύπου από τη επίσημη κρατική αρχή (Υπουργείο Γεωργίας). Τέλος διατυπώνονται προτάσεις για τη βελτίωση του ποιοτικού ελέγχου με πληρέστερες δοκιμές.

## **DEVELOPMENT OF A MEASURING SYSTEM FOR TESTING OF DRAWBAR POWER OF AGRICULTURAL TRACTORS**

**A. Papayiannopoulou, G. Parissopoulos, D. Lois,  
X. Serseloudis, G. Kladis**

National Agricultural Research Foundation  
Institute of Agricultural Machinery and Constructions  
61 Democratias str., 135 61 Aghii Anargiri Attikis, Greece

## **SUMMARY**

In the present study the standard codes of OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) for the official testing of agricultural and forestry

tractors are briefly reviewed. The development of a new fully automatic measuring system for testing of tractors' drawbar power designed by I.A.M.C. is also provided. Finally suggestions are made towards more competent quality control tests concerning the above mentioned equipment.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκμηχάνιση της ελληνικής γεωργίας άρχισε ουσιαστικά το 1950 και υπήρξε έντονα και συνεχώς ανοδική μέχρι το 1980. Ο συνολικός αριθμός των απασχολούμενων στην ελληνική γεωργία μηχανημάτων δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με ικανοποιητική ακρίβεια. Πλήρη στοιχεία υπάρχουν μόνο για τα αυτοκινούμενα μηχανήματα που εφοδιάζονται με άδεια κυκλοφορίας [1].

Οι διαξονικοί γεωργικοί ελκυστήρες αποτελούν τον κύριο μοχλό εκμηχάνισης των γεωργικών εργασιών και ο αριθμός τους ανά μονάδα καλλιεργήσιμης έκτασης χρησιμοποιείται συχνά ως δείκτης εκμηχάνισης. Ο αριθμός των εισαγομένων στη χώρα μας καινούργιων ελκυστήρων, κυμαίνεται σήμερα σε επίπεδα πολύ χαμηλότερα εκείνων της δεκαετίας 1975-1984 [2].

Σήμερα ο ποιοτικός έλεγχος των γεωργικών και δασικών ελκυστήρων διενεργείται βάσει των οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή/και των οκτώ επισήμων κωδίκων του OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) που αφορούν αποδόσεις (δυναμοδότη, έλξης, κινητήρα), αντοχή δομών προστασίας και μετρήσεις θορύβου. Από τους κώδικες αυτούς εφαρμόζονται σήμερα από το Ι.Γ.Ε.Μ.Κ. ολικά οι υπό αριθμόν 4 [3], 6 [4] και 7 [5] και μερικά ο υπό αριθμόν 2 [6]. Σημειώνεται ότι απαραίτητη προϋπόθεση για την κυκλοφορία των γεωργικών ελκυστήρων στη χώρα μας είναι η χορήγηση έγκρισης τύπου από την αρμόδια κρατική αρχή (Υπουργείο Γεωργίας) η οποία εκδίδεται μετά από δοκιμές σύμφωνα με τους προαναφερόμενους κώδικες ή οδηγίες.

## 2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Για την τήρηση των απαιτούμενων από τους κώδικες ακριβειών κατά τις δοκιμές μέτρησης της ελκτικής ισχύος ελκυστήρων και τη διενέργεια αυτών σε σύντομο χρόνο κατέστη επιτακτική η ανάγκη για την ανάπτυξη ενός συστήματος μέτρησης, φερόμενου επί ειδικού οχήματος, δυναμένου να επιτηρεί και να ελέγχει αυτόματα όλες τις παραμέτρους που δύνανται να τις επηρεάσουν. Το σύστημα που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται για τις δοκιμές έλξης που προβλέπονται από τους κώδικες του OECD, αποτελείται βασικά από τα δύο παρακάτω μέρη:

### 2.1 Ειδικό όχημα

Πρόκειται για αυτοκινούμενο όχημα με πετρελαιοκινητήρα 68 hp, κλειστού τύπου, επί του οποίου φέρονται το υδραυλικό σύστημα πέδησης ελκυστήρων, με όλες τις απαραίτητες για την ομαλή λειτουργία του διατάξεις, το σύστημα ελέγχου, συλλογής και επεξεργασίας μετρήσεων καθώς και μέρος των υπάρχοντων αισθητήρων για τη μέτρηση των απαιτούμενων φυσικών μεγεθών. Το όχημα καλύπτει τις απαιτήσεις ασφαλείας και υγιεινής της οδηγίας. 98/37 Ε.Κ. [7].



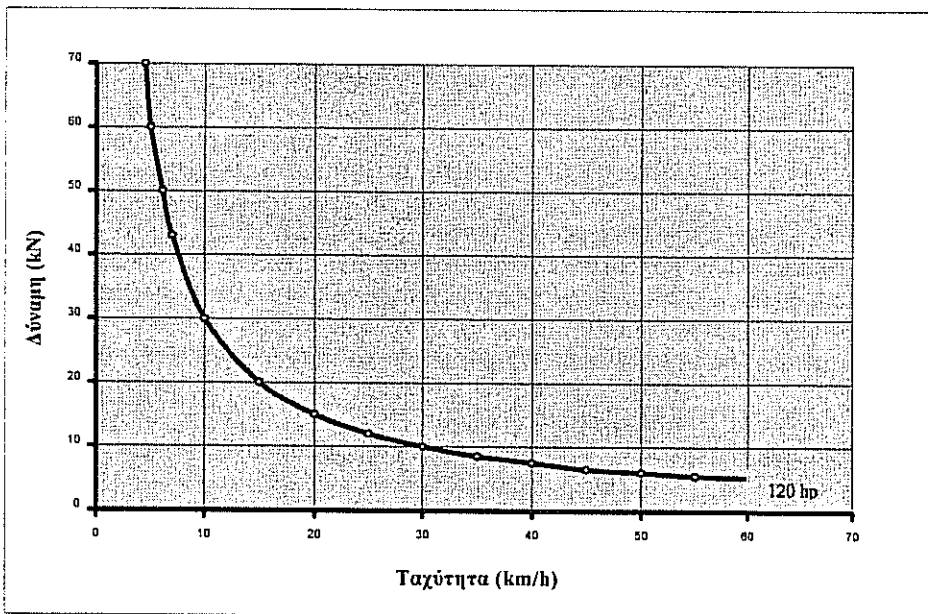
Η κατασκευή έχει διαστάσεις 7,6x2,5x3,1m με σαφώς διαχωρισμένο το χώρο οδήγησης - ελέγχου από το χώρο τοποθέτησης των διατάξεων πέδησης, αυτοκίνησης, τροφοδοσίας, κλπ. Οι δύο χώροι επικοινωνούν με εσωτερική θύρα ικανού ανοίγματος. Επίσης υπάρχουν εξωτερικές πόρτες οι οποίες επιτρέπουν την πρόσβαση και εισαγωγή - εξαγωγή των εγκατεστημένων συστημάτων. Ο θάλαμος οδήγησης (δύο θέσεις εργασίας εκτός του οδηγού) είναι κατάλληλα διαμορφωμένος και στον ίδιο χώρο έχει εγκατασταθεί το σύστημα ελέγχου, συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων μέσω Η/Υ. Η τροφοδοσία του συστήματος είναι 220 V.

Το όχημα περιλαμβάνει όλες τις αναγκαίες διατάξεις για ίδιο έλεγχο, αερισμό και στους δύο χώρους, θέρμανση - κλιματισμό στο χώρο οδήγησης καθώς και όργανα για τον έλεγχο καλής λειτουργίας του μηχανολογικού εξοπλισμού. Το μέγιστο εφελκυστικό φορτίο στο οποίο μπορεί να υποβληθεί η κατασκευή είναι 60 kN.

Η πέδηση ασκείται μέσω υδραυλικής πέδης και ειδικών συστημάτων ελέγχου που ενεργοποιούνται από τον Η/Υ. Η αυτοκίνηση επιτυγχάνεται με ανάστροφη λειτουργία της ίδιας υδραυλικής πέδης (υδραυλικός κινητήρας). Το σύστημα ζεύξης οχήματος - ελκυστήρα, είναι ρυθμιζόμενο καθ' ύψος έτσι ώστε ο άξονας ζεύξης που φέρει τη δυναμοκυψέλη να είναι οριζόντιος κατά τη δοκιμή με βαθμό ελευθερίας  $\pm 30^\circ$  περίπου κατά το οριζόντιο επίπεδο.

Η διάταξη πέδησης ελκυστήρων δύναται να επιβάλλει φορτίο αυτόματα μέσω του υπολογιστή και έχει τις παρακάτω δυνατότητες :

- α) Διατήρησης σταθερού φορτίου (μεταβλητό),
- β) Προγραμματιζόμενου ρυθμού φόρτισης (0-6 kN/sec),
- γ) Επιβολής μεγίστου φορτίου 60 kN με ταχύτητα πρόωσης ελκυστήρα 5 km/h,
- δ) Μέγιστης ισχύος πέδησης 120 hp. Διάγραμμα ισχύος συναρτήσει της μεταβολής φορτίου και της ταχύτητας πρόωσης δίδεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Διάγραμμα ελκτικής ισχύος συναρτήσει της μεταβολής φορτίου και ταχύτητας πρόωσης

## 2.2 Σύστημα ελέγχου, συλλογής και επεξεργασίας μετρήσεων

Περιλαμβάνει τους παρακάτω αισθητήρες και αυτόνομα όργανα:

- α) Δυναμοκυψέλη 100 kN, βαθμού προστασίας IP 67, ακριβείας  $\pm 0,1\%$  της ένδειξης για τη μέτρηση της δύναμης έλξης, τοποθετημένη επί ειδικής διάταξης, με καλώδιο μόνιμο εξωτερικής χρήσης, με αναλογική έξοδο 4-20 mA [8].
- β) Οκτώ αισθητήρες θερμοκρασίας Pt 100, ακριβείας  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  για τη μέτρηση θερμοκρασίας καυσίμου, νερού, λαδιού, περιβάλλοντος [8].
- γ) Ένα αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης 600-1060 kPa, ακριβείας  $\pm 1,5\text{ hPa}$  της ένδειξης, με αναλογική έξοδο 0-5VDC [8].
- δ) Ένα αισθητήρα σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος, ακριβείας  $\pm 1\%$  RH, με έξοδο 0-1 VDC.
- ε) Ηλεκτρονικό στροφόμετρο (5), Peiseler, 0 - 5000 r.p.m., ακριβείας  $\pm 0,001\%$ , με παλμική έξοδο τετραγωνικών παλμών, για τη μέτρηση των στροφών κινητήρα και τροχών.
- ζ) Αισθητήρα ταχύτητας (τροχίσκο) Peiseler, 28", 0 - 40 km/h, με παλμική έξοδο
- η) Χρονόμετρο ακριβείας  $\pm 0,01\text{ sec}$ .
- θ) Διάταξη μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου του ελκυστήρα Pieleburg, ακριβείας  $\pm 0,25\%$  της ένδειξης.

Το σύστημα συλλογής και επεξεργασίας μετρήσεων έχει τη δυνατότητα ελέγχου του συστήματος πέδησης και τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων από 24 αναλογικές εισόδους (αισθητήρες ή όργανα) και 2 ψηφιακές RS 232. Οι αναλογικές εισόδους είναι για σήμα 0-10VDC και 4-20mA.

Η συλλογή γίνεται μέσω ειδικής εξωτερικής στεγανής διάταξης που επιτρέπει εύκολη και ασφαλή σύνδεση των οργάνων και αισθητήρων. Η επικοινωνία των αισθητήρων με τη διάταξη πραγματοποιείται με εξωτερικά καλώδια.

Οι μετρήσεις υφίστανται επεξεργασία από Η/Υ τοποθετημένο επί του οχήματος με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και περιφερειακά:

Βιομηχανικός Η/Υ Pentium II 300 MHz, C.P.U. Intel, 32MB RAM, cd x24, disk drive 3,5", hard disk 2GB, κάρτα οθόνης SVGA, οθόνη έγχρωμη χαμηλής ακτινοβολίας 17", πληκτρολόγιο, ποντίκι και εκτυπωτής ψεκασμού μελάνης. Λειτουργικό σύστημα WINDOWS '98.

Το σύστημα έχει ρυθμιζόμενο ρυθμό δειγματοληψίας, οι μετρήσεις υφίστανται ολοκλήρωση για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και ρυθμιζόμενο ρυθμό ανανέωσης στην οθόνη του Η/Υ. Οι μετρήσεις οδηγούνται για επεξεργασία στο EXCEL όπου και καταχωρούνται οριστικά σε αρχείο για περαιτέρω επεξεργασία.

Ο χειρισμός του συστήματος γίνεται χειροκίνητα με καταγραφή στον Η/Υ των μετρήσεων.

Το λογισμικό σύστημα διαθέτει τις παρακάτω επιλογές:

- 1) Μέτρηση στροφών τροχών ελκυστήρα για προεπιλεγμένη απόσταση (προκαταρκτική μέτρηση για τον υπολογισμό της ολίσθησης τροχών)

Κατά τη δοκιμή αυτή η δοκός έλξης του ελκυστήρα δεν είναι συζευγμένη με το όχημα. Για προκαθορισμένη απόσταση (διάστημα) και με προεπιλεγμένη ταχύτητα κιβωτίου μετάδοσης κίνησης καταγράφονται ο αριθμός των στροφών των κινητηρίων τροχών του ελκυστήρα χωρίς ολίσθηση, η διάρκεια της δοκιμής, και οι στροφές του κινητήρα. Υπολογίζεται η ταχύτητα πρόωσης του ελκυστήρα και καταγράφεται σε αρχείο

κειμένου (μορφή txt) ο αριθμός στροφών των κινητηρίων τροχών. Το αρχείο αυτό χρησιμοποιείται κατά την επιλογή (2) για τον υπολογισμό της ολίσθησης.

Οι παραπάνω μετρήσεις καταγράφονται μετά από εντολή του χειριστή όταν αυτός αντιληφθεί τη σταθεροποίηση της ταχύτητας.

## 2) Μέτρηση μέγιστης δύναμης (φορτίου) έλξης

Προκαταρκτική μέτρηση για τον υπολογισμό της μέγιστης δύναμης έλξης για την οποία η ολίσθηση των τροχών δεν υπερβαίνει μια προκαθορισμένη τιμή (δίδεται από τον κώδικα 2 του OECD ίση με 15%). Κατά τη δοκιμή αυτή η δοκός έλξης του ελκυστήρα είναι συζευγμένη με το όχημα. Για προκαθορισμένη ολίσθηση και με προεπιλεγμένη ταχύτητα κιβωτίου μετάδοσης κίνησης ανιχνεύονται τα παρακάτω μεγέθη:

Αριθμός στροφών εκάστου κινητηρίου τροχού,

Δύναμη έλξης F (kN).

Η ολίσθηση τροχών s ελέγχεται καθ'όλη τη διάρκεια της δοκιμής από τη σχέση

$$s = \frac{\sum N_{\phi} - \sum N_0}{\sum N_0} \cdot 100$$

όπου  $\sum N_{\phi}$  το άθροισμα των στροφών των κινητηρίων τροχών υπό φορτίο και  $\sum N_0$  το άθροισμα των στροφών των κινητηρίων τροχών χωρίς φορτίο.

Η επιβολή φορτίου ενεργοποιείται από το χειριστή όταν σταθεροποιηθεί η ταχύτητα του ελκυστήρα. Ο ρυθμός επιβολής φορτίου καθορίζεται επίσης από το χειριστή. Αν η ολίσθηση υπερβεί την προκαθορισμένη τιμή (15%) η μέτρηση τελειώνει αυτόματα και καταγράφεται η αντίστοιχη μέγιστη δύναμη έλξης (φορτίο). Στην περίπτωση που η ολίσθηση δεν ανέλθει στο 15% (μεγάλες ταχύτητες) το σύστημα καταγράφει την μέγιστη δύναμη έλξης που ανίχνευσε κατά τη διαδρομή.

## 3) Μέτρηση ισχύος έλξης υπό μέγιστο φορτίο για το οποίο η ολίσθηση των τροχών δεν υπερβαίνει την προκαθορισμένη τιμή (15%)

Κατά τη δοκιμή αυτή η δοκός έλξης του ελκυστήρα είναι συζευγμένη με το όχημα. Επιλέγονται η ταχύτητα κιβωτίου μετάδοσης κίνησης ίδια με εκείνη της επιλογής (2), η δύναμη έλξης που θα επιβληθεί και έχει ανιχνευθεί κατά την επιλογή (2), ο χρόνος που καθορίζει το ρυθμό επιβολής φορτίου και η επιθυμητή διακύμανση του φορτίου. Καταγράφονται τα παρακάτω μεγέθη:

Αριθμός στροφών εκάστου κινητηρίου τροχού,

Χρόνος δοκιμής,

Διάστημα δοκιμής,

Δύναμη έλξης (φορτίο),

Στροφές κινητήρα,

Θερμοκρασία καυσίμου, λαδιού, νερού, περιβάλλοντος,

Σχετική υγρασία,

Ατμοσφαιρική πίεση

Κατανάλωση καυσίμου.

Υπολογίζονται επίσης από το σύστημα τα εξής:

Ολίσθηση τροχών,

Ταχύτητα πρόωσης ελκυστήρα και

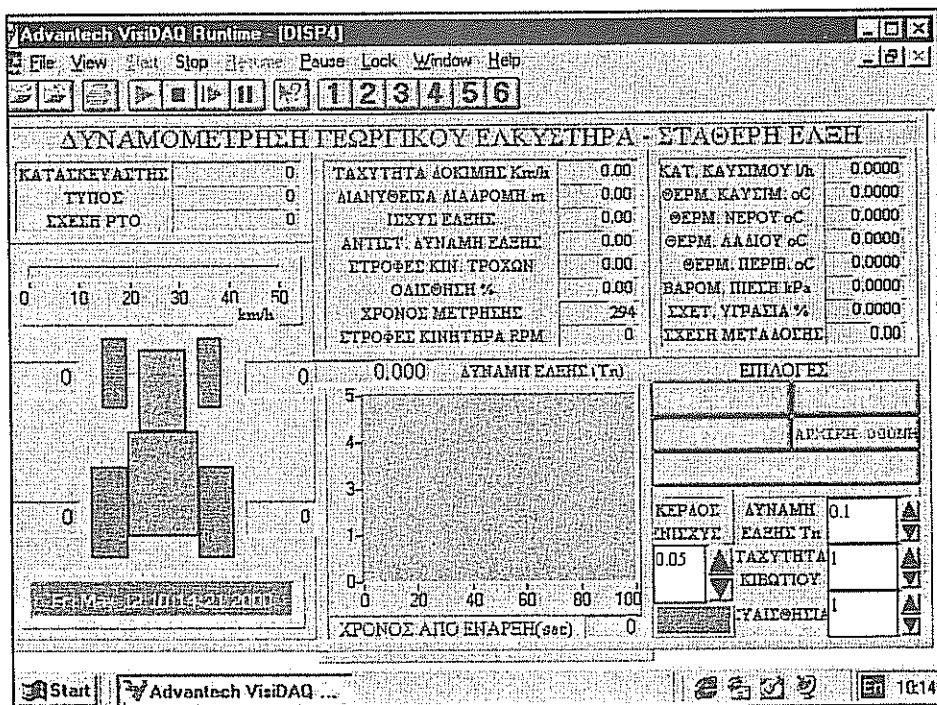
Ισχύς έλξης N από τη σχέση

$$N \text{ (kW)} = F \text{ (kN)} \cdot u \text{ (km/h)} \cdot \frac{1}{3,6}$$

Η φόρτιση άρχεται μετά τη σταθεροποίηση της ταχύτητας πρόωσης. Η έναρξη της καταγραφής γίνεται όταν ο χειριστής αντιληφθεί από παρατιθέμενο διάγραμμα σταθεροποίηση της δύναμης έλξης. Η μέτρηση ολοκληρώνεται όταν διανυθεί διαδρομή μεγαλύτερη ή ίση αυτής που προβλέπεται από τον κώδικα του OECD [6]. Αν κατά τη διάρκεια της δοκιμής η ολίσθηση υπερβεί την προκαθορισμένη τιμή υπάρχει οπτικό σήμα. Η ανωτέρω επιλογή επαναλαμβάνεται:

- α) Στο 75% της μέγιστης δύναμης έλξης της επιλογής (2),
- β) Στο 50% της μέγιστης δύναμης έλξης της επιλογής (2),
- γ) Στην επόμενη μεγαλύτερη ταχύτητα και μειωμένες στροφές κινητήρα, δύναμη έλξης και ταχύτητα πρόωσης όπως στην (α).
- δ) Στην επόμενη ταχύτητα και μειωμένες στροφές κινητήρα, ίδια δύναμη έλξης και ταχύτητα πρόωσης όπως στην (β).
- ε) Στη μέγιστη ισχύ έλξης σε επιλεγμένη ταχύτητα πλησιέστερη σε ταχύτητα πρόωσης 7,5 km/h (με βάση τον πίνακα ταχυτήτων) στις ονομαστικές στροφές κινητήρα.
- ζ) Στο 75% της δύναμης έλξης στην μέγιστη ισχύ στις ονομαστικές στροφές κινητήρα της (ε).
- η) Στο 50% της δύναμης έλξης κατά τα λοιπά ως (ε) και (ζ).
- θ) Στην επόμενη μεγαλύτερη ταχύτητα σε μειωμένες στροφές κινητήρα, ίδια δύναμη έλξης και ταχύτητα πρόωσης όπως στην (ε).
- ι) Στο συνδυασμό των συνθηκών (η) και (θ).

Όλες οι προαναφερόμενες μετρήσεις επιβάλλονται από τον κώδικα (2) του OECD [6]. Ενδεικτική οθόνη της επιλογής αυτής δίδεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Ενδεικτική οθόνη μέτρησης ισχύος έλξης υπό μέγιστο φορτίο

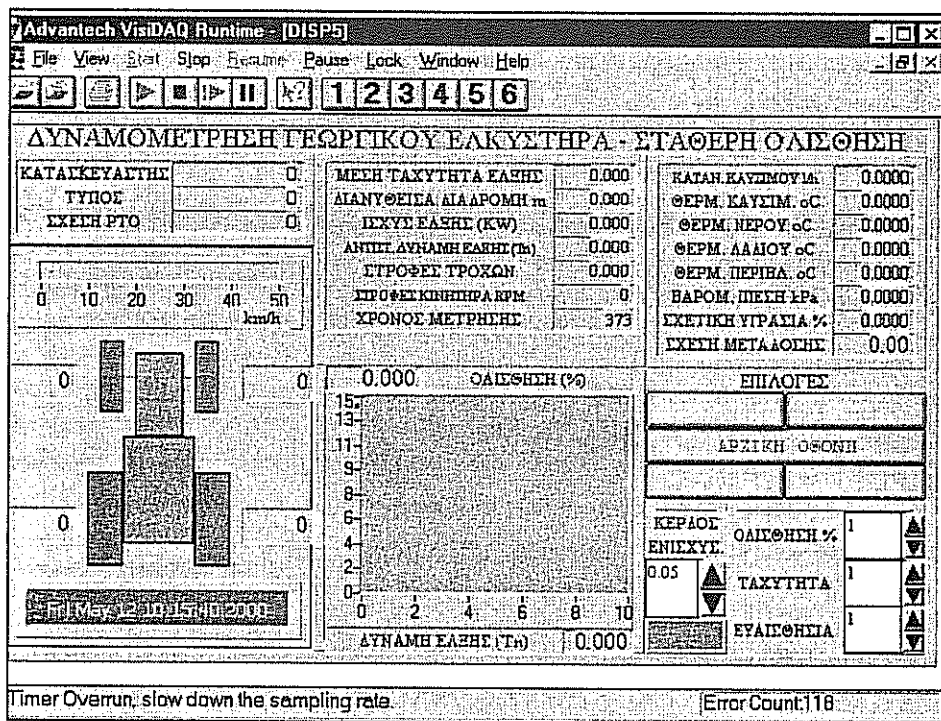
#### 4) Μέτρηση δύναμης έλξης με σταθερή ολίσθηση

Κατά τη δοκιμή αυτή η δοκός έλξης του ελκυστήρα είναι συζευγμένη με το όχημα. Επιλέγονται η ταχύτητα κιβωτίου μετάδοσης κίνησης ίδια με εκείνη της επιλογής (2), η επιθυμητή ολίσθηση, ο χρόνος που καθορίζει το ρυθμό επιβολής φορτίου και η επιθυμητή διακύμανση της ολίσθησης. Καταγράφονται τα παρακάτω μεγέθη:

- Αριθμός στροφών εκάστου κινητηρίου τροχού,
- Χρόνος δοκιμής,
- Διάστημα δοκιμής,
- Δύναμη έλξης (φορτίο),
- Στροφές κινητήρα,
- Θερμοκρασία καυσίμου, λαδιού, νερού, περιβάλλοντος,
- Σχετική υγρασία,
- Ατμοσφαιρική πίεση
- Κατανάλωση καυσίμου.

Υπολογίζονται επίσης από το σύστημα η ταχύτητα πρόωσης ελκυστήρα και η ελκτική ισχύς N.

Ενδεικτική οθόνη της επιλογής αυτής δίδεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3. Ενδεικτική οθόνη μέτρησης με σταθερή ολίσθηση

Η κατασκευή και μελέτη εφαρμογής του συστήματος έγινε από την ελληνική εταιρία ΚΕΜ ΕΠΕ σε συνδυασμό με το Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου της Πάτρας.

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι επίσημοι κώδικες 1 και 2 του OECD καθιέρωσαν τη διενέργεια ελέγχων και δοκιμών για τη διαπίστωση των αποδόσεων των γεωργικών και δασικών ελκυστήρων.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στους τομείς των υδραυλικών συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και της πληροφορικής σε συνδυασμό με τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας στους ελκυστήρες κατέστησαν αναγκαίο το σχεδιασμό ενός πλήρως αυτοματοποιημένου μετρητικού συστήματος δυναμένου να επιτηρεί και να ελέγχει όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις δοκιμές με την απαιτούμενη από τις προδιαγραφές ακρίβεια.

Το σύστημα ικανοποιεί τις διεθνείς απαιτήσεις για τη διασφάλιση της ορθής μέτρησης των φυσικών μεγεθών θερμοκρασίας, πίεσης, ταχύτητας, ροής και χρόνου και αξιοποιεί πλήρως τις δυνατότητες άσκησης δύναμης μέσω υδραυλικών συστημάτων. Το λογισμικό του συστήματος χρησιμοποιεί προγράμματα του εμπορίου που επιτρέπουν την άμεση και πλήρη επεξεργασία των μετρήσεων.

Η διάταξη επιτρέπει την ανάλυση των αποδόσεων των ελκυστήρων αξιόπιστα και σε εύλογο χρονικό διάστημα ώστε οι δοκιμές να καθίστανται ουσιαστικός μοχλός βελτίωσης της ποιότητας.

Η ενέργεια δοκιμών με σταθερή ολίσθηση θα αποτελέσει αντικείμενο αναλυτικής διερεύνησης από πλευράς του Ι.Γ.Ε.Μ.Κ. με τη χρήση του συστήματος που υλοποιήθηκε για τη συμπλήρωση των απαιτήσεων του ποιοτικού ελέγχου.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μέργος, Γ., Ψαλτόπουλος, Δ., 1996. Η βιομηχανία αγροτικών μηχανημάτων και αγροτική εκμηχάνιση. Ίδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών (ΙΟΒΕ). Μονάδα Κλαδικών Μελετών. Αθήνα.
2. Παπαγιαννοπούλου, Α., Παρισόπουλος, Γ., 2000. Εκμηχάνιση γεωργίας. Ποιότητα γεωργικού εξοπλισμού – Σύγχρονες τάσεις. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Συνεδρίου Agrotica. Θεσσαλονίκη. (Υπό δημοσίευση).
3. OECD, 2000. Code 4 "OECD standard code for the official testing of protective structures on agricultural and forestry tractors". OECD editions. Paris.
4. OECD, 2000. Code 6 "OECD standard code for the official testing of front mounted roll-over protective structures on narrow-track wheeled agricultural and forestry tractors". OECD editions. Paris.
5. OECD, 2000. Code 7 "OECD standard code for the official testing of rear mounted roll-over protective structures on narrow-track wheeled agricultural and forestry tractors". OECD editions. Paris.
6. OECD, 2000. Code 2 "OECD restricted standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance". OECD editions. Paris.
7. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 1999. Οδηγία 98/37/Ε.Κ. για την προσέγγιση της νομοθεσίας των κρατών μελών σχετικά με τις μηχανές. Έκδοση στην ελληνική. Αθήνα.
8. Figliola, R., Beasley, D., 1995. Theory and design for mechanical measurements. John Wiley & Sons, Inc., USA.

# ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΡΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΔΑΦΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΕ ΕΔΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Μπιλάλης Δημήτριος, Σιδηράς Νικόλαος, Ευθυμιάδης Παναγιώτης  
Γεωπ. Παν. Αθηνών, Εργαστήριο Γεωργίας, Ιερά Οδός 75, Αθήνα 118 55.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Συγκρίθηκαν τα συστήματα εδαφοκατεργασίας: Άροση, Φρέζα και Ακατεργασία, μελετώντας την επίδρασή τους σε επιλεγμένα εδαφικά και φυτικά χαρακτηριστικά. Ο πειραματικός εγκαταστάθηκε στον αγρό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών το 1995. Η καλλιέργεια βαμβακιού συμμετείχε στο δεύτερο κύκλο αμεινισποράς (χειμ.σιτηρά - ψυχανθές (χλωρή λίπανση)- βαμβάκι). Στο σύστημα της ακατεργασίας παρατηρήθηκε η μικρότερη αντίσταση στη διείσδυση και το μεγαλύτερο ποσοστό μακροπόρων γεγονός που ευνόησε την ανάπτυξη των ριζών. Αντίθετα στο σύστημα της άροσης παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη αντίσταση και η μικρότερη ανάπτυξη ριζών. Η αυξημένη φυλλική επιφάνεια των φυτών στο σύστημα της ακατεργασίας συσχετίστηκε με την αυξημένη πυκνότητα ριζών, γεγονός που οδήγησε σε μεγαλύτερες αποδόσεις. Αντίθετα στο σύστημα της άροσης μετρήθηκαν οι μικρότερες αποδόσεις.

## EFFECT OF THREE TILLAGE SYSTEMS ON PLANT AND SOIL PROPERTIES ON COTTON CROP

D. Bilalis N. Sidiras and P. Efthimiadis

Agriculture Univ. of Athens. Lab. Of Crop Production. 75 Iera Odos. 118 55, Greece.

## ABSTRACT

The following soil tillage systems were compared : Ploughing, rotary hoe and no-tillage on selected plant and soil properties. Field experiments were established in field of the Agriculture Univ. of Athens with the crop rotation: (winter cereals- legume (green manure)-cotton) in second cycle. The lowest levels penetration resistance, the highest root length density and the highest values of macroporosity were found in the no-tillage system. In contrast the highest levels of penetration resistance and the lowest root length density were found in the ploughing plots. Between LAI and root length density high correlation was observed in all soil tillage systems. The highest yields were observed in the notillage plots and the lowest in the ploughing plots.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής στις μεγάλες καλλιέργειες, π.χ. σιτηρά, βαμβάκι, καλαμπόκι κ.α. μπορεί να προέλθει απλοποιώντας το συμβατικό σύστημα κατεργασίας [19]. Μέσω ενός κατάλληλα σχεδιασμένου συστήματος κατεργασίας και χειρισμού των φυτικών υπολειμμάτων μπορούν να αντιμετωπισθούν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η διάβρωση, η έκπλυση των ανόργανων στοιχείων κ.λ.π. [1, 2, 3, 16, 17].

Το συμβατικό σύστημα κατεργασίας επιδρά άμεσα στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους μεταβάλλοντας το πορώδες και την κατανομή των πόρων, την φαινομενική πυκνότητα, τη Μέση Σταθμισμένη Διαμέτρος Συσσωματωμάτων και έμμεσα την περιεχόμενη υγρασία του εδάφους, την αντίσταση στη διείσδυση [21]. Οι μεταβολές όλων των παραπάνω παραγόντων έχουν σημαντική επίπτωση στη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών και κατ' επέκταση στην εγκατάσταση της φυτείας και στην υπέργεια βλάστηση [7, 8, 11, 15, 22]. Η αυξημένη βλάστηση οδηγεί συνήθως σε μεγαλύτερες αποδόσεις, οι οποίες είναι μεγαλύτερες όταν εφαρμόζεται κάποιο επιτυχές σύστημα αμειψισποράς σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια [4, 18]. Σημαντικό ρόλο στη κατάρτιση της αμειψισποράς ασκεί το εφαρμοζόμενο σύστημα κατεργασίας όπου ο ρόλος των χορτοδοτικών ψυχανθών είναι σημαντικότερος στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας και οδηγεί σε μεγαλύτερες αποδόσεις και σε καλύτερη αντιμετώπιση ζιζανίων [12, 20].

Προκειμένου να μελετηθούν οι επιδράσεις των συστημάτων κατεργασίας στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και πώς αυτές στην συνέχεια επιδρούν στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος που οδηγεί τελικά σε μεγαλύτερες αποδόσεις, εγκαταστάθηκε πειραματικός αγρός και μελετήθηκαν τα συστήματα συμβατικής, μειωμένης κατεργασίας και της ακατεργασίας σε συνδυασμό με διαφορετικά είδη λίπανσης (ανόργανης και οργανικής). Στη παρούσα εργασία για οικονομία χώρου και χρόνου παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν μόνο τα συστήματα κατεργασίας.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

**2.1 Πειραματικός αγρός:** Ο πειραματικός εγκαταστάθηκε σε Αγρό του Εργ. Γεωργίας του Γ.Π.Α το Νοέμβριο του 1995. Οι ιδιότητες του εδάφους ήταν : ClayLoam (29.8% clay, 34.3% silt and 35.9% sand) με pH 7.22, οργανική ουσία 1.17%, CaCO<sub>3</sub> 24%, Ολικό N 0.112%. Ακολουθήθηκε το σχέδιο των υποδιαιρεμένων τεμαχίων, με 3 κύριες επεμβάσεις τα συστήματα κατεργασίας, 3 υποεπεμβάσεις τα 3 είδη λίπανσης και 4 επαναλήψεις. Οι διαστάσεις κάθε υποτεμαχίου ήταν 3x5=15m<sup>2</sup> ενώ ο συνολικός αριθμός των υποτεμαχίων ήταν 36.

**2.2 Φυτικό υλικό:** Ο δεύτερος κύκλος της αμειψισπορά που ακολουθήθηκε ήταν ο εξής:

Α) Δίστοιχο κριθάρι (*Hordeum vulgare* L. cv. Niki) 11/1997-6/1998.

Β) Μπιζέλι (*Pisum sativum* cv. Όλυμπος) 11/1998-3/1999 και

Γ) Βαμβάκι (*Gossypium hirsutum* L. cv. Acala SJ-2) 4/1999-10/1999.

**2.3 Επεμβάσεις κατεργασίας:**

*Συμβατική κατεργασία* με δίκτυο άροτρο σε βάθος ~25cm ακολουθούμενο από ένα πέρασμα με περιστρεφόμενο σκαπτικό (φρέζα) σε βάθος έως ~15 cm.

*Μειωμένη κατεργασία* με περιστρεφόμενο σκαπτικό σε βάθος έως ~15cm.

*Ακατεργασία* όπου γίνονταν απευθείας σπορά επί των υπολειμμάτων χωρίς να προηγηθεί κανένα είδος κατεργασίας του εδάφους.



#### 2.4 Υποεπεμβάσεις λίπανσης:

1. Οργανική λίπανση με εφαρμογή αγελαδινής κοπριάς (3 τόνους /στρ.)
2. Ανόργανη λίπανση (ανάλογα με το είδος και της απαιτήσεις κάθε καλλιέργειας).
3. Μάρτυρας όπου αποτελούσαν τα υποτεμάχια χωρίς κανένα είδος λίπανσης.

#### 2.5 Εδαφικά-Φυτικά χαρακτηριστικά:

Το ποσοστό μακροπόρων και η φαινομενική πυκνότητα, που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, μετρήθηκαν στο τέλος της καλλιέργειας με την λήψη αδιαταράκτων δειγμάτων εδάφους με τη χρήση κυλίνδρων όγκου 100 cm<sup>3</sup> (Lütz, 1947) οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε συσκευή Richards (Lab 023, Pressure membrane extractor, Soil moisture Ltd. CA USA).

Η υγρασία του εδάφους προσδιορίζονταν με τη σταθμική μέθοδο χρησιμοποιώντας δειγματολήπτη Pürckhauer.

Η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση μετρήθηκε με ψηφιακό διεισδυσιόμετρο (Model 06.15 Eijkelkamp Netherlands).

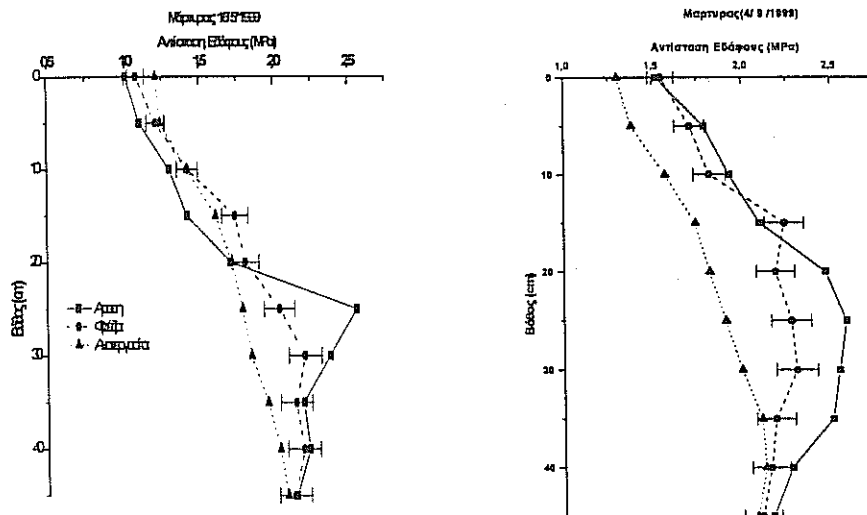
Η πυκνότητα του ριζικού συστήματος μετρήθηκε στο τέλος κάθε καλλιέργειας. Με δειγματολήπτη λαμβάνονταν δείγμα εδάφους 2 l το οποίο στη συνέχεια αφήνονταν για μία νύχτα σε πολυμεταφοσφορικό νάτριο προκειμένου να προωθηθεί το φαινόμενο της διασποράς του εδάφους και να είναι εύκολη η συλλογή των ριζών από κόσκινο 5mm mesh. Οι συλλεγόμενες ρίζες από το συγκεκριμένο όγκο εδάφους χρωματίζονται με διάλυμα 0.1% trypan blue FAA. Οι σκούρες ρίζες στη συνέχεια υφίστανται σάρωση (HP 4C) σε υψηλή ευκρίνεια (1024 x 1024 pixels) δημιουργώντας ένα ασπρόμαυρο αρχείο το οποίο στη συνέχεια δέχτηκε επεξεργασία από το λογισμικό πρόγραμμα ΔT-Scan (Delta –T Devices Ltd., Burwell Cambridge, UK) [10].

Φυλλική επιφάνεια ανά φυτό: Μετρήθηκε στο στάδιο της μέγιστης ανάπτυξης του βαμβακιού. Λαμβάνονταν όλα τα φύλλα ενός φυτού στα οποία προσδιορίζονταν η επιφάνειά τους με τη χρήση ηλεκτρονικού εμβαδομέτρου (ΔT-area, Delta –T devices Ltd, Burwell, Cambridge, UK).

Οι αποδόσεις μετρήθηκαν συγκομίζοντας σε δύο διαφορετικές ημερομηνίες όλα τα φυτά κάθε πειραματικού τεμαχίου.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

**3.1 Αντίσταση στη διείσδυση:** Με την κατεργασία του εδάφους η αντίσταση στη διείσδυση μειώνεται. Με τη πάροδο του χρόνου και τη μείωση της εδαφικής υγρασίας η αντίσταση αυξάνει και έως το τέλος της καλλιέργειας η μεγαλύτερη αντίσταση βρέθηκε στα τεμάχια της άρσης ενώ η μικρότερη στα τεμάχια της ακατεργασίας όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 1. Μεταξύ των τεμαχίων της άρσης και της ακατεργασίας οι διαφορές ως προς την αντίσταση κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές ενώ μεταξύ των τεμαχίων της άρσης και της φρέζας οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.



**Διάγραμμα 1.** Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση σε τρία συστήματα κατεργασίας και σε δύο ημερομηνίες (μ.ο. στα τεμάχια χωρίς λίπανση).

**3.2 Ποσοστό μακροπόρων :** Η κατεργασία όσο πιο έντονη ήταν τόσο περισσότερο μείωσε το ποσοστό των μακροπόρων λόγω ευκολότερης καταστροφής των συσσωματωμάτων από το νερό και την πλήρωση των μακροπόρων, γεγονός το οποίο δεν παρατηρήθηκε στα τεμάχια της ακατεργασίας. Μεταξύ των τριών κατεργασίας, το σύστημα της ακατεργασίας παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό μακροπόρων και στα τρία βάθη και υπερέχει στατιστικά (Πίνακας 1). Αντίθετα μεταξύ των συστημάτων της άροσης και της φρέζας δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές παρά το γεγονός ότι στο σύστημα της φρέζας παρατηρήθηκε μεγαλύτερο ποσοστό.

**Πίνακας 1.** Ποσοστό μακροπόρων (%) για τρία συστήματα εδαφοκατεργασίας και για τα βάθη 0-15, 15-30 και 30-45 cm. (Σεπτέμβριος 1999).

	Άροση	Φρέζα	Ακατεργασία	$E\sigma\Delta_{5\%}$
0-15 cm	18,10	20,45	23,45	2,58
15-30 cm	17,95	18,26	21,95	2,25
30-45 cm	15,83	17,48	19,51	1,91

**3.3 Πυκνότητα ριζικού συστήματος:** Η πυκνότητα μετρήθηκε στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης του. Στα τεμάχια της ακατεργασίας βρέθηκε η μεγαλύτερη πυκνότητα του ριζικού συστήματος ενώ η μικρότερη στα τεμάχια της άροσης. Οι διαφορές μεταξύ και των τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές (Πίνακας 2). Στα τεμάχια της άροση και στο βάθος 30-45 cm μετρήθηκε το μικρότερο ποσοστό μακροπόρων γεγονός που συνδέθηκε με την αυξημένη αντίσταση που παρατηρήθηκε στο βάθος αυτό και στο μικρό ποσοστό μακροπόρων. Η μεγαλύτερη πυκνότητα του

ριζικού συστήματος στην ακατεργασία συνδέθηκε με την καλύτερη δομή του εδάφους καθώς και με τη θετική επίδραση των φυτικών υπολειμμάτων μπιζελιού όπου μείωσαν τις απώλειες νερού άρδευσης από εξάτμιση και ταυτόχρονα διατήρησαν τη θερμοκρασία εδάφους μικρότερη σε σχέση με τα τεμάχια της άρδευσης και της φρέζας.

**Πίνακας 2.** Πυκνότητα ριζικού συστήματος ( $\text{cm.cm}^{-3}$ ) για τρία συστήματα κατεργασίας και για τρία βάθη .

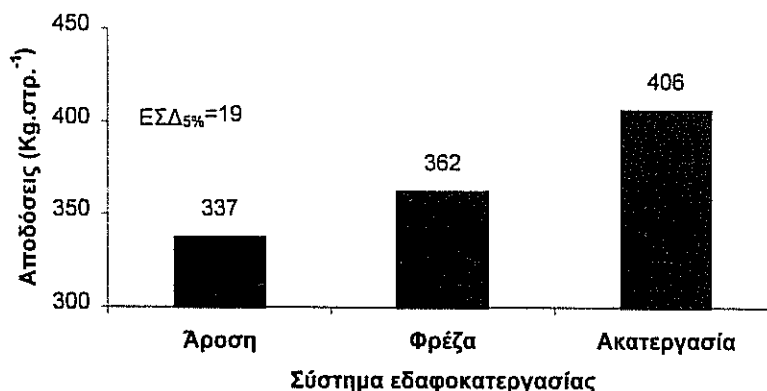
	<i>Άρση</i>	<i>Φρέζα</i>	<i>Ακατεργασία</i>	<i>ΕΣΔ<sub>5%</sub></i>
<b>0-15 cm</b>	0,602	0,636	0,681	0,012
<b>15-30 cm</b>	0,588	0,605	0,692	0,023
<b>30-45 cm</b>	0,418	0,478	0,593	0,031

**3.4 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας:** Στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης του φυλλώματος βρέθηκε ότι τα φυτά των τεμαχίων της ακατεργασίας εμφάνισαν την μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια ενώ στα φυτά των τεμαχίων της άρδευσης μετρήθηκε η μικρότερη φυλλική επιφάνεια. Μεταξύ και των τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας οι διαφορές ως προς τη φυλλική κρίθηκαν στατιστικά σημαντικές (Πίνακας 3).

**Πίνακας 3.** Δείκτης φυλλικής επιφάνειας για τρία συστήματα εδαφοκατεργασίας (μ.ο. τεμαχίων χωρίς λίπανση).

	<i>Άρση</i>	<i>Φρέζα</i>	<i>Ακατεργασία</i>	<i>ΕΣΔ (5%)</i>
<b>L.A.I.</b>	3,67	3,98	4,32	0,26

**3.5 Αποδόσεις καλλιιεργιών:** Οι αποδόσεις που μετρήθηκαν στα τεμάχια της ακατεργασίας ήταν οι μεγαλύτερες ενώ οι μικρότερες στην άρση. Μεταξύ των τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας οι διαφορές που μετρήθηκαν ήταν στατιστικά σημαντικές (διάγραμμα 2).



**Διάγραμμα 2.** Επίδραση του συστήματος κατεργασίας στις αποδόσεις σύσπορου βαμβακιού. (Οκτ. 1999).

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

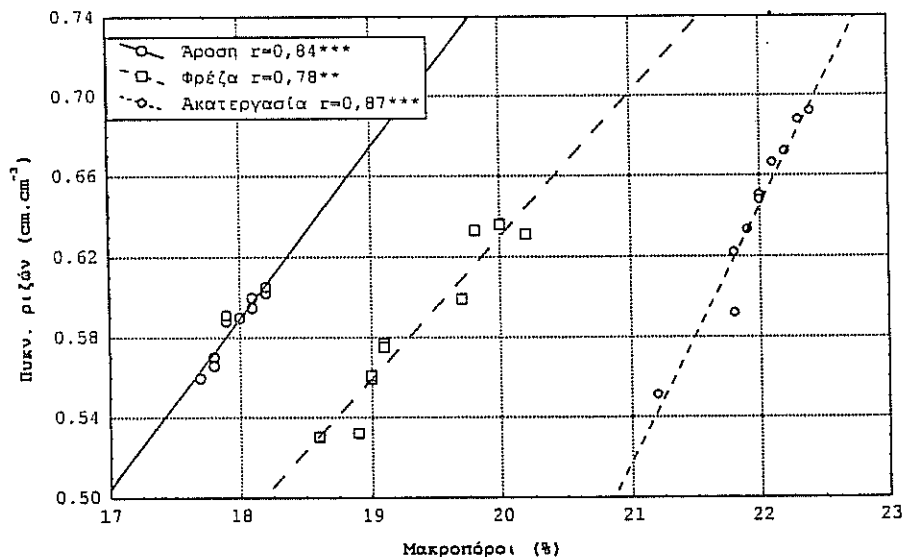
Η συζήτηση θα εστιαστεί στα σημεία επίδρασης της κατεργασίας στους εδαφικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του ριζικού, οδηγώντας έτσι σε εύρωστα και αποδοτικότερα φυτά.

Η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση, η φαινομενική πυκνότητα, η κατανομή των πόρων κ.λ.π. είναι από τις πλέον μελετούμενες φυσικές ιδιότητες σχετικές με την ανάπτυξη των ριζών [5, 6, 9, 14].

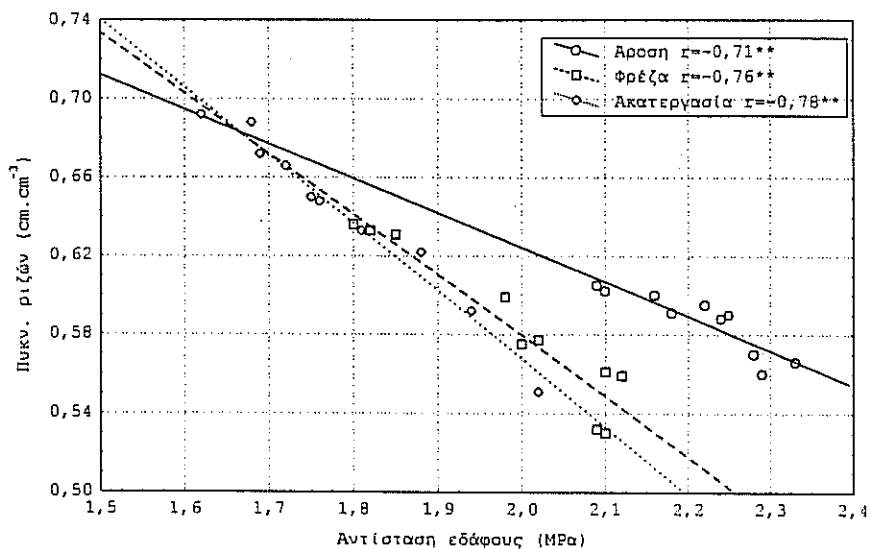
Μεταξύ του ποσοστού των μακροπόρων και της πυκνότητας του ριζικού συστήματος παρουσιάστηκε και στα τρία συστήματα εδαφοκατεργασίας υψηλή θετική συσχέτιση. Στο σύστημα της ακατεργασίας βρέθηκε ο υψηλότερος συντελεστής συσχέτισης ( $r=0,87^{***}$ ) (διάγραμμα 3).

Σημαντική συσχέτιση παρατηρήθηκε επίσης και μεταξύ της πυκνότητας του ριζικού συστήματος και της αντίστασης του εδάφους. Οι συσχετίσεις που παρατηρήθηκαν ήταν αρνητικές και για τα τρία συστήματα εδαφοκατεργασίας ( $r=-0,71^{**}$ ,  $r=-0,76^{**}$  και  $r=-0,78^{**}$  για τα συστήματα της άροσης της φρέζας και της ακατεργασίας αντίστοιχα (διάγραμμα 4).

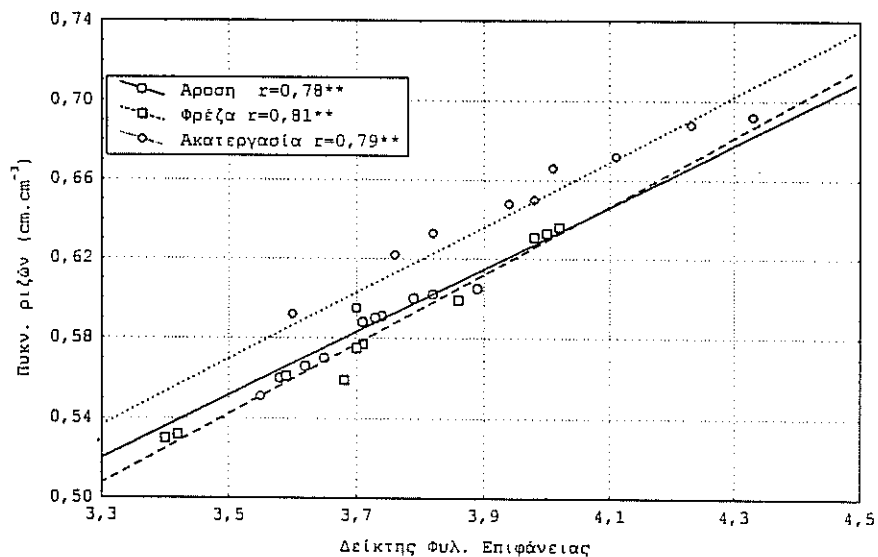
Η καλύτερη ανάπτυξη των ριζών στο σύστημα της ακατεργασίας οδήγησε σε εύρωστα φυτά με μεγαλύτερο ύψος αλλά κυρίως με μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια. Το γεγονός αυτό παρατηρήθηκε λόγω του καλύτερου εφοδιασμού των φυτών κυρίως με νερό καθώς και με θρεπτικά συστατικά. Παρουσιάστηκαν λοιπόν υψηλοί συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της πυκνότητας του ριζικού συστήματος και της φυλλικής επιφάνειας επαληθεύοντας την άμεση συσχέτιση των δύο αυτών παραγόντων. Οι συντελεστές συσχέτισης που βρέθηκαν ήταν υψηλοί ( $r=0,78^{**}$ ,  $r=0,81^{**}$  και  $r=0,79^{**}$  για τα συστήματα της άροσης, της φρέζας και της ακατεργασίας αντίστοιχα (διάγραμμα 5).



Διάγραμμα 3. Συσχέτιση μεταξύ ποσοστού μακροπόρων και πυκν. ριζικού συστήματος για τρία συστήματα εδαφοκατεργασίας.



Διάγραμμα 4. Συσχέτιση μεταξύ της αντίστασης του εδάφους και πυκν. ριζικού συστήματος για τρία συστήματα εδαφοκατεργασίας.



Διάγραμμα 5. Συσχέτιση μεταξύ του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και πυκν. ριζικού συστήματος για τρία συστήματα εδαφοκατεργασίας.

Τα φυτά με το πλουσιότερο ριζικό σύστημα καθώς και με τη μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια στα τεμάχια της ακατεργασίας έδωσαν και μεγαλύτερες αποδόσεις λόγω και εντονότερου ρυθμού φωτοσύνθεσης και εφοδιασμού των φυτών με προϊόντα φωτοσύνθεσης.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aase J. Pikul J. 1995. Crop and Soil Response to long Term Tillage practices in the Northern Grait plains. *Agron. J.* 87: 652-656.
2. Campbell C., McConkey B, Zentner R.P., Selles F. 1991. Tillage and Crop rotation effects on soil organic C and N in a coarse-texture Typic Haploboroll in southern Saskatchewan. *Soil and Tillage Research.* 37: 3-14.
3. Castro F., Henklain J.C., Vieira M., Casao J.R. 1991. Tillage methods and soil and water conservation in the southern Brazil. *Soil Tillage and Research*, 20: 271-283.
4. Constable G. A., Rochester I. J., and I. Daniells. 1992. Cotton yield and nitrogen requirement is modified by crop rotation and tillage method. *Soil Tillage and Research* 23: 41-59
5. Dao Thanh. 1996. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. *Agron. J.* 88: 141-148
6. Ehlers W. 1983. Gesamptorenvolumen und Porengrößenverteilung in unbearbeiteten und bearbeiteten Loessboeden. *Z. Pflanzenernaehr. U. Bodenk.* 134: 193-207.
7. Ehlers W., Kopke U., Hesse F., Bohm W. 1993. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage research.* 3: 261-275.
8. Franzluebbbers A. J., Hons F. M., and D. A. Zuberer, 1995. Tillage induced seasonal changes in soil physical properties affecting soil CO<sub>2</sub> evolution under intensive cropping. *Soil Tillage and Research* 34: 41-60
9. Gregorich E., Reynolds W.D., Gulley J. B., McGovern M.A., 1993. Changes in soil physical properties with depth in a conventionally tilled soil after no-tillage. *Soil and Tillage Research*, 26: 289-299.
10. Kokko E.G., Volkmar K., Gowen B., Entz T. 1993. Determination of total root surface area in soil core samples by image analysis. *Soil and Tillage Research.* 26: 33-43.
11. Lal R., Mahboubi A., Fausey N. 1994. Long term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 517-522.
12. Lewis, W. M. and A. D. Worsham. 1981. Weed management in No-Tillage. In W. M. Lewis (ed). *No-Till crop production system in North Carolina- corn , soybeans, sorghum and forages.* N. C. Agric. Ext. Serv. Bull. AG-273, pg. 8-11
13. Lutz J. F. 1947: Apparatus for collecting undisturbed soil samples. *Soil Sci.* 64: 399-401
14. Pierce F. J., Fortinn M., and M. Staton, 1992. Immediate and residual effects of zone tillage in rotation with no-tillage on soil physical properties and corn performance. *Soil Tillage and Research* 24: 149-165
15. Sidiras N., Avgoulas C., Bilalis D., Tsougrianis N. 1999. Effects of tillage and fertilization on biomass, roots, N-accumulation and nodule bacteria of vetch. *J Agronomy & Crop Science* 182: 209-216

16. Sidiras N., Heinzmann, Kahnt G., Roth C. H. and R. Derpsch. 1985. The importance of winter crops for controlling water erosion, and for the Summer Crops on two Oxisols in Parana, Brazil. *J Agronomy & Crop Science* 155: 205-214
17. Soane B.D., Van Ouwerkerk C. 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil and Tillage Research* 35: 5-22
18. Sojka R. E., Horne D. J., Ross C. W., and C. J. Baker. 1997. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil Tillage and Research* 40: 125-144
19. Sorenson W.J., and Montoya L.J., 1984. Implicacoes economicas da erosao do solo e das practices conservacionistas no Parana, Brasil. Londrina, IAPAR/GTZ. 143 pp.
20. Van Doren, D. M. and G. B. Triplett, 1973. Mulch and tillage relationships in corn culture. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 766-769
21. Μπιλάλης Ι. Δημήτριος. 1999. Μελέτη συστημάτων εδαφοκατεργασίας – σποράς με και χωρίς λίπανση σε φυτικές και εδαφικές παραμέτρους σε μία 3ετή αμειψισπορά. Διδακτορική διατριβή. Γ.Π.Α. σελ. 316.
22. Σιδηράς Ν. & Μπιλάλης Δ. 1998. Επίδραση τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας στη δομή του εδάφους και στην ανάπτυξη των ριζών του σκληρού σιταριού. Πρακτ. 7ο Παν. Εδαφ. Συνεδρίου. Σελ. 65-78.

# ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

**Πλούταρχος Β. Καραρίζος**

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων  
Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μέσα στα πλαίσια της εκμηχάνισης και της ποιοτικής και ποσοτικής αξιοποίησης του μηχανολογικού εξοπλισμού απαιτείται συνεχής παρακολούθηση της αξιοπιστίας των μηχανικών μέσων και των στοιχείων τους. Το μέγεθος της αξιοπιστίας τους για την κατά το δυνατόν άριστη απόδοσή τους είναι άμεσα εξαρτημένο από πολλές μεταβλητές. Μία από τις σημαντικότερες μεταβλητές είναι ο χρόνος λειτουργίας τους.

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η σχέση χρόνου – εργασίας και αξιοπιστίας των μηχανικών μέσων για την ελαχιστοποίηση των αστοχιών και ικανοποιητική απόδοση.

## RELIABILITY OF PRODUCTION MECHANICAL MEANS

**Ploutarchos Kararizos**

Aristotle University of Thessaloniki  
Faculty of Forestry and Natural Environment  
Department of Mountain and Hydronomic Works  
Laboratory of Mechanical Sciences and Topography

## ABSTRACT

Within the frames of the mechanization and the qualitative and quantitative utilization of the machinery equipment, a constant supervision on the reliability of the mechanical means and their parts, is required. The size of their reliability for their best possible performance is directly depended on many variables. One of the most important variables is their operation time.

In this paper was studied the relation time - work and reliability of mechanical means for the minimization of failures and the satisfactory performance..



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η αξιοπιστία είναι η πιθανότητα, με την οποία ένα μηχανικό στοιχείο ή ένα σύνολο μηχανικών στοιχείων ηλικίας ( $t$ ) θα λειτουργήσει για μια χρονική περίοδο ( $\Delta t$ ) σύμφωνα με τις απαιτήσεις της παραγωγής και κάτω από τις συνθήκες που επικρατούν.

Η συνεχής παρακολούθηση της αξιοπιστίας των μηχανικών μονάδων και των στοιχείων τους είναι απαραίτητη, αφού από το μέγεθός της εξαρτάται η λειτουργικότητα και διαθεσιμότητα του μηχανήματος και επομένως η ικανότητά του να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις παραγωγής.

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της αξιοπιστίας είναι:

1. η συντήρηση των μηχανημάτων
2. η κόπωση μετάλλων και μηχανών
3. τα σφάλματα του υλικού κατασκευής των στοιχείων
4. η κακή χρήση
5. ο χρόνος λειτουργίας
6. η μέθοδος εφαρμογής μηχανημάτων [2].

Μηχανήματα με ελαττωματική συντήρηση ή ηλικίας πέρα από το επιτρεπόμενο οικονομικό όριο παρουσιάζουν αυξημένη συχνότητα **αστοχιών** με αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση, στο κόστος, στο χρονικό προγραμματισμό και γενικά στην παραγωγικότητα του συστήματος.

Η αστοχία ορίζεται ως το τέλος της ικανότητας του στοιχείου να λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις της παραγωγής. Διακρίνεται σε αστοχία στιγμιαία, παροδική ή προοδευτική, μερική, ολική, καταστροφική και αποδυναμωτική [1].

Η ελαχιστοποίηση των αστοχιών έχει σαν αποτέλεσμα την καλή συμπεριφορά των μηχανημάτων. Η συμπεριφορά όμως των μηχανημάτων για την κατά το δυνατόν άριστη απόδόσή τους είναι άμεσα συνδεδεμένη από πολλές μεταβλητές [8].

Αυτή η “στενή” και πολλές φορές αμφίδρομη σχέση μεταξύ ελαχιστοποίησης και συχνότητας των αστοχιών, μείωσης ή αύξησης της αξιοπιστίας και διάρκειας χρόνου λειτουργίας, απόδοσης και κακής συντήρησης μαζί με το κόστος παραγωγής, δημιουργεί δυσχέρεια στην ερευνητική προσέγγιση λόγω των πολλαπλών μεταβλητών και κατά συνέπεια μείωση του βαθμού της ασφάλειας των αποτελεσμάτων. Συχνότητα αστοχίας είναι η πιθανότητα αστοχίας του στοιχείου, όταν εξακολουθεί να λειτουργεί ικανοποιητικά στο θεωρούμενο χρόνο στη μονάδα του χρόνου [1].

Ίσως από τη διαδικασία της επεξεργασίας των στοιχείων προκύψουν και στοιχεία που αφορούν τη σταθερή ή όχι συχνότητα αστοχίας και τη σύνδεση αξιοπιστίας – κόστους, συντηρήσεως [7] και επισκευών. Γενικά η αύξηση της αξιοπιστίας συνδέεται με την αύξηση του κόστους επενδύσεως, όταν για την αύξηση αυτή απαιτούνται περισσότερα στοιχεία ή στοιχεία ανώτερης ποιότητας. Επομένως η επιλογή της βέλτιστης λύσης θα είναι το αποτέλεσμα της επαλληλίας των συναρτήσεων αξιοπιστίας και κόστους επισκευών.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι (α) η έρευνα του βαθμού σύνδεσης της σημαντικότερης ίσως μεταβλητής (χρόνος λειτουργίας των στοιχείων) με την αξιοπιστία και (β) τα αποτελέσματα να βοηθήσουν στην πρόβλεψη των βλαβών και της δυνατότητας αύξησης της διάρκειας του χρόνου διαθεσιμότητας των μηχανικών μέσων μετατόπισης του ξύλου.

## II. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Όλο το υλικό της έρευνας αντλήθηκε από τα βιβλία (μητρώα) των μηχανημάτων των τριών εργοταξίων και των δύο εταιριών που διατηρούσαν οργανωμένες όσο και σύγχρονες εγκαταστάσεις συντήρησης και επισκευών.

Τα τρία εργοτάξια είχαν δραστηριότητες α. εκσκαφής γαιών και β. προώθησης γαιών καθώς και μετατόπισης ξύλου. Η διαφορά του χρόνου έναρξης λειτουργίας (παλαιότητα) των μηχανημάτων που απασχολήθηκαν ήταν μικρή. Η λήψη των στοιχείων έγινε για χρονικό διάστημα τεσσάρων (4) ετών με σκοπό την ελάχιστη προσέγγιση της συχνότητας των αστοχιών.

Οι δύο εταιρίες επισκευάζουν και συντηρούν, εκτός των πωλήσεων, μηχανήματα των οποίων οι δραστηριότητες ήταν και είναι α. φόρτωση κορμοτεμαχίων και β. μετατόπιση ξύλου σε δασικές ορεινές περιοχές [3], [5]. Ορίσθηκαν δύο ομάδες πειραμάτων ανάλογα με τις δραστηριότητες και τα ομοειδή μηχανικά στοιχεία. Η διαφορά του χρόνου έναρξης λειτουργίας των μηχανημάτων ήταν ένα (1) έτος.

Καταγράφηκαν και κωδικοποιήθηκαν σε φορητό Η/Υ όλες οι βλάβες, ο χρόνος, και η διάρκεια λειτουργίας των στοιχείων μετά την αντικατάσταση ή τη συντήρησή τους.

Ο πίνακας 1 είναι ένα υπόδειγμα δελτίου επισκευής μηχανημάτων όπου από τις αντίστοιχες στήλες του αποτυπώθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία της έρευνας. Παρατηρήθηκε μια δυσχέρεια στην κατάταξη των ομοειδών ή όχι στοιχείων, από την σχεδόν καλή αναγραφή των αριθμών “ονομαστικού” στα δελτία επισκευής.

Πίνακας 1. Δελτίο επισκευής μηχανήματος

ΔΕΛΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ		Συnerγείο:		Εργοτάξιο:	
Αριθ. δελτίου .....		Επισκευασθείσα μηχανή		Αριθ. μηχανής	
Αριθ. φύλλων .....					
Α/Α φύλλου .....					
Γενόμενες επισκευές	Χρησιμοποιηθέντα ανταλλακτικά				
	Αριθ. ονομ.	Είδος ανταλ/κού	Χρόνος ζωής (ώρες)	Κόστος (δρχ.)	
Σύνολο κόστους ανταλ/κών .....					
Κόστος αναλωσίμων υλικών .....					
Κόστος εργασίας Συnerγείου .....					
Γενικά έξοδα Συnerγείου .....					
Συνολικό κόστος επισκευής					
Κόστος ανταλ/κών και αναλωσίμων χρησιμοποιηθέντων κατά τις ημερήσιες και τριμηνιαίες συντηρήσεις μεταξύ προηγούμενης και παρούσας επισκευής					
Σ ύ ν ο λ ο					
Έναρξη επισκευής την .....		Ο προϊστ. του Συnerγείου	Ημερ/νία	Υπογραφή	
Τέλος επισκευής την .....		Ο χειριστής της Μηχανής			
Η μηχανή παρελήφθη σε λειτουργία την .....		Ο προϊστ. του Εργοταξίου			
		Εθεωρήθη - κατεχωρήθη			

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την κωδικοποίηση των μηχανημάτων ήταν όπως δίνει το παράδειγμα 02 - A - 01 : όπου 02 - οι προωθητήρες γαιών, A - βάρους μέχρι 20t και 01 - πρώτος κατά χρονολογική σειρά έναρξης λειτουργίας.

Η τήρηση των στατιστικών στοιχείων για τη διακίνηση των ανταλλακτικών από τα γραφεία συντήρησης ήταν άριστη. Από τα δελτία τεχνικής επιθεώρησης [6], σχεδόν εξασφαλίστηκε η καταγραφή της συχνότητας των αστοχιών με αντιπαραβολές των στοιχείων του πίνακα 1.

Το πρόγραμμα που εκπονήθηκε για την επεξεργασία των στοιχείων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, είχε σαν βάση για μεν τους στατιστικούς υπολογισμούς το Stat View για δε τον υπολογισμό και σχεδίαση των καμπυλών των μεταβλητών το Cricket.

Ο υπολογισμός της σύνδεσης αξιοπιστίας και κόστους - συντήρησης [7] έγινε με πρόγραμμα των γερμανικών εταιριών Holder, Unimog και Mercedes [5]. Στον πίνακα 2 φαίνεται το κόστος και ο χρόνος συντήρησης των μηχανημάτων Unimog με βάση το πρόγραμμα του H.Y. των εταιριών. Επειδή εστιάσθηκε περισσότερο η προσοχή για το αποτέλεσμα της σύνδεσης χρόνου λειτουργίας - αξιοπιστίας, οι υπολογισμοί για το κόστος συντήρησης - αξιοπιστίας και σταθερής συχνότητας αστοχιών - αξιοπιστίας, ήταν περιορισμένοι. Η συνάρτηση της αξιοπιστίας  $R(t)$  από το χρόνο  $t$  υπολογίστηκε με τη σχέση:

$$R(t) = \frac{\text{Στοιχεία που εξακολουθούν να λειτουργούν στον χρόνο } t}{\text{Στοιχεία στην αρχή του χρόνου } t=0} = \frac{\alpha(t)}{\alpha(t)+p(t)} \quad (1)$$

όπου  $\alpha(t)$  = αρχικά στοιχεία που βρίσκονται ακόμη σε λειτουργία  
 $p(t)$  = στοιχεία που έχουν αστοχήσει.

Πίνακας 2. Κόστος και χρόνος συντήρησης μηχανημάτων Unimog  
 Εκτύπωση 5<sup>η</sup>ε κάρτας από το πρόγραμμα H/Y Mercedes

α/α	Ονομασία επισκευής ή συντήρησης	Χρόνος επισκευής ή συντήρησης ώρες	Κόστος επισκευής ή συντήρησης δρχ.	Τύπος Μηχανήματος		
				U300	U900	U1400
1	α. αλλαγή λαδιών β. λίπανση			α. √ β. -		
2	α. επισκευή πόμπας λαδιού β. αλλαγή σωληνώσεων υδραυλικών				α. - β. √	
3	α. επισκευή τυμπάνου έλξης β. συντήρηση ηλεκτρ. αυτόματου					α. - β. √
Σύνολα						

Κωδικοποιήθηκε με το γράμμα A ο αριθμός των στοιχείων στην αρχή του χρόνου λειτουργίας.

Έγινε ένας πρώτος δοκιμαστικός υπολογισμός από ένα δείγμα 1000 στοιχείων για την ασφάλεια των αποτελεσμάτων.

### III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εξετάσθηκε από ένα πλήθος ομοειδών στοιχείων, ένα τυχαίο δείγμα 1000 στοιχείων. Στο χρόνο 0 τα στοιχεία που βρίσκονταν σε λειτουργία ήταν 1000. Επομένως  $A_{t=0} = 1000$ . Μετά από 100 ώρες λειτουργίας διαπιστώθηκε ότι 288 στοιχεία αστόχησαν, ενώ τα υπόλοιπα 712 εξακολουθούσαν να λειτουργούν. Καταγράφηκαν από την ανάλυση του δείγματος τα παρακάτω:

$a(t) = 712$  στοιχεία σε λειτουργία στο χρόνο  $t = 100$  ώρες

$p(t) = 288$  στοιχεία που αστόχησαν στο χρόνο  $t = 100$  ώρες

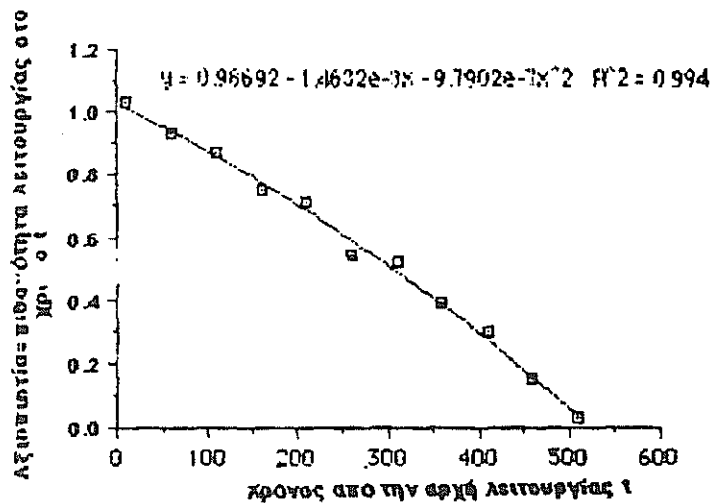
$A_{t=0} = 1000$  αρχικός αριθμός στοιχείων στο χρόνο  $t = 0$

Από τη σχέση (1) υπολογίσθηκε η αξιοπιστία των στοιχείων στο χρόνο  $t = 100$  δηλαδή:

$$R_{t=0} = \frac{a(t=100)}{A(t=0)} = \frac{712}{1000} = 0,712$$

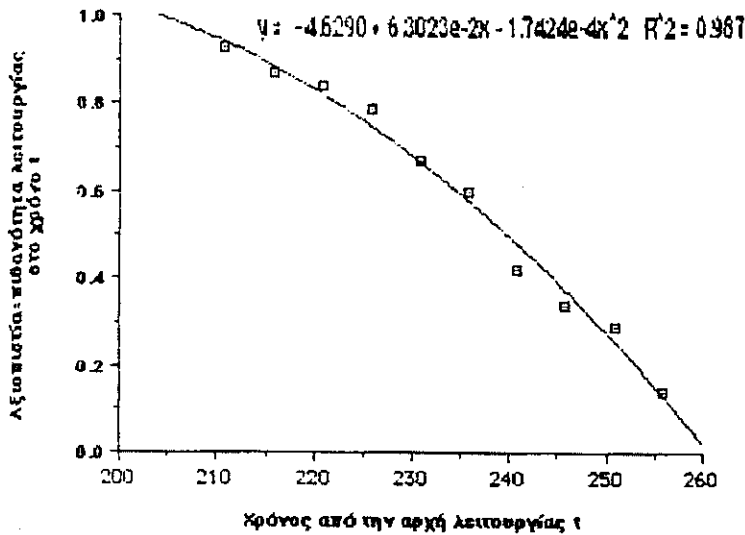
Μετά από ένα ίσο διάστημα 100 ωρών, δηλαδή 200 ώρες από την αρχή, η παρατήρηση έδειχνε, ότι το σύνολο των στοιχείων, που βρίσκονταν εκτός λειτουργίας, αυξήθηκε σε 493. Επομένως η αξιοπιστία στο χρόνο  $t = 200$  ήταν  $R_{t=200} = 507/1000 = 0,507$ .

Με βάση τις τιμές  $R(t)$ , που υπολογίσθηκαν από όλες τις παρατηρήσεις, σχεδιάσθηκαν, με το πρόγραμμα Cricket, οι καμπύλες αξιοπιστίας σε συνάρτηση από το χρόνο. Στο σχήμα 1 φαίνεται από την επεξεργασία των στοιχείων, η φθίνουσα συνάρτηση. Αυτό σημαίνει ότι με την αύξηση του χρόνου λειτουργίας η πιθανότητα να εκτελέσει ένα στοιχείο την αποστολή του γίνεται μικρότερη.

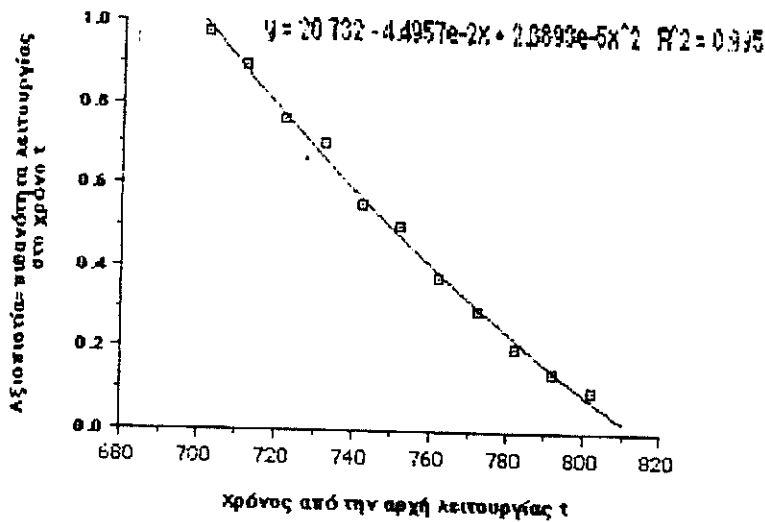


Σχ. 1. Μεταβολή της αξιοπιστίας σε συνάρτηση από το χρόνο λειτουργίας

Στα σχήματα 2, 3, 4 και 5 φαίνεται ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή, αύξηση χρόνου λειτουργίας και προοδευτική μείωση της αξιοπιστίας των στοιχείων.



Σχ. 2. Μεταβολή της  $R_i$  σε συνάρτηση απότο χρόνο t (μηχάνημα Holder)

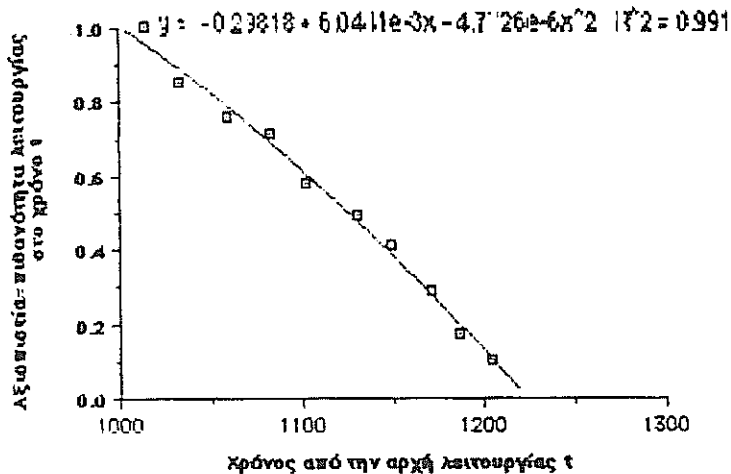


Σχ. 3. Μεταβολή της  $R_i$  σε συνάρτηση απότο χρόνο t (μηχάνημα Unimog)

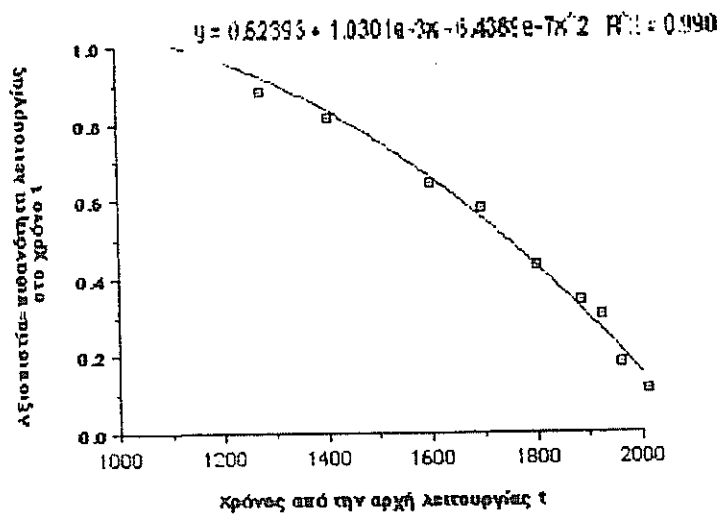
Η καμπύλη των σχημάτων 2 και 3 προέκυψε από την επεξεργασία των στοιχείων από τη λειτουργία ελκυστήρων Holder και Unimog 70 HP και 130 HP (εργασίες μετατόπισης) εταναντίστοιχα και αφορούσε τη συντήρηση με λιπαντικά.

Η καμπύλη των σχημάτων 4 και 5 προέκυψε από την επεξεργασία στοιχείων από τη λειτουργία μηχανημάτων προώθησης γαιών, εκσκαφής, μετατόπισης ξύλου και αφορούσε στη συντήρηση-ρύθμιση [4] των μπεκ αντλιών πετρελαίου (ακροφύσια εγχ.).

Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπολογίσθηκε η παράμετρος παλαιότητας των μηχανημάτων (λειτουργία προοδευτικά αυξανόμενη από 1 - 3 έτη).

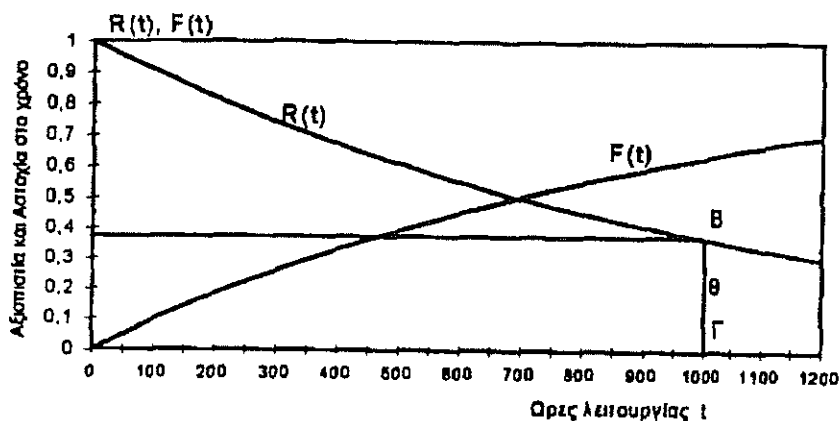


Σχ. 4. Μεταβολή της  $R_i$  σε συνάρτηση απότο χρόνο t (προωθ. γαιών)



Σχ. 5. Μεταβολή της  $R_i$  σε συνάρτηση απότο χρόνο t (μηχ. μετατόπισης ξύλου)

Από την επεξεργασία των στοιχείων στον Η/Υ και σύμφωνα με το πρόγραμμα [5] προέκυψαν οι καμπύλες του σχήματος 6. Το σχήμα 6 δείχνει την καμπύλη της αξιοπιστίας  $R(t)$  και της αστοχίας  $F(t)$  σε συνάρτηση από το χρόνο.



Σχ. 6. Αξιοπιστία  $R(t)$  και αστοχία  $F(t)$  σε συνάρτηση από το χρόνο

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εφραιμίδης, Χ. 1997. Δομικές Μηχανές. Διδακτ. βιβλίο.
2. Καραρίζος, Π. 1998. Εφαρμογές μηχανημάτων στα Υδρονομικά και Δασοτεχνικά Έργα. Διδακτ. σημειώσεις του Τμήμ. Δασολογίας & Φυσ. Περ/ντος.
3. Koller, J. 1999. Κατασκευαστική Εταιρία σχοινογερανών κ.ά.
4. Κυριάκης, Σ. 1988. Διδακτ. σημειώσεις μηχανών εσωτερικής καύσης.
5. Λαϊνόπουλος, Α.Ε. 2000. Δελτία επισκευών μηχανημάτων.
6. Μ.Ο.Μ.Α. 1980. Υπηρεσία Στρατού. Τμήμα κατασκευών, επισκευών και συντήρησης.
7. Στάμου, Ν. 1985. Οικονομική των δασικών εκμεταλλεύσεων (Δασ. Οικονομική Ι). Διδακτ. Βιβλίο.
8. Τσατσαρέλης, Κ. 1997. Γεωργικοί ελκυστήρες. Διδακτ. βιβλίο.

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.  
ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

**Μιλτιάδης Ι. Γαλάνης**

Δ/ντής Τεχνικού Τμήματος  
MONSANTO ΕΛΛΑΣ ΕΠΕ  
Μιχαλακοπούλου 29  
115 28 ΑΘΗΝΑ

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Κάτω από τις σημερινές συνθήκες άσκησης της Γεωργίας πρωταρχικό ρόλο παίζει η εφαρμογή συστημάτων καλλιέργειας που συμβάλλουν στη μείωση της διάβρωσης του εδάφους και γενικότερα στη διατήρηση του περιβάλλοντος. Η εφαρμογή τους δε προϋποθέτει την κατάλληλη διαχείριση των ζιζανίων πριν την σπορά των καλλιεργειών. Η εμπειρία από την εφαρμογή του συστήματος απευθείας σποράς σιτηρών στην Ελλάδα έδειξε ότι η διαχείριση των ζιζανίων πριν την σπορά των σιτηρών με τη χρήση κατάλληλων ζιζανιοκτόνων επιτυγχάνεται σε ικανοποιητικό βαθμό. Είναι δε δυνατόν να οδηγήσει σε ικανοποιητική μείωση του πληθυσμού του ζιζανίου *Lolium spp.* (ήρα).

**WEED MANAGEMENT IN REDUCED TILLAGE  
SYSTEMS. EXPERIENCE FROM THEIR  
IMPLEMENTATION IN GREECE**

**Miltiadis J. Galanis**

Product Development manager  
MONSANTO HELLAS EPE  
29 Michalakopoulou Str  
115 28 ATHENS

**ABSTRACT**

Under today's conditions in Agriculture the implementation of cultivation practices that contribute in reduced soil erosion and preserving the environment is very important. Proper weed management is required for their implementation before crop establishment.

Experience of direct drilling in cereals under Greek conditions has demonstrated satisfactory weed management using proper herbicides before crop establishment. *Lolium spp* population is possible to be reduced at satisfactory level by this technique.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την αρχή της εφαρμογής της Γεωργίας μέχρι σχεδόν το 1950 η όποια αύξηση του συνόλου της γεωργικής παραγωγής προερχόταν κυρίως από την αύξηση της καλλιεργούμενης γης. Από το 1950 και εντεύθεν η αύξηση της γεωργικής παραγωγής ανά καλλιεργούμενη επιφάνεια γης αυξήθηκε κυρίως λόγω των αυξημένων εισροών σε ενέργεια. Μεταξύ δε των ετών 1950 και 1985 η συνολικά χρησιμοποιούμενη ενέργεια στη Γεωργία παγκόσμια αυξήθηκε κατά 6.9 φορές.

Συγχρόνως δε λόγω της ενταντικοποίησης της γεωργικής παραγωγής, της αλλαγής των κλιματολογικών συνθηκών, της αύξησης του πληθυσμού και της επέκτασης των πόλεων εις βάρος της γεωργικής γης παρατηρούνται έντονα φαινόμενα υποβάθμισης της γεωργικής γης λόγω κυρίως διάβρωσης και εξάντλησης θρεπτικών στοιχείων. Τούτο έχει σαν φυσική συνέπεια τη μείωση της παραγωγικότητας των εδαφών.

Παράλληλα ο βαθμός έντασης της διάβρωσης προοδευτικά αυξάνεται από την αυξανόμενη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την μείωση της διαθέσιμης υγρασίας, παράγοντες οι οποίοι υποβοηθούν στη μείωση της οργανικής ουσίας στο έδαφος. Εντατική καλλιέργεια του εδάφους επίσης επιταχύνει τη μείωση της οργανικής ουσίας λόγω της επιταχυνόμενης διαδικασίας οξείδωσης της. Γεγονότα που οδηγούν σε μειωμένη παραγωγικότητα.

Συνεπώς κάτω από τις σημερινές συνθήκες άσκησης της Γεωργίας πρωταρχικό πλέον ρόλο παίζει η εφαρμογή συστημάτων παραγωγής τα οποία συμβάλλουν στη μείωση της διάβρωσης του εδάφους, στην καλύτερη αξιοποίηση των υδάτινων πόρων, στην εξοικονόμηση ενέργειας, στη μείωση του κόστους καλλιέργειας και γενικότερα στη διατήρηση του περιβάλλοντος. Σημαντικό ρόλο προς την κατεύθυνση αυτή μπορούν να παίξουν τα διάφορα "καλλιεργητικά συστήματα διατήρησης" (Conservation Tillage Systems), όπως τα διάφορα συστήματα μειωμένης κατεργασίας του εδάφους και η μέθοδος της ακαλλιέργειας ή απευθείας σποράς. Τα καλλιεργητικά συστήματα διατήρησης επ' ουδενί δεν θα πρέπει να θεωρηθούν ως πανάκεια, πλην όμως είναι από τους καλύτερους δυνατούς τρόπους για να επιτευχθεί ο στόχος της αποφυγής της διάβρωσης και της εξοικονόμησης εδαφικής υγρασίας.

## 2. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ

### 2.1 Ορισμοί.

Με τον όρο "καλλιεργητικά συστήματα διατήρησης" υποδηλώνονται εκείνες οι τεχνικές κατεργασίας του εδάφους και σποράς που χρησιμοποιούν λιγότερα μηχανήματα και καύσιμα, σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οργώματα. Ταυτόχρονα δε συμβάλλουν στην μείωση της διάβρωσης του εδάφους και στην καλύτερη αξιοποίηση του νερού της βροχής. Κατά την εφαρμογή τους δε αφήνεται τουλάχιστον το 30% των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας στην επιφάνεια του εδάφους καθ' όλο το μεσοδιάστημα μεταξύ των δύο καλλιεργειών (της συγκομισθείσης και αυτής η οποία ακολουθεί).

### 2.2 Τύποι καλλιεργητικών συστημάτων διατήρησης

Δηλαδή ο όρος καλλιεργητικά συστήματα διατήρησης είναι ένας όρος "ομπρέλλα" που καλύπτει μία ποικιλία τεχνικών κατεργασίας του εδάφους οι οποίες εφαρμοζόμενες διασφαλίζουν οφέλη σε ότι αφορά τη διατήρηση της δομής και της υγρασίας του εδάφους, αποφυγή της διάβρωσης των εδαφών και μία σειρά άλλων πλεονεκτημάτων. Διαφορετικές δε μέθοδοι χρησιμοποιούνται στη περίπτωση των γραμμικών

καλλιεργειών όπως καλαμπόκι, σόγια βαμβάκι κλπ και διαφορετικές στη περίπτωση των μικρών σιτηρών (σιτάρι, κριθάρι, ρύζι κλπ.). Μεταξύ των πλέον κοινά εφαρμοζομένων καλλιεργητικών συστημάτων διατήρησης τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα είναι:

Στη μεν περίπτωση των γραμμικών καλλιεργειών: η καλλιέργεια σε “στενές λουρίδες - narrow strip”, “σπορά σε αναχώματα - ridge planting”, “σπορά σε πλήρες πλάτος χωρίς καλλιέργεια - “full width no plow tillage”, “σπορά σε πλήρες πλάτος με καλλιέργεια - full plant plow tillage”, “κατευθείαν σπορά - direct drilling” καθώς και πολλές παραλλαγές τους.

Στη περίπτωση των μικρών σιτηρών: “καλλιέργεια με κάλυψη από υπολείμματα καλαμιάς - stubble mulch farming”, “καλλιέργεια υπό την επιφάνεια του εδάφους - subsurface tillage”, “σύστημα αγρανάπαυσης - fallow system”.

Τα ανωτέρω συστήματα διατήρησης παρ’ όλο του ότι έχουν αναπτυχθεί για περιπτώσεις πλήρους μηχανοποιημένης γεωργικής παραγωγής είναι εφαρμόσιμες ανεξάρτητα από τον τύπο των χρησιμοποιούμενων μηχανημάτων είτε αυτά έλκονται από τρακτέρ είτε ακόμη και από ζώα.

### 2.3 Μέθοδος της πλήρους ακαλλιέργειας ή κατευθείαν σποράς

Γεγονός είναι ότι η πλέον εξελιγμένη μορφή των καλλιεργητικών συστημάτων διατήρησης θεωρείται η μέθοδος της πλήρους ακαλλιέργειας ή μέθοδος της κατευθείαν σποράς (direct drill). Φυσικά η μέθοδος αυτή όπως και οποιαδήποτε άλλη μέθοδος καλλιέργειας δεν μπορεί να θεωρηθεί πανάκεια ή εφαρμόσιμη κάτω από όλες τις συνθήκες άσκησης της Γεωργίας. Οπωσδήποτε στις συνθήκες για τις οποίες το σύστημα αυτό είναι εφαρμόσιμο έχει αποδειχθεί ότι έχει την δυνατότητα να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως:

Ελαχιστοποίηση της διάβρωσης του εδάφους είτε λόγω του ανέμου είτε λόγω της βροχής, καλύτερη διατήρηση και αποδοτικότερη χρησιμοποίηση από τα φυτά της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας, μικρότερη απορροή του νερού της βροχής, ελαχιστοποίηση των απωλειών της εδαφικής υγρασίας λόγω της εξάτμισης, βελτίωση της δομής του εδάφους και αύξηση της περιεχόμενης οργανικής ουσίας, βελτίωση του αριθμού και της δραστηριότητας των μικροοργανισμών του εδάφους, εξοικονόμηση ενέργειας, αποδοτικότερη αξιοποίηση του διαθέσιμου χρόνου του γεωργού κατά την διάρκεια εκτέλεσης κρίσιμων καλλιεργητικών εργασιών και τέλος μπορεί να οδηγήσει σε ευνοϊκότερα οικονομικά αποτελέσματα ιδιαίτερα κάτω από τις σημερινές συνθήκες αύξησης όλων των συντελεστών της γεωργικής παραγωγής και της μείωσης των τιμών των γεωργικών προϊόντων.

Ασφαλώς η εφαρμογή τους προϋποθέτει την αντιμετώπιση πολλών νέων παραμέτρων όπως είναι η διαχείριση των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας. Ο χρόνος και ο τρόπος εφαρμογής της λίπανσης. Ο τύπος των μηχανημάτων σποράς. Η αντιμετώπιση των ζιζανίων πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας καθώς και μετά την εγκατάσταση της κλπ.

## 3. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΤΩΝ ΖΙΑΝΙΩΝ

Η αποτελεσματική εφαρμογή των καλλιεργητικών συστημάτων διατήρησης προϋποθέτει και την ορθολογική διαχείριση των ζιζανίων κυρίως πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Στόχος είναι να επιτευχθεί αφ’ ενός μεν η μικρότερη δυνατή απώλεια εδαφικής υγρασίας αφ’ ετέρου δε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή αντιμετώπιση των

ζιζανίων κατά τρόπο αποτελεσματικό και χωρίς τυχόν παρενέργειες για την καλλιέργεια η οποία θα ακολουθήσει. Απαιτείται δηλαδή η εφαρμογή μιας στρατηγικής προσέγγισης του θέματος της αντιμετώπισης των ζιζανίων.

### **3.1 Ολοκληρωμένη προσέγγιση**

Η ολοκληρωμένη προσέγγιση της αντιμετώπισης των ζιζανίων λαμβάνει υπ' όψη της και εφαρμόζει τέτοιου είδους τεχνικές αντιμετώπισης τους ούτως ώστε ενώ δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας παρεμποδίζεται η ανάπτυξη και η επέκταση των ζιζανίων. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση περιλαμβάνει σειρά μέτρων αντιμετώπισης των ζιζανίων όπως: η πρόληψη, η εξυγίανση καθώς επίσης και βιολογικές, φυσικές καθώς και χημικές μεθόδους.

Φυσικά δεν αναμένεται κάποια από τις ανωτέρω μεθόδους από μόνη της εφαρμοζόμενη να επιτύχει ικανοποιητικότατο επίπεδο αντιμετώπισης των ζιζανίων. Πλην όμως εάν εφαρμοσθούν κατά τρόπο συστηματικό και σε συνδυασμό μπορούν να επιτευχθούν σημαντικά αποτελέσματα στην ορθολογική αντιμετώπιση των ζιζανίων.

Υπάρχουν δε τέσσερα βασικά στοιχεία σε ό,τι αφορά την εφαρμογή μιας στρατηγικής ολοκληρωμένης προσέγγισης του θέματος της αντιμετώπισης των ζιζανίων τα οποία είναι:

Ο προσδιορισμός των ζιζανίων, η γνώση της βιολογίας τους, η γνώση της αλληλεπίδρασης του εφαρμοζόμενου καλλιεργητικού συστήματος και των ζιζανίων και τέλος η εφαρμογή και συγχρόνως η παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των προσφορότερων κατά περίπτωση μεθόδων αντιμετώπισης των ζιζανίων.

#### **3.1.1 Ο προσδιορισμός του είδους των ζιζανίων**

Η καταγραφή του είδους και του πληθυσμού των ζιζανίων σε ένα αγρό που πρόκειται να εφαρμοσθεί κάποιο από τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας είναι από τα βασικά στοιχεία του προγράμματος ζιζανιοκτονίας που θα εφαρμοσθεί. Το ιστορικό της προηγούμενης καλλιέργειας και των μεθόδων ζιζανιοκτονίας που έχουν εφαρμοσθεί σε συνδυασμό με τον ακριβή προσδιορισμό των ζιζανιοπληθυσμών στις διάφορες εποχές του έτους είναι από τα βασικά στοιχεία τα οποία θα καθορίσουν την εφαρμογή της προσφορότερης μεθόδου αντιμετώπισης των ζιζανίων.

#### **3.1.2 Η γνώση της βιολογίας των ζιζανίων**

Η γνώση της βιολογίας των ζιζανίων είναι από τα πλέον κριτικά στοιχεία για να καθορισθεί ο καταλληλότερος χρόνος εφαρμογής του προγράμματος ζιζανιοκτονίας σε συνδυασμό με το πλέον ευαίσθητο στάδιο ανάπτυξης τους.

#### **3.1.3 Ο χρόνος φυτρώματος των ζιζανίων**

Η γνώση του χρόνου φυτρώματος των ζιζανίων είναι σημαντική για τον καθορισμό του χρόνου εφαρμογής της όποιου μεθόδου ζιζανιοκτονίας. Για παράδειγμα τα ζιζάνια τα οποία φυτρώνουν πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας έχουν συνήθως μεγαλύτερη επίδραση στην απόδοση από ό,τι τα ζιζάνια που φυτρώνουν μετά την εγκατάσταση της. Το φυτόωμα των ζιζανίων επίσης επηρεάζεται από πλήθος όσων παραγόντων όπως η υφή του εδάφους, η εδαφική υγρασία, το βάθος στο οποίο βρίσκονται, ο λήθαργός τους και τα εφαρμοζόμενα συστήματα κατεργασίας του εδάφους.

#### **3.1.4 Ο χρόνος ανθοφορίας**

Η γνώση του χρόνου ανθοφορίας των ζιζανίων και η εποχή σχηματισμού των σπόρων τους επιτρέπει την εφαρμογή των μέτρων ζιζανιοκτονίας πριν την εποχή σχηματισμού αυτών.

### 3.1.5 Ο χρόνος διάρκειας του ληθάργου των σπόρων

Οι σπόροι αρκετών ζιζανίων μπορεί να παραμείνουν στο έδαφος σε λήθαργο για αρκετά χρόνια. Γνωρίζοντας το είδος των ζιζανίων τα οποία κυρίως απαντούν σε ένα αγρό και το χρόνο ληθάργου των σπόρων τους σχεδιάζεται καλύτερα το καταλληλότερο σύστημα συνδυασμού αμειψισποράς και αντιμετώπισης των ζιζανίων.

### 3.1.6 Η αλληλεπίδραση καλλιεργητικού συστήματος και καλλιέργειας

Ο ζιζανιοπληθυσμός σε ένα αγρό ποτέ δεν παραμένει ο ίδιος. Με την πρόοδο του χρόνου μεταβάλλεται λόγω της φυσικής επιλογής η οποία επέρχεται συνεπεία των περιβαλλοντικών συνθηκών, των καλλιεργειών και των καλλιεργητικών τεχνικών που εφαρμόζονται. Για παράδειγμα κάποια ετήσια ζιζάνια όπως η αγριόβρωμη που έχει προσαρμοσθεί με πολλές φθινοπωρινές ή ανοιξιότικες καλλιέργειες και η αντιμετώπισή της αντιπροσωπεύει ένα πολύ σημαντικό κόστος της καλλιέργειας σιτηρών.

Η αλληλεπίδραση των καλλιεργητικού συστήματος και ζιζανίων έχει ιδιαίτερη σημασία για τα καλλιεργητικά συστήματα διατήρησης η εφαρμογή των οποίων θα πρέπει να στοχεύει στη διατήρηση ικανοποιητικού επιπέδου καταπολέμησης των ζιζανίων χωρίς την ανάγκη στην προσφυγή αυξημένης χρήσης ζιζανιοκτόνων.

## **3.2 Εφαρμογή της προληπτικών μεθόδων αντιμετώπισης των ζιζανίων**

Η εφαρμογή αποτελεσματικών προγραμμάτων ζιζανιοκτονίας συνήθως ενσωματώνει μία σειρά μέτρων και μεθόδων όπως η πρόληψη, η εξυγίανση, η εφαρμογή καλλιεργητικών μέτρων καθώς επίσης και βιολογικών, φυσικών και χημικών μέσων.

### 3.2.1 Η πρόληψη

Ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα ζιζανιοκτονίας ξεκινάει με την αποφυγή εισόδου νέων ζιζανίων και νέων σπόρων το οποίο επιτυγχάνεται με απλές μεθόδους όπως:

α. Χρησιμοποίηση καλής ποιότητας σπόρων με υψηλή βλαστικότητα ούτως ώστε να επιτυγχάνεται άμεσο φύτρωμα της καλλιέργειας και ζωηρή ανάπτυξη της ώστε να ανταγωνίζεται αποτελεσματικά τα ζιζάνια.

β. Χρησιμοποίηση καθαρών σπόρων απαλλαγμένων από σπόρους ζιζανίων.

γ. Η αποφυγή μεταφορών με τα γεωργικά μηχανήματα σπόρων ή και φυτών ζιζανίων από τον ένα αγρό στον άλλο.

### 3.2.2 Η εξυγίανση

Με τον όρο εξυγίανση εννοείται η αποφυγή εξάπλωσης ζιζανίων, ιδιαίτερα κάποιων πολυετών που πολλαπλασιάζονται με ριζώματα ή των ζιζανίων τα οποία ευρίσκονται στις παρυφές των αγρών, στα στραγγιστικά κανάλια ή ακόμη και τους δρόμους που γειτνιάζουν με τον αγρό.

## **3.3 Η εφαρμογή καλλιεργητικών μέτρων**

Είναι αποδεδειγμένο ότι ο εντονότερος ανταγωνισμός των ζιζανίων παρατηρείται κατά την περίοδο των πρώτων τεσσάρων-πέντε εβδομάδων από το φύτρωμα της καλλιέργειας. Για το λόγο αυτό πρέπει να εφαρμόζονται κατά περίπτωση εκείνα τα καλλιεργητικά μέτρα τα οποία συμβάλλουν στην όσο το δυνατόν ταχύτερη εγκατάσταση της καλλιέργειας πριν από τα ζιζάνια όπως:

### 3.3.1 Η επιλογή της κατάλληλης καλλιέργειας

Η επιλογή της καλλιέργειας γίνεται με βάση την ανταγωνιστικότητα της προς τα ζιζάνια τα οποία υπάρχουν σε ένα αγρό. Επίσης η επιλογή γίνεται με βάση την δυνατότητα που δίνει η κάθε καλλιέργεια για την χρησιμοποίηση συγκεκριμένων ζιζανιοκτόνων που είναι αποτελεσματικά για τους επικρατούντες ζιζανιοπληθυσμούς.

### 3.3.2 Η εφαρμογή αμειψισποράς

Η επιλογή της πλέον κατάλληλης αμειψισποράς για ένα συγκεκριμένο αγρό (σε μία περιοχή με δεδομένη την οικονομικότητα των διαφόρων καλλιεργειών, των περιβαλλοντικών συνθηκών, των φυτοπαθολογικών προβλημάτων κλπ) είναι ίσως η πλέον δύσκολη διαδικασία στην εφαρμογή των καλλιεργητικών συστημάτων διατήρησης. Η αμειψισπορά μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ελαχιστοποίηση του προβλήματος των ζιζανίων γιατί δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής πολλών πρακτικών και μέσων αντιμετώπισης των ζιζανίων ανάλογα με την καλλιέργεια.

### 3.3.3 Οι εφαρμοζόμενες πρακτικές σποράς

Η ημερομηνία σποράς, η ποσότητα σπόρου ανά στρέμμα, οι αποστάσεις σποράς και το βάθος σποράς σε συνάρτηση πάντοτε βεβαίως με την προς σπορά καλλιέργεια, τις εδαφοκλιματικές συνθήκες, το μέγεθος των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας και σε συνάρτηση με το εφαρμοζόμενο καλλιεργητικό σύστημα διατήρησης μπορούν να συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των ζιζανίων.

### 3.4 Η εφαρμογή χημικών μέσων (ζιζανιοκτόνων)

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των ζιζανίων συμπεριλαμβάνει και την χρήση ζιζανιοκτόνων. Τις τελευταίες δεκαετίες οι γεωργοί όλο και περισσότερο στηρίζονται στην χρήση ζιζανιοκτόνων σαν την κύρια μέθοδο αντιμετώπισης των ζιζανίων. Συμβαίνει δε πάρα πολλές φορές το επίπεδο προσβολής των ζιζανίων να μη δικαιολογεί τη χρήση ζιζανιοκτόνων και το επιτυγχανόμενο πρόσθετο οικονομικό όφελος να μη καλύπτει το επιπλέον κόστος της ζιζανιοκτονίας. Η επιλογή δε και η χρήση τους θα πρέπει να στηρίζεται σε μία σειρά κριτηρίων τα οποία είναι τα ακόλουθα:

3.4.1 Η ελαχιστοποίηση της επίδρασης τους στο περιβάλλον με την επιλογή του προσφορότερου κατά περίπτωση ζιζανιοκτόνου λαμβάνοντας υπ' όψη τα χαρακτηριστικά τους ούτως ώστε η χρήση τους να οδηγήσει σε:

α. Αποφυγή της ρύπανσης των υδάτων, επιφανειακών και υπογείων.

β. Στην ελαχιστοποίηση των πιθανών υπολειμμάτων τους στο έδαφος. Κατά προτίμηση προκρίνεται η χρήση ζιζανιοκτόνων τα οποία διασπώνται γρήγορα και δεν συσσωρεύονται στο έδαφος υπολείμματα τους.

γ. Την μικρότερη δυνατή αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς του εδάφους και στα ωφέλιμα έντομα τα οποία διαβιούν σε πολλά από τα υπάρχοντα ζιζάνια.

3.4.2 Η εξασφάλιση του μέγιστου της αποτελεσματικότητας τους με την γνώση των παραγόντων εκείνων οι οποίοι μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην αποτελεσματικότητα τους όπως είναι ο χρόνος εφαρμογής, το στάδιο ανάπτυξης των ζιζανίων, οι εδαφικοί παράγοντες, η ποιότητα του νερού, ο όγκος του ψεκαστικού διαλύματος, το είδος του ψεκαστικού μηχανήματος κλπ.

### 3.5 Η σπορά υπό φυτοκάλυψη

Η μέθοδος αυτή συνήθως εφαρμόζεται για την σπορά πρώιμων εαρινών καλλιεργειών (πχ τεύτλα). Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής συνίσταται στη σπορά το φθινόπωρο ενός σιτηρού το οποίο αναπτύσσεται κατά την διάρκεια του χειμώνα. Ενωρίς την άνοιξη γίνεται η σπορά των τεύτλων με την μέθοδο της κατευθείαν σποράς μέσα στην καλλιέργεια. Τις αμέσως επόμενες ημέρες και πριν το φύτρωμα των τεύτλων γίνεται εφαρμογή ενός μεταφυτρωτικού (συνήθως διασυστηματικού) ζιζανιοκτόνου, το οποίο καταστρέφει την καλλιέργεια του σιτηρού και τα φυτρωμένα ήδη ζιζάνια. Κατ' αυτό το

τρόπο η καλλιέργεια των τεύτλων φυτρώνει χωρίς ανταγωνισμό από ζιζάνια και προστατευόμενη στα πρώτα στάδια της από τα υπολείμματα του σιτηρού.

#### **4. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΙΑΣ ΣΤΗ ΠΡΑΞΗ**

Οι ανωτέρω περιγραφείσες μέθοδοι αντιμετώπισης των ζιζανίων ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες της κάθε περιοχής, του εφαρμοζομένου καλλιεργητικού συστήματος διατήρησης και της καλλιέργειας είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν στο σύνολο τους ή εν μέρει. Στη πράξη οι συχνότερα απαντόμενες περιπτώσεις αντιμετώπισης των ζιζανίων είναι οι ακόλουθες:

##### **4.1 Αντιμετώπιση των ζιζανίων το φθινόπωρο**

Η περίοδος του φθινοπώρου προσφέρεται για την καταπολέμηση τόσο των πολυετών ζιζανίων, τα οποία την εποχή αυτή αποθησαυρίζουν θρεπτικά στοιχεία στα υπόγεια μέρη τους, όσο και για τα ετήσια χειμερινά τα οποία είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικά για τις χειμερινές και ανοιξιότικες καλλιέργειες.

##### **4.2 Αντιμετώπιση των ζιζανίων αμέσως πριν τη σπορά**

Είναι η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος αντιμετώπισης των ζιζανίων στη μέθοδο της κατευθείαν σποράς. Η μέθοδος αυτή απαιτεί την χρήση μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων επτά-δέκα ημέρες πριν την σπορά της καλλιέργειας για να εξασφαλισθεί και η εδαφική υγρασία και το φύτρωμα της χωρίς τον ανταγωνισμό των ζιζανίων.

##### **4.3 Αντιμετώπιση των ζιζανίων κατά την διάρκεια της καλλιέργειας**

Η αντιμετώπιση των ζιζανίων μετά το φύτρωμα της καλλιέργειας, ανεξάρτητα του καλλιεργητικού συστήματος διατήρησης και σποράς που εφαρμόζεται, γίνεται με τις ίδιες ακριβώς μεθόδους όπως και στις περιπτώσεις του κλασσικού τρόπου σποράς μετά από όργωμα.

#### **5. Η ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Καλλιεργητικά συστήματα διατήρησης δεν έχουν εφαρμοσθεί ακόμη σε μεγάλη έκταση στην Ελλάδα, εκτός από την εφαρμοζόμενη στη Θεσσαλία τεχνική σποράς σιτηρών μετά από καλλιέργεια βαμβακιού. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή η σπορά των σιτηρών γίνεται χωρίς όργωμα με την διασπορά του σπόρου στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς την απομάκρυνση των στελεχών του βαμβακιού και στην εν συνεχεία κάλυψη του σπόρου με σβάρνισμα.

Πολυετή πειράματα σποράς με μειωμένη κατεργασία του εδάφους ή και απευθείας σποράς έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα και έχουν καταδείξει ότι και αποτελεσματική αντιμετώπιση των ζιζανίων επιτυγχάνεται και η συνολική κατανάλωση ενέργειας μειώνεται.

Η πρώτη σε μεγάλη έκταση εφαρμογή του συστήματος της απευθείας σποράς σιτηρών έγινε σε ένα ευρύτατο πρόγραμμα αποδεικτικών εφαρμογών που εγκατέστησε η εταιρεία Monsanto σε συνεργασία με τις εταιρείες Χελλαφάρμ ΑΕ και Κ.Ν. Ευθυμιάδη σε περιοχές της Βορείου Ελλάδας από το 1995. Το σύστημα της απευθείας σποράς εφαρμόζεται επί τέσσερα συνεχή χρόνια στους ίδιους αγρούς έκαστος εκτάσεως 20-80 στρεμμάτων. Η αντιμετώπιση των ζιζανίων γίνεται με την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου Roundup® πριν την σπορά των σιτηρών.

Η εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου Roundup® πριν την σπορά σε περιπτώσεις περιοχών όπου το ζιζάνιο ήρα (*Lolium spp*) επικρατεί και συνήθως φυτρώνει πριν την σπορά των σιτηρών με τις πρώτες βροχοπτώσεις οδήγησε στην σημαντική μείωση του πληθυσμού του εν λόγω ζιζανίου. Η μέθοδος αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως ένας αρκετά αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης του ζιζανίου αυτού.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή των συστημάτων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους δίνει τη δυνατότητα ολοκληρωμένης προσέγγισης στην αντιμετώπιση των ζιζανίων με τη χρησιμοποίηση πολλών μεθόδων αντιμετώπισης τους κατά τρόπο αποτελεσματικό και συμβατό προς τις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές, καλλιεργητικές και λοιπές συνθήκες της περιοχής όπου ζητείται να εγκατασταθεί μία καλλιέργεια.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανώνυμος. 1993. Καλλιεργητικά Συστήματα Διατήρησης. Περιοδικό Γεωργία-Κτηνοτροφία. Τεύχος 6.
2. Γαλάνης Μ. 1998. Απευθείας σπορά. Εφαρμογή του συστήματος για τη σπορά σιτηρών στην Ελλάδα. Περιοδικό Γεωργία-Κτηνοτροφία
3. Γαλάνης Μ. 1996. Συμβολή των καλλιεργητικών συστημάτων διατήρησης στην αειφορική Γεωργία. Το ΒΗΜΑ του Γεωπονικού Συλλόγου Λάρισας. Αρ Φ 19.
4. Γέμτος Α.Θ. 1991. Παραδοσιακή κατεργασία “ή ακαλλιέργεια”. Περιοδικό Γεωργική Τεχνολογία.
5. Ευθυμιάδης Π. 1990. Σπορά με μειωμένη κατεργασία του εδάφους. Περιοδικό Γεωργία-Κτηνοτροφία.
6. FAO, 1978. Soil erosion by wind and measures for its control in agriculture lands. FAO Agric. Devel. Paper No 71, FAO, Rome.
7. Mannering, J.V., and Fenster C.R. 1983. What is conservation tillage? *J. Soil Water Conservation*. 38:141-143.
8. Meyers, P.C. 1983. Why Conservation Tillage ? *Joint Water Conservation Conference* 38: 136.
9. Πεντζερετζής Π. 22.7.1998. Μέθοδος απευθείας σποράς σιτηρών. Αγροτική Δύναμη.
10. Phillips S.H., Young H.M.Jr, 1973. No-tillage Farming. Reiman Associates, Milwaukee Wisconsin USA
11. Proceedings of the EC-Workshops I, II. 1994, 1995. Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck. Langgong, Germany.
12. SCSA. Soil Conservation Society of America. 1982. Resource Conservation Glossary. Ankeny, Iowa: Soil Conser. Soc. Am.
13. Singh, R.P., Parr J.F., Stewart B.A., 1990. *Advances in Soil Science-Volume 13*. Springer-Verlag. New York.
14. Soil and Water Conservation Society. 1995. Farming for a Better Environment - A White Paper. Soil and Water Conservation Society, Ankeny Iowa USA.
15. Τσατσαρέλης Α. Κ. 2000. Αρχές μηχανικής κατεργασίας του εδάφους και σποράς. Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη.
16. Vincent D., Hudson J., Hollis P., Robinson E., Cook K. 1993. Reduced Tillage Digest. Argus Agronomics (Division of Argus Inc), Clarksdale Miss. USA.

# **ΑΠΟΨΕΙΣ ΒΡΕΤΑΝΩΝ ΓΕΩΡΓΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ PRECISION FARMING ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

**Σπυρίδων Φουντάς**  
Συνεργάτης, MONSANTO ΕΛΛΑΣ ΕΠΕ  
Μιχαλακοπούλου 29, 115 28 Αθήνα

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

“Precision Farming” ή “Ορθολογική γεωργία” είναι ο όρος που περιγράφει όλες εκείνες τις ενέργειες που συντελούν στην καλύτερη διαχείριση των εισροών στη γεωργία, με απώτερο σκοπό την αύξηση της απόδοσης και την προστασία του περιβάλλοντος. Στόχος της έρευνας, που πραγματοποιήθηκε στη Μεγάλη Βρετανία το 1998, ήταν η αναγνώριση των θέσεων και αντιλήψεων των Βρετανών αγροτών για το ρόλο του Precision Farming στη γεωργία. Το υψηλό κόστος επένδυσης και μη πλήρως αποδεδειγμένα μέχρι σήμερα, οικονομικά κυρίως πλεονεκτήματα είναι οι κυριότεροι λόγοι που κάνουν τους γεωργούς διστακτικούς στο να υιοθετήσουν αυτή την τεχνολογία. Ωστόσο σε γενικές γραμμές η τεχνολογία αυτή έχει ικανοποιήσει τις προσδοκίες των γεωργών που την έχουν χρησιμοποιήσει. Επίσης η έλλειψη ολοκληρωμένης ερμηνείας των δεδομένων των χαρτογραφήσεων και αντίστοιχης αγρονομικής υποστήριξης είναι τα κύρια προβλήματα αυτών που είναι ήδη χρήστες.

## **THE VIEWS AND PERCEPTIONS OF UK FARMERS ABOUT THE ROLE OF CROP MANAGEMENT WITHIN PRECISION FARMING**

**Spyridon Fountas**  
Fellow-worker, MONSANTO HELLAS EPE  
29, Michalakopoulou str, 115 28 ATHENS

## **ABSTRACT**

Precision farming is the term used to describe the goal of increased efficiency in the management of agriculture and protection of the environment. The aim of the project, which was conducted in 1998 in the UK, consists in understanding the views and perceptions of UK farmers about the role of crop management within precision farming. In general terms precision farming has met the expectations of the users. Expensive investment and not yet fully proved benefits are the main reasons hesitating the farmers in adopting precision farming, while map interpretation and inadequate agronomic support are the main problems for the already users of precision farming.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στη Μεγάλη Βρετανία το 1998 στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής του συγγραφέα για την απόκτηση Master of Sciences in Information Technology (Marketing Information Systems) στο Cranfield University με πρωτοβουλία και υποστήριξη της Novartis Crop Protection UK. Κύριος σκοπός της έρευνας ήταν η διερεύνηση των θέσεων και αντιλήψεων των Βρετανών αγροτών για το ρόλο του “Precision Farming” στη γεωργία ως ένα μέσο ελέγχου και κατάλληλων χειρισμών της παραγωγής. Για το σκοπό αυτό 25 προσωπικές συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν με παραγωγούς χρήστες ή μη αυτής της τεχνολογίας. Επίσης 500 ερωτηματολόγια στάλθηκαν σε τυχαίο δείγμα γεωργών από όλη τη Μεγάλη Βρετανία. Ένας αριθμός συνεντεύξεων με κατασκευαστές γεωργικών μηχανημάτων και με ειδικούς επιστήμονες γεωργικής μηχανικής που ασχολούνται με την τεχνολογία του Precision Farming, έδωσε μια πιο ολοκληρωμένη άποψη.

## 2. ENNOIA “PRECISION FARMING

Με βάση τις υπάρχουσες καλλιεργητικές μεθόδους, οι καλλιέργειες διαχειρίζονται με ομοιόμορφο τρόπο σ’ όλη την έκταση του αγρού, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι διαφοροποιήσεις στη γονιμότητα του εδάφους, στην εξάπλωση των ζιζανίων και στην ύπαρξη ασθενειών. Αυτό οδηγεί είτε σε μεγαλύτερη είτε σε μικρότερη δοσολογία λιπασμάτων, σπόρων, νερού και φυτοφαρμάκων με άμεση συνέπεια τη μη επίτευξη της βέλτιστης εσοδείας στα διάφορα τμήματα της καλλιεργούμενης έκτασης. Υπερβολική χρήση εισροών πάντα συνεπάγεται σπατάλη με συχνή ρύπανση του περιβάλλοντος, ενώ μικρότερη χρήση των απαιτούμενων εισροών οδηγεί σε μειωμένη παραγωγή. Το “Precision Farming” προσδοκά στο να δώσει λύση σ’ αυτό το πρόβλημα με στόχο τη βελτιστοποίηση της χρήσης των εισροών ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες του κάθε τμήματος του αγρού.

Η έννοια του είναι απλή: καταγραφή των επί μέρους διαφοροποιήσεων που επηρεάζουν την ανάπτυξη της καλλιέργειας και χρησιμοποίηση αυτών των διαφοροποιήσεων με σκοπό τη χρησιμοποίηση σε κάθε τμήμα του αγρού της προσφορότερης δοσολογίας λιπασμάτων, σπόρων, νερού και φυτοφαρμάκων.

Το “Precision Farming” ή όπως επιχειρήθηκε να αποδοθεί στα Ελληνικά ο όρος αυτός “Ορθολογική γεωργία”, περιγράφει όλες τις ενέργειες που συντελούν στην καλύτερη διαχείριση των εισροών στη γεωργία και με απώτερο σκοπό την αύξηση της απόδοσης. Είναι μία νέα προσέγγιση η οποία χρησιμοποιεί ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες και ενσωματώνοντας καινούργιες τεχνικές δημιουργεί ένα σημαντικό όπλο στην υπηρεσία του γεωργού-επιχειρηματία. Η τεχνολογία αυτή του “Precision Farming” απαιτεί την ύπαρξη της πληροφορικής, των ηλεκτρονικών και των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων με την υποστήριξη όμως επαρκών αγρονομικών πληροφοριών. Ουσιαστικά “Precision Farming” είναι η εφαρμογή και ο συνδυασμός τριών τεχνολογιών: Remote Sensing (τηλεπισκόπηση), Geographical Information Systems-GIS (χαρτογράφηση εδαφών) και Global Positioning Systems (GPS).

Ωστόσο το “Precision Farming” δεν είναι απλά η τεχνολογία της εφαρμογής ανεξάρτητων χειρισμών σε κάθε τμήμα του εδάφους που ποικίλει, αλλά πρέπει να

θεωρηθεί ως η ικανότητα για ακριβή καταγραφή και εκτίμηση όλης της γεωργικής επιχείρησης. Σκοπός είναι η σαφής κατανόηση όλων των διεργασιών που συντελούνται σε μία γεωργική επιχείρηση, για ορθολογική χρήση όλων των εισροών κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να μεγιστοποιήσουν τα οικονομικά μεγέθη της επιχείρησης με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος (1).

Επιπρόσθετα, οι τεχνικές του “Precision Farming” θα πρέπει να θεωρηθούν ως αναπόσπαστο κομμάτι της αειφορικής γεωργίας, όπου όλες οι καλλιεργητικές παρεμβάσεις έχουν ως γνώμονα τη μη διατάραξη των αποθεμάτων των φυσικών πόρων και τη μη ρύπανση του περιβάλλοντος. Αυτός ο ορισμός αντιπροσωπεύει πλήρως τη γενική φιλοσοφία του “Precision Farming” καθώς περιέχει την έννοια της ορθολογικής διαχείρισης του εδάφους και συγχρόνως διατηρώντας την ποικιλομορφία της υπαίθρου τόσο σε τοπικό όσο και σε ευρύτερο επίπεδο (2).

### **3. ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ “PRECISION FARMING”**

#### **3.1 Χαρτογράφηση παραγωγής (yield mapping)**

Το Global Position System (GPS) λαμβάνοντας τις συντεταγμένες του κάθε σημείου του αγρού από δορυφόρο και συνδεδεμένο με αισθητήρες που μετρούν την παραγωγή, καταγράφουν το ποσό της παραγωγής σε κάθε σημείο της συγκομιζόμενης έκτασης. Αυτά τα στοιχεία αποτυπώνονται σε έναν υπολογιστή που βρίσκεται μέσα στη θεριζοαλωνιστική μηχανή και με τη βοήθεια ειδικού προγράμματος δημιουργούν χάρτες παραγωγής, για κάθε συγκομιζόμενη έκταση. Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν την ποσότητα των σπόρων σε συνάρτηση με το χρόνο και τον τόπο. Η τεχνική αυτή απαιτεί στοιχεία συγκομιδής τριών τουλάχιστον ετών για να δώσει σωστές εκτιμήσεις.

#### **3.2 Δειγματοληψία και χαρτογράφηση του εδάφους (soil sampling & mapping)**

Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή του “Precision Farming” είναι η καταγραφή της γονιμότητας του εδάφους στα διάφορα σημεία του αγρού. Για το σκοπό αυτό γίνεται δειγματοληψία του εδάφους και ανάλυση του. Με τη βοήθεια του GPS το ακριβές σημείο κάθε δείγματος εδάφους καταγράφεται σε ειδικό μικροϋπολογιστή και μετά την ανάλυση των δειγμάτων παράγονται εδαφολογικοί χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν το επίπεδο του φωσφόρου (P) και του καλίου (K) όπως και άλλων σημαντικών θρεπτικών στοιχείων, καθώς επίσης και του pH του εδάφους.

#### **3.3 Αυξομειούμενη διανομή λιπασμάτων (variable rate fertiliser)**

Με βάση τον εδαφολογικό χάρτη γίνεται και η ανάλογη κατανομή και χρήση των λιπασμάτων στα διάφορα τμήματα του αγρού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ρυθμιστών για αυξομειούμενη διανομή λιπασμάτων. Υπάρχουν ρυθμιστές για χρήση στερεών ή υγρών λιπασμάτων. Η διανομή των δόσεων μπορεί να ρυθμιστεί είτε από το χειριστή είτε αυτόματα με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή που βρίσκεται στον γεωργικό ελκυστήρα.

### **3.4 Αυξομειούμενη διανομή σπόρων (variable seed rates)**

Η αυξομείωση της διανομής των σπόρων επιτυγχάνεται σε συσχέτιση με τις συνθήκες του εδάφους, όπως η δομή του, η οργανική ουσία και η διαθέσιμη εδαφική υγρασία. Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής συνδεδεμένος με GPS και με ενσωματωμένο στη μνήμη του τον εδαφολογικό χάρτη του αγρού, ενημερώνει τον χειριστή για το ακριβές σημείο του χωραφιού σε σχέση με τις εδαφικές συνθήκες, δίνοντας του τη δυνατότητα για αυξομείωση της ποσότητας των σπόρων.

### **3.5 Χαρτογράφηση ζιζανίων (weed mapping)**

Ο γεωργός είναι δυνατόν να καταγράψει σε κάθε σημείο του αγρού τα σημαντικά πολυετή ζιζάνια χρησιμοποιώντας ένα ειδικά διαμορφωμένο πληκτρολόγιο υπολογιστή συνδεδεμένο με μια κεραία GPS. Οι καταγραφές αυτές παράγουν ένα χάρτη ζιζανίων του χωραφιού και στη συνέχεια μπορούν να συνδυαστούν με προγράμματα αυτόματης εφαρμογής ψεκασμού ζιζανιοκτόνων μόνο στις κηλίδες των ζιζανίων.

### **3.6 Δορυφορική απεικόνιση της καλλιέργειας (satellite imagery)**

Με τη μέθοδο αυτή, η οποία δεν απαιτεί ιστορικά δεδομένα, γίνεται χρήση ειδικών δορυφόρων οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να απεικονίζουν την καλλιέργεια με τη δυνατότητα να ξεχωρίζουν τα διάφορα είδη φυτών και να εντοπίζουν περιοχές της καλλιέργειας που υποφέρουν είτε από stress είτε από φυτοπαθολογικές προσβολές.

### **3.7 Τεχνικές του Precision Farming σε σκαλιστικές καλλιέργειες**

Από τις σκαλιστικές καλλιέργειες έχουμε κυρίως εφαρμογή του “Precision Farming” στην καλλιέργεια της πατάτας, όπου ο προσδιορισμός της παραγωγής γίνεται με τη βοήθεια ειδικών αισθητήρων που μετράνε τον αριθμό και το βάρος των κονδύλων. Από τα φυτοπαθολογικά προβλήματα μέχρι τώρα υπάρχει η δυνατότητα χαρτογράφησης της εξάπλωσης των νηματωδών σκωλήκων.

## **4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΤΟΥ “PRECISION FARMING”**

Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι η τεχνική της δειγματοληψίας και χαρτογράφησης του εδάφους (soil sampling & soil mapping), ακολουθεί η τεχνική της χαρτογράφησης της παραγωγής (yield mapping) και η αυξομειούμενη διανομή λιπασμάτων (variable rate fertiliser). Η τεχνική της αυξομειούμενης διανομής της ασβέστου (variable lime application) και της αυξομειούμενης διανομής σπόρων (variable seed rates) χρησιμοποιούνται από λιγότερους παραγωγούς, ενώ η μέθοδος της χαρτογράφησης ζιζανίων (weed mapping) και της δορυφορικής απεικόνισης (satellite imagery) δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα από αγρότες στην Αγγλία τουλάχιστον μέχρι το χρόνο διεξαγωγής της έρευνας (3).

Από τις χρησιμοποιούμενες αυτές μεθόδους, η πιο αποδοτική και συμφέρουσα αναφέρθηκε πως είναι η χαρτογράφηση του εδάφους και η αυξομειούμενη διανομή λιπασμάτων και ασβέστου.

Μέχρι σήμερα υπάρχει ένας μικρός (αλλά αυξανόμενος) αριθμός εταιρειών που παρέχουν τη δυνατότητα δειγματοληψιών εδάφους και αναλύσεων, όπου με βάση τα αποτελέσματα μπορούν να παραχθούν σχέδια εφαρμογής του φωσφόρου (P) και του καλίου (K) ανά τμήμα της υπό εξέταση έκτασης. Το μόνο πρόβλημα που αναφέρθηκε

είναι το υψηλό κόστος εξέτασης των δειγμάτων και ο αριθμός των δειγμάτων ανά εκτάριο. Ωστόσο μέθοδος για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του αζώτου δεν είναι ακόμα διαθέσιμη. Μόνο η εταιρεία HYDRO έχει κατασκευάσει μία μηχανή για αυτόματη διανομή αζωτούχων λιπασμάτων, με τη βοήθεια ειδικών αισθητήρων χλωροφύλλης, όπου αυτόματα εκτιμούν τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε άζωτο στην υπό εξέλιξη καλλιέργεια.

## **5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ “PRECISION FARMING”**

Όλοι οι αγρότες υποστήριξαν πως τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρει το “Precision Farming” είναι κυρίως οικονομικής και περιβαλλοντικής φύσεως. Οι χρήστες της τεχνολογίας αυτής επίσης επισημαίνουν και προσωπικά οφέλη αφού η εργασία τους απαιτεί αυξημένη τεχνική κατάρτιση και αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς επίσης και βελτίωση της παραγωγικότητας αφού μπορούν να καταναείμουν τις εισροές σε πιο ορθολογική βάση, ανάλογα με τη γονιμότητα του κάθε τμήματος του αγρού τους (3).

Από την άποψη των μειονεκτημάτων, το σημαντικότερο είναι το υψηλό κόστος επένδυσης σε συνάρτηση μάλιστα με τις μειωμένες τιμές των αγροτικών προϊόντων. Η ερμηνεία των δεδομένων από τους χάρτες που δημιουργούνται, καθώς και η έλλειψη αγρονομικής κατανόησης, αναφέρθηκαν ως σημαντικά προβλήματα. Επίσης πολλές απαντήσεις θα πρέπει να δοθούν στη συμπεριφορά των λιπασμάτων στο έδαφος, στην αιτία των ποικιλομορφιών του εδάφους, στη μαθηματική επεξεργασία των χαρτών παραγωγής (yield mappings), στη διάθεση φυτοπροστατευτικών προϊόντων και στο marketing της νέας αυτής τεχνολογίας. Αυτές οι απαντήσεις θα πρέπει να δοθούν πριν συνεχιστεί η ραγδαία ανάπτυξη των ήδη υπάρχοντων αλλά και άλλων μεθόδων του “Precision Farming”, για να μη διευρυνθεί και άλλο το χάσμα μεταξύ της τεχνολογίας αυτής καθ’ αυτής και της πρακτικής εφαρμογής της (3).

## **6. ΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ “PRECISION FARMING”**

### **6.1 Τάσεις όπως αποτυπώθηκαν στην έρευνα**

Με βάση αποτελέσματα της έρευνας το 15% των ερωτηθέντων αγροτών από τις απαντήσεις των ερωτηματολογίων, δήλωσαν ότι χρησιμοποιούν κάποια από τις τεχνικές του “Precision Farming”. Από το υπόλοιπο 85% αυτών που δεν είναι χρήστες, το 22% αυτών σχεδιάζουν να ασχοληθούν με αυτή την τεχνολογία στο άμεσο μέλλον. Οι αγρότες που είναι χρήστες “Precision Farming” καλλιεργούν συνήθως πάνω από 250 εκτάρια και επιπλέον είναι ιδιοκτήτες μεγάλου μέρους από αυτήν την καλλιεργούμενη έκταση (3).

Οι αγρότες που δεν είναι χρήστες πιστεύουν ότι χαμηλότερο κόστος επένδυσης και πιο εμφανή θετικά αποτελέσματα όπως επίσης και συμβουλές από καλά καταρτισμένους γεωπόνους θα τους ωθούσε προς την υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας (3).

## 6.2 Τάσεις ανάλογα με τις καλλιέργειες

Μέχρι σήμερα κατεξοχήν η τεχνολογία του “Precision Farming” εφαρμόζεται σε καλλιέργειες σιτηρών. Ωστόσο αξίζει να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της, για καλλιέργειες υψηλής αξίας που επιδέχονται πιο εντατικής μορφής φροντίδες και δαπανηρότερες εισροές. Προς αυτή την κατεύθυνση μπορεί να βοηθήσει και η Ευρωπαϊκή Ένωση που απαιτεί ορθολογική διαχείριση των καλλιεργειών με έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης η χαρτογράφηση της παραγωγής του βαμβακιού ίσως είναι και ένας από τους επόμενους τομείς έρευνας του “Precision Farming” (3).

Χαρακτηριστικό είναι το τι δήλωσαν σε προσωπικές συνεντεύξεις δύο παραγωγοί που καλλιεργούν πατάτες και εφαρμόζουν “Precision Farming” για χαρτογράφηση της εξάπλωσης των νηματωδών. Δήλωσαν πολύ ικανοποιημένοι και ότι η μέθοδος είναι πολύ αποδοτική και συνετέλεσε στη χρησιμοποίηση λιγότερων νηματωδοκτόνων, στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των νηματωδών και στην καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη ποσότητα των συγκομιζόμενων κονδύλων (3).

## 7. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ “PRECISION FARMING”

Όλοι οι αγρότες αναμένουν τη μέθοδο της δορυφορικής απεικόνισης (satellite imagery) να κυριαρχήσει στο μέλλον έναντι της μεθόδου της χαρτογράφησης της παραγωγής (yield mapping) η οποία απαιτεί καταγραφή ιστορικών δεδομένων τριών καλλιεργητικών χρόνων.

Η πιο εντυπωσιακή ανάπτυξη στο Precision Farming όμως είναι το νέο σύστημα της απεικόνισης της καλλιέργειας με ψηφιακή φωτογράφιση (real time monitoring). Ειδικοί αισθητήρες NDVI παρέχουν την ικανότητα για απεικόνιση της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου με δυνατότητα άμεσης καλλιεργητικής επέμβασης.

Η ύπαρξη δε όλο και μεγαλύτερου αριθμού ηλεκτρονικών υπολογιστών σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις θα οδηγήσει στην ανάγκη δημιουργίας ολοκληρωμένων προγραμμάτων λογισμικού, ούτως ώστε να συμπεριλαμβάνουν διαχείριση αποθήκης, λογιστική, επεξεργασία κειμένου, διαχείριση χρόνου του προσωπικού καθώς και προγραμμάτων του “Precision Farming”. Προς το παρόν υπάρχει ελάχιστο λογισμικό που να παρέχει τη δυνατότητα ερμηνείας δεδομένων όπως της τηλεπισκόπησης (remote sensed images), εδαφολογικών χαρτών (soil maps), χαρτών παραγωγής (yield maps) που να οδηγούν σε συγκεκριμένη σύσταση μεταχειρίσεων. Αυτό είναι συνέπεια και της έλλειψης απαραίτητης γνώσης σε αγρονομικά θέματα. Αυτού του είδους το λογισμικό θα πρέπει να είναι ο στόχος για τους ερευνητές με την κατάλληλη αγρονομική υποδομή και θα αποτελέσει τη βάση για την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας του “Precision Farming”.

Οι αγρότες πιστεύουν πως με τη χρήση του “Precision Farming” θα ξοδεύουν περισσότερο χρόνο στο γραφείο δουλεύοντας με τον υπολογιστή. Θα κατανοήσουν περισσότερο τις αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν στην έκταση που καλλιεργούν μεταξύ εδάφους, φυτού, καιρικών συνθηκών και παραγωγής και θα μάθουν μόνοι τους να ερμηνεύουν τους χάρτες που δημιουργούνται μέσω του “Precision Farming” με

μεγαλύτερη ακρίβεια. Ως συνέπεια όλων αυτών, οι αποφάσεις που θα παίρνουν θα περιέχουν λιγότερο ρίσκο (3).

## **8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Το “Precision Farming” είναι μία τεχνολογία σε εμβρυακή κατάσταση. Έχει ωστόσο τα δείγματα για δυνατότητα αλματώδους ανάπτυξης, αλλά η δυναμική της δεν είναι εφικτό να διαφανεί μέσα στα επόμενα λίγα χρόνια. Όπως όλες οι νέες τεχνολογίες απαιτεί επένδυση χρόνου και χρημάτων για να αναπτυχθεί. Η επένδυση αυτή θα φέρει κάποια θετικά αποτελέσματα στα πρώτα στάδια εφαρμογής της, αλλά τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα θα διαφανούν μακροπρόθεσμα.

Το μέλλον του “Precision Farming” στηρίζεται στο συσχετισμό του με πρακτικά αγρονομικά θέματα και στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων προγραμμάτων λογισμικού. Όλα αυτά απαιτούν ένα συνεργισμό από όλους του φορείς που ασχολούνται με τη γεωργία και ενδιαφέρονται για το μέλλον της, όπως ερευνητικά κέντρα, εταιρίες γεωργικών μηχανημάτων, εταιρίες αγροχημικών και ομάδες παραγωγών όπως και ειδικά καταρτισμένους σε θέματα πληροφορικής γεωπόνους.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Blackmore B. S., Wheeler P. N. & Morris R. M. (1994), “The role of Precision Farming in Sustainable Agriculture, A European Perspective”, Proceedings of the 2nd International Conference on Site-Specific Management for Agricultural Systems, Minneapolis, USA
2. Blackmore B. S. (1994), “Precision Farming: An Introduction”, Outlook on Agriculture. Vol. 23, No 40
3. Fountas S. (1998), MSc thesis, “Market research on the views and perceptions of farmers about the role of crop management within Precision Farming”, UK - [http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/spyridon\\_Fountas/index.htm](http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/spyridon_Fountas/index.htm)



# *Περιβάλλον*





## **NO<sub>3</sub> ΣΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΕ ΛΑΧΑΝΙΚΑ. ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΧΕΣΗ;**

**Σπυρίδων Βλειώρας (1), Δήμητρα Τάσιου (2), Δημήτρης Βλειώρας (3)**

1) Επόπτης Ποιοτικού Ελέγχου Περι/κού Κέντρου Βόλου

2) Γεωπόνος Περι/κού Κέντρου Βόλου

3) Φοιτητής επί πτυχίω Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος Δ.Π.Θ. Ξάνθη

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Από το 1996 το Περι/κό Κέντρο Βόλου (Τμήμα Εργαστ. Ποιοτ Ελέγχου), σε συνεργασία με το Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο στα πλαίσια προγράμματος της Ε.Ε., προσδιορίζει την ποσότητα NO<sub>3</sub> σε φυλλώδη λαχανικά. Το εργαστήριο από το 1989 μετρά την ποσότητα NO<sub>3</sub> στο νερό άρδευσης και στο νερό της βροχής. Στη δημοσίευση αυτή παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε NO<sub>3</sub> των νερών άρδευσης και των λαχανικών που αρδεύονται από τα νερά αυτά, για να εξετασθεί αν η περιεκτικότητα σε NO<sub>3</sub> του νερού επηρεάζει την περιεκτικότητα σε NO<sub>3</sub> των λαχανικών.

## **NO<sub>3</sub> DETERMINATION & CORRELATION BETWEEN NITRATES IN WATER IRRIGATION & IN VEGETABLES**

**Spyridon Vlioras (1), Dimitra Tasiou (2), Dimitris Vlioras (3)**

1) Inspector of Quality Control of Regional Center of Volos

2) Agriculturist of Regional Center of Volos

3) Student in Dept. Environmental Engineering D.U.T.

### **ABSTRACT**

The Quality Control Dept. of Regional Center of Volos, in cooperation with Benakio Phytopathological Institute in Athens, have determined nitrates (NO<sub>3</sub>) in leafy vegetables since 1996, according to a financed project of E.U. Also the Quality Control Dept. has quantified nitrates in irrigation water and rain water since 1989. This research was carried out to determine nitrates in irrigation water and to examine the effect of irrigation water on nitrate concentration in vegetables.

Είναι γνωστό ότι η λεγόμενη πράσινη επανάσταση στηρίχθηκε στη χρήση, υπερβολική θα λέγαμε, των λιπασμάτων. Έτσι οδηγηθήκαμε στην αύξηση του όγκου παραγωγής γεωργικών προϊόντων αφενός, και αφετέρου στην αύξηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Οι δυσμενείς επιπτώσεις των λιπασμάτων στο περιβάλλον οφείλονται κυρίως στα στοιχεία άζωτο και φωσφόρο. Το άζωτο ειδικότερα συμβάλλει τόσο στην εμφάνιση του ευτροφισμού όσο και αύξηση των  $\text{NO}_3$  στα υπόγεια νερά (άρδευσης και ύδρευσης). Βέβαια λόγω των έντονων χημικών και βιοχημικών μετατροπών που υφίσταται το N στο έδαφος είναι δύσκολο να προσδιορισθεί η πηγή προέλευσης των  $\text{NO}_3$  που ανιχνεύονται στα υπόγεια νερά και στους φυτικούς ιστούς [1].

Τα επίπεδα των  $\text{NO}_3$  στους φυτικούς ιστούς ποικίλλουν και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως είδος φυτού, ηλικία, αριθμός και χρόνος προσθήκης αζωτούχου λιπάσματος, κλιματολογικές συνθήκες (ένταση φωτός, θερμοκρασία, περιεκτικότητα σε  $\text{CO}_2$ ), αναστολείς νιτροποίησης (νιτροπυρίνη), γενότυπος (λεία φύλλα, ένζυμο NR, νιτρική αναγωγή), τμήμα του φυτού [2].

Μερικά λαχανικά όπως το σπανάκι και το μαρούλι συγκεντρώνουν πολλά νιτρικά στους ιστούς τους. Τα φυτά δεν έχουν την ικανότητα να ανάγουν τα  $\text{NO}_3$  στη ρίζα ή ανάγουν μικρό μέρος στις ρίζες και μεταφέρουν τα  $\text{NO}_3$  στα φύλλα. Τα  $\text{NO}_3$  μπορεί να συγκεντρώνονται στα φύλλα όταν η αναγωγή υστερεί σε σχέση με τη μεταφορά  $\text{NO}_3$  στα φύλλα [3].

Η συγκέντρωση των  $\text{NO}_3$  στα φυτά είναι φυσικό φαινόμενο που προκύπτει από την απορρόφηση νιτρικών ιόντων σε μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που ανάγεται σε  $\text{NH}_3$  ή  $\text{NO}_2$ . Το ενδιαφέρον για την παρουσία  $\text{NO}_3$  στα λαχανικά και στο νερό αυξάνει χρόνο με το χρόνο, λόγω της δυσμενούς και επικίνδυνης πολλές φορές αναγωγής των  $\text{NO}_3$  σε  $\text{NO}_2$  και δευτερογενώς σε νιτροσαμίνες.

Οι κίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου και η τοξικότητα των  $\text{NO}_3$  -  $\text{NO}_2$  δυνατόν να προκαλέσουν :

- 1) Στον άνθρωπο ταχυκαρδία, έμετο, διάρροια, ανωμαλία στα έμβρυα από την νιτροσαμίνη, πνευματική καθυστέρηση σε ασθενείς με κληρονομική μεθαυμογλοβιναιμία, επιβίωση στη χλωρίδα του εντέρου των αναγωγικών βακτηρίων E.Coli & Clostridium.
- 2) Στα ζώα αυξάνουν την ανάγκη για ιώδιο λόγω ανωμαλιών που προκαλούνται στον θυροειδή.
- 3) Στα φυτά καταστρέφουν την καρωτίνη.

Οι πηγές πρόσληψης  $\text{NO}_3$  -  $\text{NO}_2$  από τον άνθρωπο είναι το νερό, διάφορες τροφές (κρέατα - ψάρια) μερικά λαχανικά όπως μαρούλι, σπανάκι, λάχανο, ραπανάκι, σέλινο, παντζάρι [3].

Οι κίνδυνοι που αναφέρονται ανωτέρω έχουν ευαισθητοποιήσει πολλούς Γεωτεχνικούς. Έτσι το Περιφερειακό Κέντρο, θεωρώντας το νερό όχι μόνο συντελεστή ποιότητας αλλά και τροφή, είχε αρχίσει αναλύσεις αρδευτικού νερού και νερού γεωργικών βιομηχανιών από το 1989 [4], [5].

Από δε το 1996, στα πλαίσια του λειτουργικού προγράμματος «Ανάπτυξη του τομέα Γεωργία-μέτρο 3.3» σε συνεργασία με το Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο, άρχισε μετρήσεις προσδιορισμού NO<sub>3</sub> στα φυλλώδη λαχανικά (μαρούλι - σπανάκι). Οι έλεγχοι αυτοί έγιναν εντατικότεροι μετά τη δημοσίευση του Καν. (Ε.Κ) 194/97 της Επιτροπής που καθορίζει τα ανώτατα επιτρεπτά όρια περιεκτικότητας NO<sub>3</sub> στο σπανάκι και το μαρούλι.

Από το 1999 και έχοντας υπόψη ότι για τη ρύπανση των νερών και των λαχανικών με NO<sub>3</sub> δεν ευθύνονται μόνο τα λιπάσματα, αλλά και διάφορες οργανικές ουσίες, οι έλεγχοι του εργαστηρίου στράφηκαν και στην κατεύθυνση ταυτόχρονων ελέγχων στα λαχανικά και στο νερό άρδευσης. Έτσι από διάφορους καλλιεργητές της Κ. Ελλάδος λαμβάνονται δείγματα τόσο μαρουλιού όσο και του νερού με το οποίο αρδεύεται το κτήμα. (Πίνακας 1)

Ο προσδιορισμός NO<sub>3</sub> έγινε με στήλη καδμίου και φασματοφωτομετρικό προσδιορισμό στα 543 nm καθώς και με επιλεκτικά ηλεκτρόδια (pHμετρο Οτίον) [6], [7].

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εξετάσθηκαν συνολικά, το διάστημα 1999 - 2000 48 δείγματα νερού - μαρουλιών. (Πίνακας 1)

Από τα εξετασθέντα δείγματα νερού, ποσοστό 50% έχει συγκέντρωση NO<sub>3</sub> άνω των 50 ppm. Από τα εξετασθέντα δείγματα μαρουλιού κανένα δείγμα δεν έχει περιεκτικότητα σε NO<sub>3</sub> πάνω από τα όρια που έχει θέσει ο Καν. 194/97.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα εξετασθέντα δείγματα νερού προκύπτει ότι όντως υπάρχει πρόβλημα ρύπανσης με NO<sub>3</sub> των νερών. Αντιθέτως τα λαχανικά της περιοχής Κεντρ. Ελλάδος έχουν περιεκτικότητα σε NO<sub>3</sub> πολύ κάτω από τα όρια που έχει θέσει η Ε.Ε (οφειλόμενη πιθανόν στην ηλιοφάνεια και την κάλυψη εν μέρει των αρδευτικών αναγκών από νερό της βροχής). Τέλος από τη στατιστική επεξεργασία της συγκέντρωσης NO<sub>3</sub> (πολυώνυμο 6<sup>ου</sup> βαθμού) σε νερό - λαχανικά στο εξετασθέν δείγμα προκύπτει κάποια σχέση νιτρικών νερού άρδευσης και νιτρικών λαχανικών ( $r=0,27$ ). Οι έλεγχοι θα συνεχισθούν, αφού η υπηρεσία μας, στα πλαίσια του προγράμματος «συμπληρωματικές περιβαλλοντικές δράσεις του Καν. 207/92 ΕΟΚ», εξοπλίσθηκε με ιοντική χρωματογραφία έτσι ώστε να μελετήσουμε πληρέστερα τη σχέση αίτιου - αποτελέσματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. ΝΟ3 σε μαρούλια και νερό.

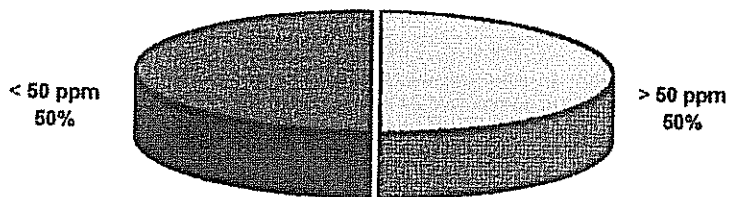
A/A.	Ημ/νία δειγμ/ψίας	ΝΟ3 σε μαρούλια (ppm)	ΝΟ3 σε νερό (ppm)
1	4/1/2000	501,4	300
2	4/1/2000	386	250
3	4/1/2000	515,8	100
4	4/1/2000	679	500
5	4/1/2000	468	500
6	4/1/2000	342	250
7	4/1/2000	401,4	50
8	18/1/2000	475,4	100
9	18/1/2000	357,3	40
10	19/1/2000	236,6	0
11	21/1/2000	362,9	500
12	24/1/2000	530,4	0
13	24/1/2000	455,6	100
14	24/1/2000	277	50
15	26/1/2000	438,5	5
16	27/1/2000	462,8	50
17	27/1/2000	375,9	50
18	1/2/2000	10,1	5
19	16/2/2000	279,4	200
20	23/3/2000	319,3	225
21	6/4/2000	33,7	50
22	13/4/2000	410,8	250
23	14/4/2000	493,8	50
24	14/4/2000	317,5	50
25	18/4/2000	593	0
26	19/4/2000	255,4	200
27	19/4/2000	340,1	200
28	24/4/2000	177,5	450
29	26/4/2000	513,6	500
30	26/4/2000	168,2	200
31	27/4/2000	194,9	10
32	5/5/2000	55,3	0
33	5/5/2000	158,9	200
34	5/5/2000	140,1	250
35	9/5/2000	29,9	250
36	9/5/2000	17,6	50
37	9/5/2000	118,6	10
38	9/5/2000	79,3	25
39	9/5/2000	172,4	25
40	9/5/2000	533,4	0
41	9/5/2000	649	0
42	9/5/2000	133,5	50
43	9/5/2000	30,5	100
44	9/5/2000	623,2	500
45	9/5/2000	222,4	100
46	9/5/2000	106,8	0
47	10/5/2000	352,2	30
48	10/5/2000	240	100
	Μέσος όρος	313,3	145,2
	Τυπική απόκλιση	185,2	160,9

ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΝ. 194/97 (ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΝΟΧΗΣ ΓΙΑ ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΡΟΣΜΕΙΞΕΙΣ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ)	
ΠΡΟΙΟΝ	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΝΟΧΗΣ ΣΕ ΝΙΤΡΙΚΑ ΑΛΑΤΑ (mg/NO3/kg νωπού προϊόντος)
ΣΠΑΝΑΚΙ	2.500
ΜΑΡΟΥΛΙΑ	Συγκομιδή από 1ης Οκτ. έως 31 Μαρτίου 4.500 Συγκομιδή από 1ης Απρ. έως 30 Σεπτ. 3.500 Συγκομιδή από 1ης Μαΐου έως 31 Αυγ. 2.500

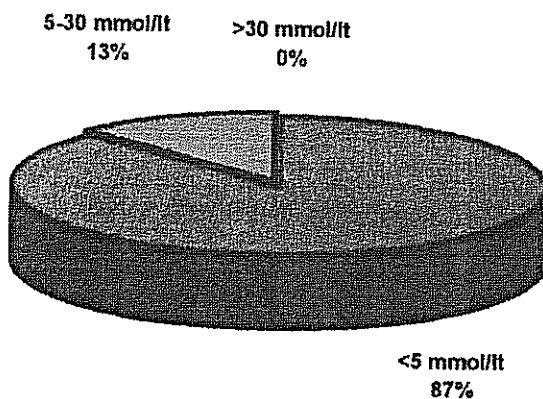
## ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Συγκέντρωση NO<sub>3</sub> σε νωπά λαχανικά (κατά Lee, Maynard, Borker)

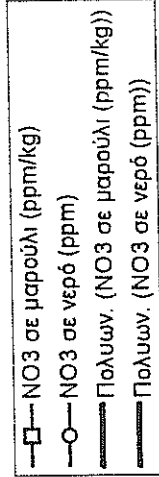
Τμήμα φυτού	Είδος λαχανικού	Ενδεικτικές τιμές
Φύλλο	Λάχανο	186
	Μαρούλι	116
	Σπανάκι	496
Μίσχος	Σέλινο	380
	Τεύτλο	574
	Καρότο	54
Καρπός	Ραδίκι	429
	Μπιζέλι	26
	Τομάτα	20
Βλαστός	Σπαράγγι	25
Βολβός	Κρεμμύδι	14
Κόνδυλος	Πατάτα	42
Ανθοιαξία	Μπρόκολο	214
	Κουνουπίδι	238



Σχήμα 1. Κατάταξη αρδευτικών νερών με βάση την ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση 50 ppm. (Γόσιμο νερό Καν. 77B/86).



Σχήμα 2. Προβλήματα στο αρδευτικό νερό λόγω παρουσίας NO<sub>3</sub>. Μικρή ένταση <5 mmol/l, μέτρια 5-30 mmol/l, έντονη ένταση >30 mmol/l. (FA 1976).

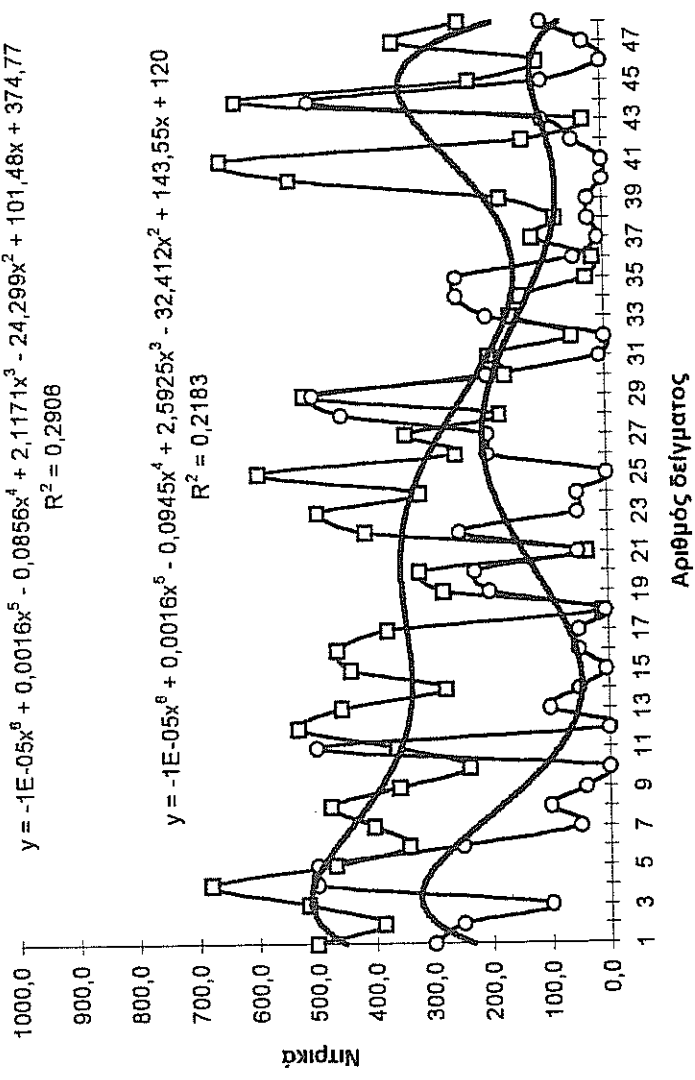


$$y = -1E-05x^6 + 0,0016x^5 - 0,0856x^4 + 2,1171x^3 - 24,299x^2 + 101,48x + 374,77$$

$$R^2 = 0,2906$$

$$y = -1E-05x^6 + 0,0016x^5 - 0,0945x^4 + 2,5925x^3 - 32,412x^2 + 143,55x + 120$$

$$R^2 = 0,2183$$



Σχήμα 3. Κατανομή νιτρικών σε μαρούλια και νερό.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Γκαντίδης Ν, Σιμιώνης Α, Κουκουλάκης Π. 1991 «Οι επιπτώσεις από τη χρήση λιπασμάτων στο περιβάλλον» -Επιστημονική Διημερίδα της Ελληνικής Εδαφολογικής Εταιρείας - Θεσσαλονίκη 191 - 201
2. Γανίδου Μ 1991 «Τα αζωτούχα λιπάσματα και η επίδρασή τους στα γεωργικά προϊόντα» - 14<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Χημείας - Αθήνα 114 - 118
3. Θεριός Ιωάννης 1996 «Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα» -Εκδόσεις Δεδούση Θεσσαλονίκη
4. Βλειώρας Σπύρος 1996 «Προκαταρκτικά αποτελέσματα μετρήσεων της ποιότητας αρδευτικού νερού στο Ν. Μαγνησίας» - 2<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Εγγειοβελτιωτικών έργων, διαχείρισης υδατικών πόρων, εκμηχάνισης γεωργίας - Λάρισα 443 - 453
5. European Commission 1997 - Report Agriculture, environment, rural development facts and figures 151 - 180
6. Βασιλιώτης Γ.Σ. - Φυτιάνος Κ.Κ. 1986 «Μέθοδοι ελέγχου ρυπάνσεως περιβάλλοντος» - Εκδόσεις Ζήτη - Θεσσαλονίκη
7. Μήτρακας Μαννασής 1991 «Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού» Θεσσαλονίκη
8. Lampkin Nicolas 1993 - «Organic farming» - Farming Press England

# ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΡΕΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ ΑΠΟ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

**Ι.Κ. Μήτσιος, Φ.Α. Γάτσιος και Δ.Α. Σαραντόπουλος**  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής & Ζωικής  
Παραγωγής, Εργαστήριο Εδαφολογίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται ο βαθμός ρύπανσης στα νερά των χειμάρρων του Νομού Μαγνησίας που εκβάλλουν στον Παγασητικό κόλπο. Οι δειγματοληψίες των νερών άρχισαν το 1998 και περατώθηκαν το 2000. Οι χημικοί παράμετροι που προσδιορίστηκαν είναι : pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, B, K, Na, BOD<sub>5</sub>, C.O.D., βαρέα μέταλλα. Οι χειμάρροι Ξηριάς Βόλου και Ξηριάς Αλμυρού ρυπαίνουν τον Παγασητικό κόλπο με NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup> και Br<sup>-</sup>.

## APPROACHES FOR THE POLLUTION ESTIMATION OF MAGNESIA TORRENTS WHICH IS CAUSED BY AGRICULTURAL AND OTHER ACTIVITIES

**I.K. Mitsios, F.A. Gatsios and D.A. Sarantopoulos**  
University of Thessaly, School of Agriculture, Laboratory of Soil  
Science

## ABSTRACT

This paper summarizes the degree of pollution in the torrents of Magnesia which discharge into Pagasitikos gulf. The water samplings began at 1998 and were completed in 2000. The chemical parameters which were determined are : pH, E.C., F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, B, K, Na, BOD<sub>5</sub>, C.O.D. and heavy metals. The Xirias torrent close to Volos city and the Xirias close to Almiros city, pollute the Pagasitikos gulf with NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup> and Br<sup>-</sup>.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

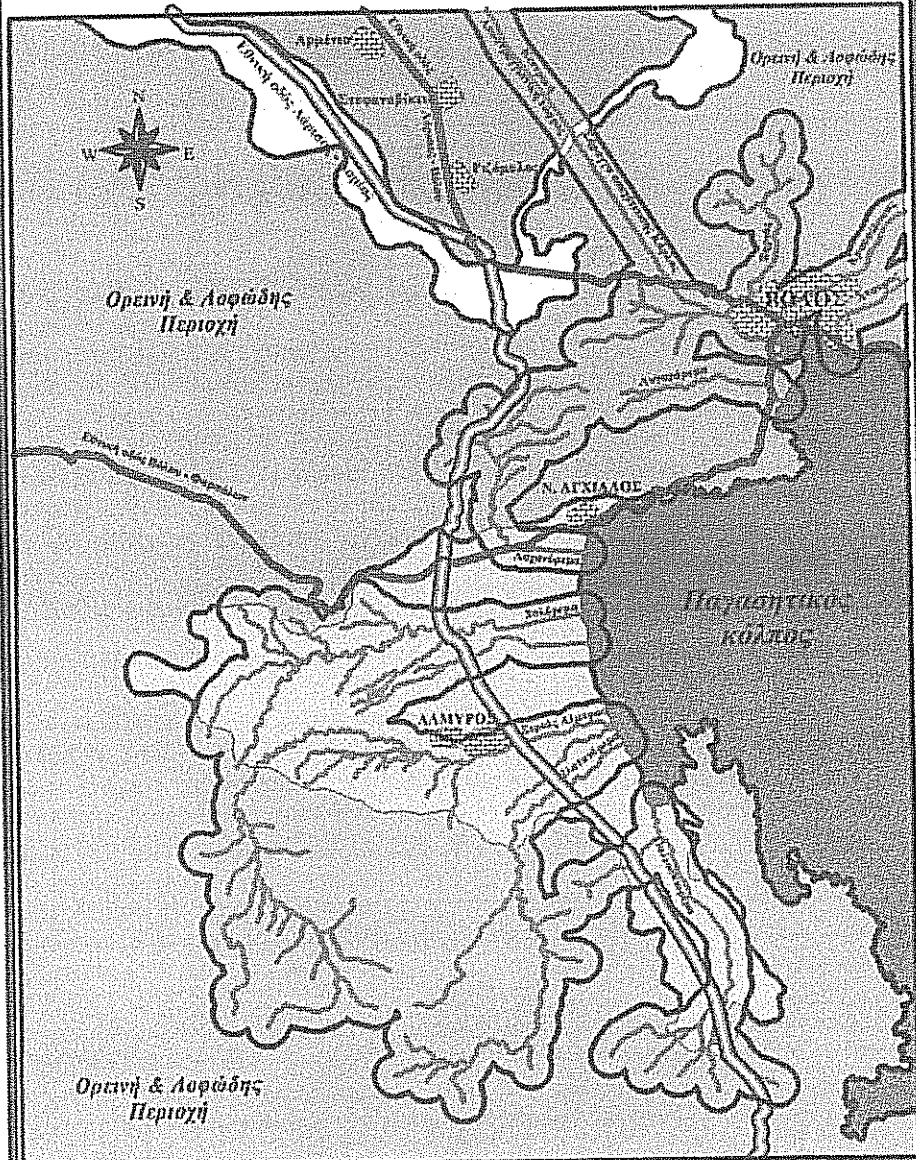
Στην εργασία αυτή αξιολογούνται τα νερά 9 χειμάρρων του Νομού Μαγνησίας, που εκβάλλουν στον Παγασητικό κόλπο, προκειμένου να εντοπιστούν και να καταγραφούν διάφοροι τύποι ρύπων και οι πηγές αυτών. Ο κύριος σκοπός της εργασίας αυτής είναι η προστασία του Παγασητικού κόλπου, ο οποίος θεωρείται ένας μεγάλος υγρότοπος μαζί με τους επιμέρους υγροτόπους του [8, 9] όπως : οι εκβολές του Λαχανορέματος, οι εκβολές του Χολορέματος, το έλος των Λεχωνίων, το έλος του όρμου της Σούρπης, οι εκβολές του Κραυσίδανα, η περιοχή Μπουρμπουλήθρα και η πρώην λίμνη Κάρλα. Εκτιμάται ότι οι πηγές των ρυπογόνων παραγόντων που υποβαθμίζουν έναν υγρότοπο είναι σημειακές, αλλά και μη σημειακές. Ως μη σημειακές θεωρούνται κυρίως οι γεωργικές δραστηριότητες που συμβαίνουν τόσο στους υγροτόπους όσο και στις λεκάνες απορροής τους [3]. Ένας από τους κυριότερους τρόπους μεταφοράς των διαφόρων ρυπαντών είναι τα νερά των χειμάρρων και ρεμάτων [1, 10]. Για το σκοπό αυτό θα γίνουν οι απαραίτητες χημικές αναλύσεις [2, 6, 11] προκειμένου να εντοπισθούν οι ρυπαντές και ο βαθμός ρύπανσης των υγροτόπων αυτών. Ως βασικοί χημικοί ρυπαντές των νερών, και των υγροτόπων θεωρούνται τα νιτρικά ιόντα, τα νιτρώδη ιόντα, τα φωσφορικά ιόντα, τα βαρέα μέταλλα καθώς και το αργίλιο.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Κατά τα έτη 1998–1999 και 1999–2000 στο εργαστήριο εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας αναλύθηκαν νερά προερχόμενα από τους 9 μεγαλύτερους χειμάρρους του Νομού Μαγνησίας, που καταλήγουν στον Παγασητικό κόλπο. Δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές ανάλογα με την ένταση των βροχοπτώσεων. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν ως εξής : από το Πλατανόρεμα (Κορώπη) έγινε μία δειγματοληψία και ελήφθησαν 3 δείγματα νερού, στο Βρίκονα (Λεχώνια) πραγματοποιήθηκαν 13 δειγματοληψίες, στον Κραυσίδανα 8 δειγματοληψίες, στον Ξηριά (Βόλος) 25, στη θέση βιομηχανική ζώνη 18, στη θέση Κάρλα 17, στο Χολόρεμα (Αλμυρός) 13, στον Ξηριά (Αλμυρός) 13, στο Πλατανόρεμα 12, και στο Κακόρεμα (Σούρπη) 10 δειγματοληψίες. Στον ψηφιακό χάρτη 1 απεικονίζονται οι χείμαρροι και οι λεκάνες απορροής τους. Ο ψηφιακός χάρτης δημιουργήθηκε με G.I.S. (γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών) και βασίζεται σε πραγματικές συντεταγμένες. Σε κάθε δειγματοληψία λαμβάνονταν 3 δείγματα νερού και στη συνέχεια αναλύονταν. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων των τριών δειγμάτων. Οι χημικές αναλύσεις που έγιναν είναι: το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα νιτρικά, τα νιτρώδη, τα φωσφορικά, τα βρωμιούχα, τα φθοριόντα, το κάλιο, το νάτριο, το βόριο, το BOD<sub>5</sub>, το C.O.D., τα βαρέα μέταλλα (σίδηρος, χρώμιο, κάδμιο, μόλυβδος, χαλκός) και το αργίλιο. Ο προσδιορισμός των ανιόντων έγινε με την ιοντική χρωματογραφία της στήλης εναλλαγής ιόντων σε συνδυασμό με ανιχνευτή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του οίκου της Metrohm. Τα βαρέα μέταλλα και το αργίλιο μετρήθηκαν με την ατομική απορρόφηση Perkin Elmer 3300 με θερμαινόμενο φούρνο γραφίτη του οίκου Perkin Elmer μοντέλο 600 που διαθέτει ως διορθωτή θορύβου λυχνία δευτερίου και είναι συνδεδεμένος με αυτόματο αναλυτή AS/60 40 θέσεων. Το BOD<sub>5</sub> προσδιορίστηκε με την ειδική συσκευή μέτρησης. Ο προσδιορισμός του καλίου και του νατρίου έγινε με φλογοφωτόμετρο.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ~ Χαίμαρες & τάραχοι
- Αρόματα
- ▨ Ορεινή
- ▩ Ηλιόφιλος Κεράσι
- ▧ Πέτρις Αμμοί
- ▨ Πηλινός βόσκιος
- ▩ Ορεινός & λουλούδιος περιοχή
- ▧ Θάλασσα
- ~ Δικόνια, αμφορέα



Χάρτης 1. Χάρτης των κυριότερων χειμάρρων περιοχών Ν. Μαγνησίας που καταλήγουν στον Παγασητικό κόλπο.

### 2.1 Περιγραφή των λεκανών απορροής

Στη λεκάνη απορροής του Πλατανορέματος Κορώπης καλλιεργούνται συνολικά 22800 στρέμματα. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις στη λεκάνη απορροής του Βρίκονα καταλαμβάνουν έκταση 20700 στρεμμάτων. Οι περιοχές που καλλιεργούνται γύρω από το χειμάρρο Άναυρο καλύπτουν έκταση 10600 στρεμμάτων. Στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Κραυσίδωνα υπάρχει συνολική καλλιεργήσιμη έκταση 14800 στρεμμάτων, ενώ στον Ξηριά 96900 στρεμμάτων. Στην περιοχή του Αλμυρού η λεκάνη απορροής του Χολορέματος έχει καλλιεργήσιμη έκταση 51400 στρέμματα, του Ξηριά 112000 στρέμματα, του Πλατανορέματος 32400 στρέμματα και του Κακορέματος 87200 στρέμματα.

## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων προκύπτουν τα εξής :

### 3.1 Συγκέντρωση $\text{NO}_3^-$ και $\text{NO}_2^-$ ιόντων στους χειμάρρους.

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα νερά κυμάνθηκαν από 0,01 ως 6,05 ppm. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, πάνω από την τιμή 0,1 ppm παρατηρήθηκαν στο χειμάρρο Ξηριά Βόλου στις 17/2/200. Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων παρουσίασε υψηλότερη τιμή τα 158,7 ppm στο χειμάρρο Ξηριά σχήμα 1α. Υψηλές συγκεντρώσεις πάνω από το όριο των 50ppm παρατηρήθηκαν στο χειμάρρο Ξηριά Αλμυρού σχήμα 1β. Ο χειμάρρος αυτός έχει ως λεκάνη απορροής την πεδιάδα του Αλμυρού στην οποία καλλιεργούνται εντατικά δυναμικές καλλιέργειες όπως βαμβάκι και αραβόσιτος. Οι υπερβολικές αζωτούχες λιπάνσεις και το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής αυτής ευνοούν την έκπλυση των νιτρικών ιόντων και τη μεταφορά αυτών με τα νερά απορροής.

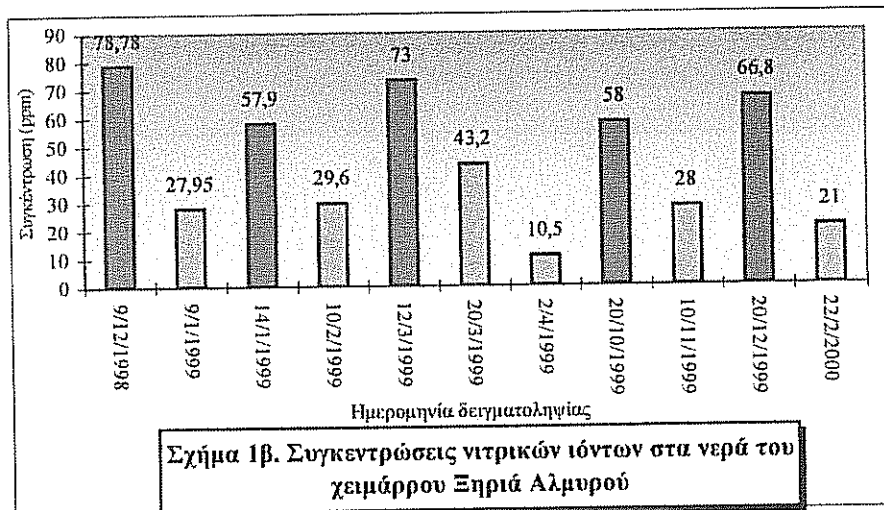
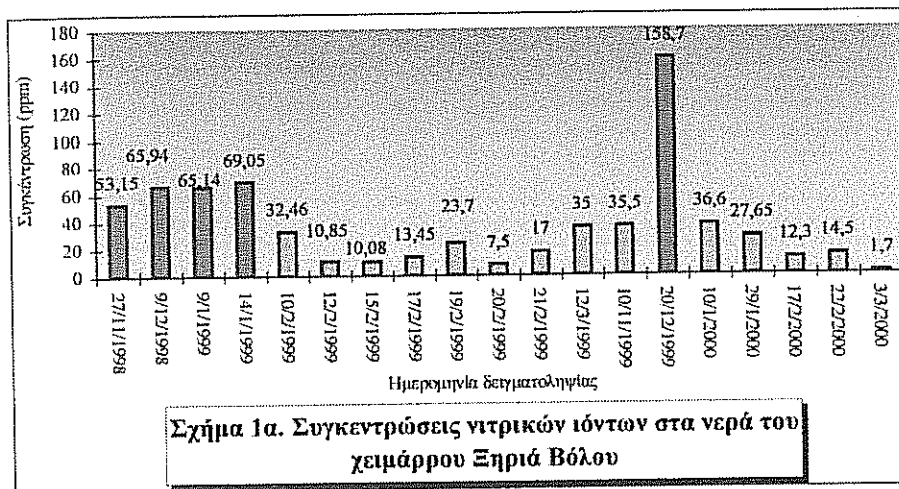
Συνολικά σε 13 δειγματοληψίες οι τιμές των συγκεντρώσεων των  $\text{NO}_3^-$  στα νερά ήταν υψηλότερες από το επιτρεπτό επίπεδο.

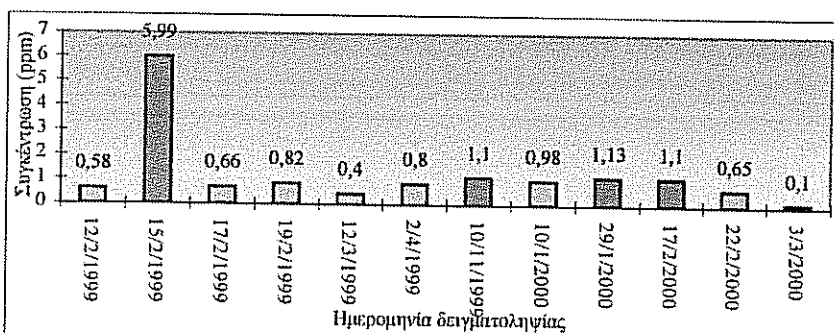
### 3.2 Συγκέντρωση $\text{F}^-$ ιόντων στους χειμάρρους.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων των αναλύσεων προκύπτει ότι η συγκέντρωση των ιόντων φθορίου στα νερά των χειμάρρων παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή 0,05 ppm και υψηλότερη 8,4 ppm. Στα νερά του Ξηριά Βόλου, της βιομηχανικής περιοχής και της Κάρλας εντοπίστηκαν συγκεντρώσεις  $\text{F}^-$  υψηλότερες του ανώτατου ορίου 1,5 ppm [4]. Στο Ξηριά Βόλου, στη βιομηχανική περιοχή και στη Κάρλα σε 22 δειγματοληψίες οι τιμές των συγκεντρώσεων των ιόντων φθορίου στα νερά ξεπέρασαν το ανώτατο όριο, σχήμα 2γ, 2β, 2α αντίστοιχα. Πηγές ρύπανσης με ιόντα  $\text{F}^-$  θεωρούνται τα φωσφορικά λιπάσματα ή οι γεωλογικοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι) ή σημειακές πηγές όπως οι βιομηχανίες [7].

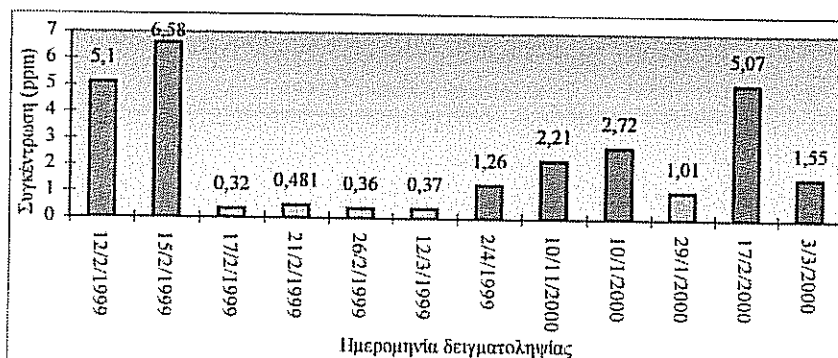
### 3.3 Συγκέντρωση των βρωμιούχων ιόντων στους χειμάρρους.

Η ελάχιστη τιμή της συγκέντρωσης των βρωμιούχων ιόντων στα νερά των υπό μελέτη χειμάρρων είναι 0,05 και η μέγιστη 45,6 ppm. Οι τιμές των συγκεντρώσεων στα νερά του Ξηριά Βόλου, της βιομηχανικής περιοχής και της Κάρλας κυμαίνονται από 1,61 ppm ως 45,6 ppm, σχήμα 3γ, 3β, 3α αντίστοιχα. Τα βρωμιούχα προέρχονται από γεωργικά φάρμακα ή από βιομηχανίες, είτε από τα νερά άρδευσης [5].

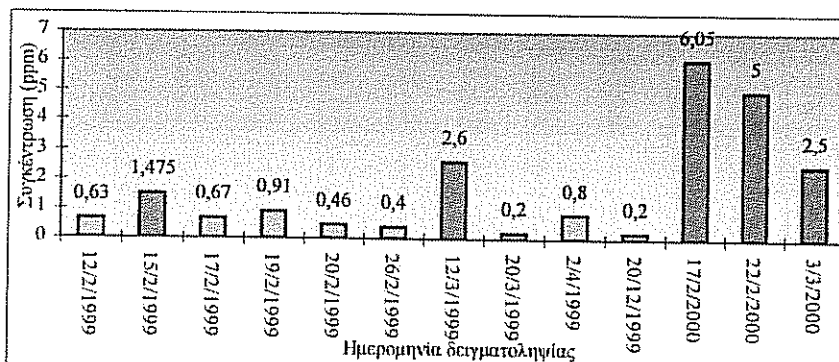




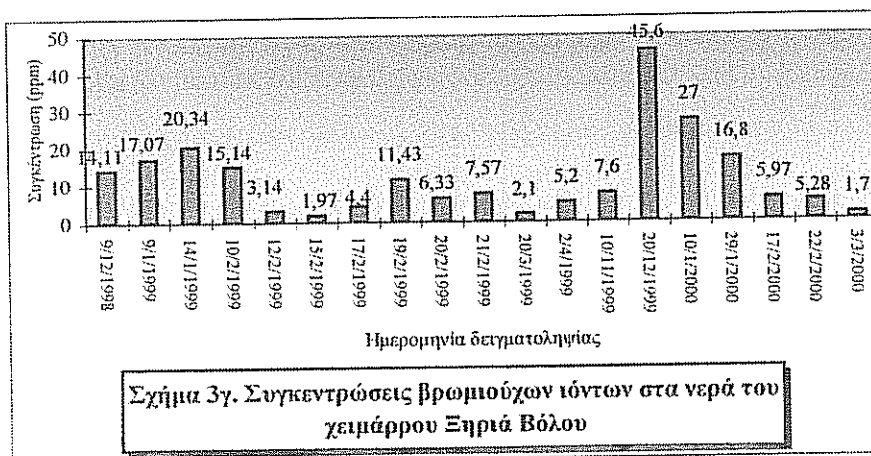
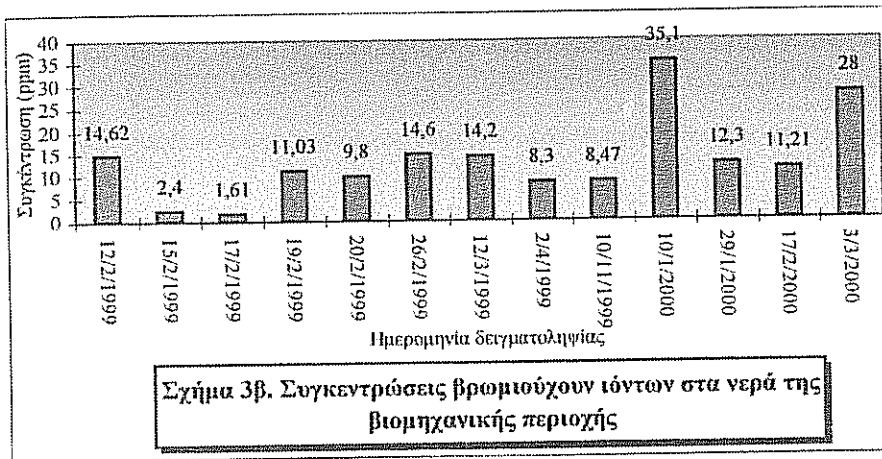
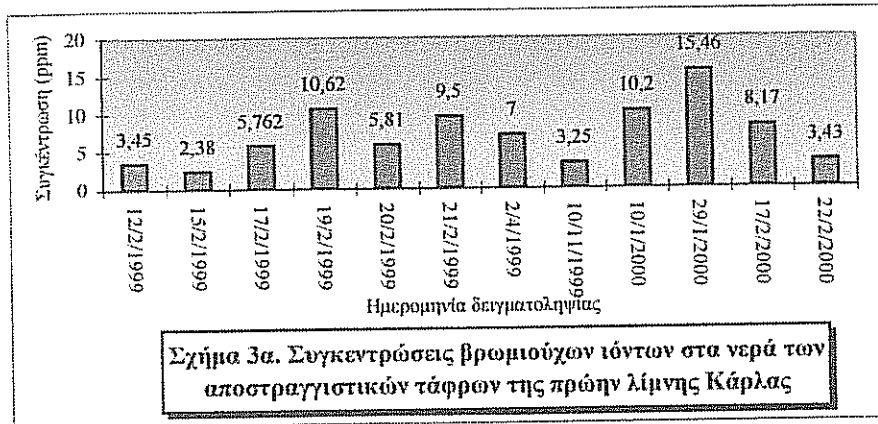
**Σχήμα 2α. Συγκεντρώσεις ιόντων φθορίου στα νερά των αποστραγγιστικών τάφρων της πρώην λίμνης Κάρλας**



**Σχήμα 2β. Συγκεντρώσεις ιόντων φθορίου στα νερά της βιομηχανικής περιοχής**



**Σχήμα 2γ. Συγκεντρώσεις ιόντων φθορίου στα νερά του χειμάρρου Ξηριά Βόλου**





### 3.4 Συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων στους χειμάρρους.

Φωσφορικά ιόντα ανιχνεύθηκαν σε πολύ μικρό αριθμό δειγματοληψιών. Σε 25 δειγματοληψίες προσδιορίστηκαν φωσφορικά ιόντα σε τιμές από 0,1 ως 3,8 ppm.

### 3.5 Συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων (καδμίου, μολύβδου, χαλκού, σιδήρου) και του αργιλίου

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων και του αργιλίου κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, της τάξης των ppm. Οι υψηλότερες τιμές αυτών κυμαίνονται εντός των ανωτάτων αποδεκτών ορίων. Οι συγκεντρώσεις αυτών παρατηρούνται στο χειμάρρο Ξηριάς Βόλου, στη βιομηχανική περιοχή και στην Κάρλα ήταν υψηλότερες αλλά είναι χαμηλότερες από τα αποδεκτά όρια.

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις χημικές αναλύσεις των νερών από τους υπό μελέτη χειμάρρους προκύπτει ότι ο χειμάρρος Ξηριάς Βόλου είναι η κύρια πηγή ρύπανσης του Παγασητικού κόλπου με  $\text{NO}_3^-$ , F και Br<sup>-</sup>. Ο χειμάρρος αυτός αποτελεί τον κύριο αγωγό διέλευσης αρκετών ποσοτήτων λυμάτων από τη βιομηχανική περιοχή του Βόλου ως και ρύπων από την περιοχή της λίμνης Κάρλας. Ειδικά αυτή η δίοδος επιβαρύνει συνεχώς το θαλάσσιο περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις βρωμιούχων και ιόντων φθορίου. Ένας άλλος χειμάρρος που εντοπίστηκε να αποτελεί πηγή ρύπανσης για τον Παγασητικό κόλπο είναι ο Ξηριάς Αλμυρού. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι αρκετά δείγματα είναι επιβαρημένα με νιτρικά ιόντα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Armstrong, D. E. and Rohlick, G. A., 1970. Effects of agricultural pollution on entrophication. In Agricultural practices and water quality. T. I. Willrich and L. E. Smith, (Eds.) pp. 314-330. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
2. Arnold, E., Rhodes, R. and Lenore, S., 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16<sup>th</sup> edition.
3. Γεράκης, Π. Α., Τσιούρης, Σ. Ε., 1992. Τεχνικές προστασίας υγροτόπων από γεωργικές δραστηριότητες, Μονογραφία.
4. Ζανάκη, Κ., 1996. Έλεγχος ποιότητας νερού. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
5. Methods of Soil Analysis, 1982. Part. 2. Chemical and Microbiological properties. 9, pp. 449 – 455.
6. Μήτσιος, Ι. Κ., 1999. Εδαφολογία. Εκδόσεις Ζυμει, Αθήνα 1999 ( 2<sup>η</sup> έκδοση ).
7. Μγκίρος, Γ. Π., 1998. Συνοπτική περιγραφή του ορυκτού πλούτου της Θεσσαλίας. Γεωτεκτονική ένταξη, αξιοποίηση πόρων. *Ορυκτός πλούτος / Mineral wealth*. 108.
8. Μουσείο Γουλανδρή φυσικής ιστορίας, Ε.Κ.Β.Υ., 1994. Απογραφή Ελληνικών Υγροτόπων ως φυσικών πόρων. Μουσείο Γουλανδρή φυσικής ιστορίας, Ε.Κ.Β.Υ., Αθήνα.
9. Μουσείο Γουλανδρή φυσικής ιστορίας, Ε.Κ.Β.Υ., 1996. Ελληνικοί υγρότοποι. Εμπορική Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα
10. Robinson, A. R., 1971. Sediment: our greatest pollutant. *Agr. Eng.* 53 (8), 406-408.
11. Vogel, I., Arthur., 1961. A Textbook of Quantitative Inorganic Analysis. Third Edition, 16, 18, 128, 139, 141, iii21-24.

# Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ

N. P. Δαλέζιος<sup>(1)</sup>, X. Δομενικιώτης<sup>(2)</sup>, Σ. Τζώρτζιος<sup>(3)</sup>,  
A. Λουκάς<sup>(4)</sup> και I. Σ. Τζανετοπούλου<sup>(1)</sup>

- (1) Εργαστήριο Αγρομετεωρολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος, Τηλ:0421-74238 Fax:0421-74239, email:[dalezios@uth.gr](mailto:dalezios@uth.gr)  
(2) Τμήμα Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
(3) Εργαστήριο Βιομετρίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  
(4) Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετάται η επίδραση αγρομετεωρολογικών δεικτών στην απόδοση της καλλιέργειας του σιταριού στην περιοχή της Λάρισας στα φαινολογικά στάδια του φυτού αυτού. Οι αγρομετεωρολογικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανάλυση των στοιχείων γίνεται με τη στατιστική μέθοδο της παραγοντικής ανάλυσης, για τα έτη 1957-1980. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι δείκτες που έχουν σχέση με τη θερμοκρασία αποτελούν βασικό παράγοντα στην ανάπτυξη των φυτών.

## THE SIGNIFICANCE OF METEOROLOGICAL INDICES IN THE EVOLUTION OF WHEAT IN THE AREA OF LARISA

N.R. Dalezios<sup>(1)</sup>, C. Domenikiotis<sup>(2)</sup>, S. Tzortzios<sup>(3)</sup>, A. Loukas<sup>(4)</sup>  
and G. Tzanetopoulou<sup>(1)</sup>,

- (1)Laboratory of Agrometeorology, University of Thessaly, Pedion Areos, 38334 Volos, Greece, Phone +30-421-74238, fax +30-421-74239, email: [dalezios@uth.gr](mailto:dalezios@uth.gr)  
(2) Department of Management of Rural Environment & Natural Resources  
(3) Laboratory of Biometry, University of Thessaly  
(4) Department of Civil Engineering, University of Thessaly

## ABSTRACT

The relationship between agrometeorological indices and the yield of wheat in the area of Larisa, with its phenological stages is examined. The agrometeorological indices used in this work depend on the temperature, humidity and solar radiation. The statistical method used to relate the data, for the years 1957-1980, is factor analysis. The results show that the indices related to the temperature constitute a significant factor for the evolution of wheat.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο καιρός και το κλίμα αποτελούν δυο καθοριστικούς παράγοντες στην ανάπτυξη και εξέλιξη των φυτών και η σημασία τους είναι ιδιαίτερα κρίσιμη στην περίπτωση των φυτών μεγάλων γεωργικών καλλιεργειών. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες, που εμπλέκονται στη διαμόρφωση του μικροκλίματος μιας περιοχής, προσδιορίζουν χρονικά καθοριστικές φυσιολογικές διεργασίες των φυτών που από τη φύση τους διακρίνονται μεταξύ τους και καλούνται φαινολογικά στάδια. Αν και η προσέγγιση της συσχέτισης των φαινολογικών σταδίων των φυτών με μετεωρολογικές παραμέτρους είναι εμπειρική, έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμη για την παρακολούθηση της αγροτικής παραγωγής.

Ως γνωστόν, φαινολογία είναι η μελέτη της χρονικής εμφάνισης των διαφόρων σταδίων του βιολογικού κύκλου των ζωντανών οργανισμών σε σχέση με τις μεταβολές των βιοτικών και κυρίως των αβιοτικών παραγόντων του περιβάλλοντος. Συχνά η πρόβλεψη ενός βιολογικού φαινομένου με βάση έναν αβιοτικό παράγοντα είναι επισφαλής γι' αυτό οι φαινολογικές έρευνες περιλαμβάνουν όσο το δυνατόν περισσότερες παραμέτρους ώστε οι προβλέψεις τους να στηρίζονται σε ορθή βιολογική βάση [1, 2, 3, 4, 5]. Οι αβιοτικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη σε φαινολογικές μελέτες είναι συνήθως οι κλιματικοί και ιδιαίτερα η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία και η βροχόπτωση. Από πρακτική άποψη ο σπουδαιότερος αβιοτικός παράγοντας που επηρεάζει το χρόνο που εκδηλώνονται τα φαινολογικά στάδια των φυτών είναι η θερμοκρασία.

Απώτερος και γενικότερος σκοπός μελετών είναι η εύρεση τρόπου σύνδεσης ορισμένων αβιοτικών παραγόντων, όπως είναι κατεξοχήν οι μετεωρολογικοί και κλιματικοί παράγοντες, με την τελική απόδοση της καλλιέργειας [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Κατ' επέκταση, το ζητούμενο είναι η δυνατότητα της εκτίμησης της τελικής παραγωγής όταν είναι γνωστές οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάποιο φαινολογικό στάδιο της καλλιέργειας.

Αντικείμενο της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη, με τη βοήθεια της μεθόδου της Παραγοντικής Ανάλυσης, της σχέσης που υπάρχει μεταξύ ορισμένων αγρομετεωρολογικών δεικτών και των διαφόρων σταδίων εξέλιξης της χειμερινής καλλιέργειας του σιταριού στη περιοχή της Λάρισας. Ειδικότερα εξετάζεται η συσχέτιση των αγρομετεωρολογικών δεικτών μεταξύ των, καθώς και η σχετική επίδρασή τους στα φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας, όπως και η σύνδεσή τους με την τελική απόδοση.

## 2. ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η βάση δεδομένων αποτελείται από ημερήσιες μετεωρολογικές παρατηρήσεις για την περίοδο 1957-1980 και ετήσιες αποδόσεις σιταριού για την ίδια περίοδο. Οι μετεωρολογικές μετρήσεις περιλαμβάνουν ημερήσιες τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας, ελάχιστης θερμοκρασίας, βροχόπτωσης (σε mm) και σχετικής υγρασίας (για την μεταβλητή αυτή υπάρχουν τρεις ημερήσιες τιμές που αντιστοιχούν σε τρεις μετρήσεις κατά τις ώρες 08:00, 14:00 και 20:00). Στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι αριθμητικοί μέσοι όροι για τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία.

Στον Πίνακα 1 αναγράφονται τα φαινολογικά στάδια καθώς και τα δεκαήμερα του έτους (3 δεκαήμερα/μήνα) που αντιστοιχούν στο καθένα, για βλαστική περίοδο 230 ημερών, από 11 Νοεμβρίου έως 30 Ιουνίου.

Πίνακας 1. Φαινολογικά στάδια του σιταριού

ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΔΕΚΑΗΜΕΡΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ
0° ΣΤΑΔΙΟ-ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΣΠΟΡΑ → ΦΥΤΡΩΜΑ	32ο: 11-20 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ
	1α ΦΥΤΡΩΜΑ→ ΑΔΕΛΦΩΜΑ	33ο-34ο: 21 ΝΟΕΜ-10 ΔΕΚ
1° ΣΤΑΔΙΟ-ΒΛΑΣΤΙΚΟ	1β ΛΗΘΑΡΓΟΣ→ ΕΑΡΙΝΟΠΟΙΗΣΗ	35ο- 7ο: 11 ΔΕΚ-10 ΜΑΡ
	1γ ΚΑΛΑΜΩΜΑ→ ΞΕΣΤΑΧΥΑΣΜΑ	8ο-12ο: 11 ΜΑΡΤ-30 ΑΠΡ
2° ΣΤΑΔΙΟ - ΑΝΘΗΣΗ		13ο-14ο: 1-20 ΜΑΙΟΥ
3° ΣΤΑΔΙΟ - ΩΡΙΜΑΝΣΗ		15ο-17ο: 21 ΜΑΙΟΥ- 20 ΙΟΥΝ
4° ΣΤΑΔΙΟ -ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ		18ο : 21-30 ΙΟΥΝΙΟΥ

### 3. ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 3.1 Παραγοντική Ανάλυση

Η Παραγοντική Ανάλυση [18,19] είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται από ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων. Σκοπός της Παραγοντικής Ανάλυσης είναι η ερμηνεία ή η “αποκάλυψη” της εσωτερικής δομής ενός συστήματος πολυμεταβλητών δεδομένων μέσω της επεξεργασίας του πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης (variance-covariance).

Στο σύστημα των αλληλοσυσχετιζόμενων μεταβλητών υπάρχουν κάποιοι κοινοί παράγοντες οι οποίοι εξάγονται και εκφράζονται από την Παραγοντική Ανάλυση. Οι παράγοντες αυτοί αποτελούν μαθηματικό μετασχηματισμό των αρχικών δεδομένων. Η συνολική διακύμανση είναι το άθροισμα τριών διακυμάνσεων: η κοινή διακύμανση (common variance), η οποία είναι το κλάσμα της ολικής διακύμανσης που σχετίζεται με τις άλλες μεταβλητές, η ειδική διακύμανση (specific variance), που είναι το κλάσμα της ολικής διακύμανσης που δεν σχετίζεται με τις άλλες μεταβλητές και η διακύμανση σφάλματος (error variance), η οποία είναι η τυχαία διακύμανση που οφείλεται σε διάφορες πηγές σφάλματος. Η Παραγοντική Ανάλυση επιδιώκει να προσδιορίσει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος των μεταβλητών που οδηγεί στην αλληλοσυσχέτισή τους.

Οι παράγοντες προκύπτουν από τον πίνακα συσχετίσεων και δηλώνουν το βαθμό στον οποίο οι μεταβλητές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Οι παράγοντες βασίζονται στις ιδιοτιμές του πίνακα συσχετίσεων των νέων αξόνων και είναι απαραίτητοι για να καθοριστεί η διασπορά των σημείων στο χώρο πολλών διαστάσεων. Ο πρώτος παράγοντας καθορίζεται από το βαθμό αλληλοσυσχέτισης των μεταβλητών. Ο δεύτερος παράγοντας σχετίζεται με ορθογώνιο άξονα προς τον άξονα του πρώτου παράγοντα. Κάθε παράγοντας εξηγεί ένα μέρος της παραλλακτικότητας των δεδομένων, ενώ διαδοχικά επέρχεται μείωση στη συμβολή του καθενός.

### 3.2 Περιγραφή και Υπολογισμός Αγρομετεωρολογικών Δεικτών

Μέσα από πειραματικά δεδομένα έχει πολλές φορές προκύψει το συμπέρασμα ότι οι βασικές αγρομετεωρολογικές παράμετροι σχετίζονται άμεσα με τα επιμέρους φαινολογικά στάδια διαφόρων καλλιεργειών. Οι παράμετροι αυτές εκτιμούνται από βασικά μετεωρολογικά στοιχεία, όπως θερμοκρασία, σχετική υγρασία ή βροχόπτωση. Παρακάτω αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά των αγρομετεωρολογικών δεικτών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους [20, 21, 22, 23, 24, 25]. Οι δείκτες αυτοί σχετίζονται με τα φαινολογικά στάδια των φυτών.

#### 3.2.1. Άθροισμα αριθμού ξηρών ημερών (Crop-drying day.c1:c2)

Ως άθροισμα αριθμού ξηρών ημερών ορίζεται ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η ημερήσια βροχόπτωση είναι ίση ή κάτω από μια κρίσιμη τιμή κατωφλίου. Δύο οριακές τιμές έχουν επιλεγεί, η τιμή 5mm και η τιμή 10mm. Η τιμή 5mm αντιστοιχεί στο δείκτη c1, ενώ η τιμή 10mm αντιστοιχεί στο δείκτη c2.

#### 3.2.2. Κοροπλήρωμα (Vapor Pressure Deficit, d)

Ως κοροπλήρωμα ορίζεται η διαφορά μεταξύ της πίεσης υδρατμών κορεσμού ( $e_s$ ) και πραγματικής πίεσης υδρατμών ( $e$ ) και εκτιμάται από την εξίσωση

$$d = e_s - e = e_s (100 - RH) \quad (1)$$

όπου RH είναι η σχετική υγρασία του αέρα. Η παράμετρος  $e_s$  εκτιμάται από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία ( $T$ ) και από την παρακάτω εμπειρική εξίσωση των Magnus-Tetens (όπου η πίεση εκφράζεται σε mb και η θερμοκρασία σε °C.

$$e_s = 6.11 \cdot 10^{(7.5 \cdot T_{mean} / (237.3 + T_{mean}))} \quad (2)$$

Όπως είναι φανερό, η παράμετρος αυτή σχετίζεται άμεσα με τη σχετική υγρασία, παράμετρο καθοριστική λίγο ως πολύ για την πορεία όλων των καλλιεργειών, διότι έχει άμεση επίδραση στις διεργασίες των φύλλων και στη διαπνοή τους. Επιπρόσθετα ο παράγων διύγρυνση φύλλου είναι δυνατό να συσχετισθεί με εξάρσεις ασθενειών, οι οποίες είναι σαφές, ότι είναι δυνατό να επδράσουν δυσμενώς στη φαινολογία και στην τελική παραγωγή βιομάζας.

#### 3.2.3. Φωτοθερμική μονάδα (Photothermal Unit, PTU)

Ως φωτοθερμική μονάδα ορίζεται το άθροισμα των γινομένων των ωρών της ημέρας επί τις θερμοκρασίες επάνω από μία τιμή κατωφλίου και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$PTU = \sum_1^{10} (T_{mean} - T_c) D \quad (3)$$

όπου  $T_{mean}$  και  $T_c$  είναι η μέση και κρίσιμη θερμοκρασία, αντίστοιχα ενώ D είναι η διάρκεια της ημέρας σε ώρες. Στο άθροισμα λαμβάνονται υπόψη μόνο οι θετικές διαφορές  $T_{mean} - T_c$ . Ο ρόλος της φωτοθερμικής μονάδας είναι σημαντικός για διάφορα φαινολογικά στάδια (φύτευμα, ανθοφορία, καρποφορία) καθώς και για τη γενικότερη ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου κάθε φυτού. Η τιμή του  $T_c$  που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία είναι 10° C.

#### 3.2.4. Άθροιστική βροχόπτωση (rr)

Ο δείκτης αυτός είναι πολύ κοινός στις αγρομετεωρολογικές εφαρμογές, διότι εκτιμά τα αποθέματα της εδαφικής υγρασίας και κρίνει την πορεία των καλλιεργειών

και τα επιμέρους φαινολογικά στάδιά τους. Αυτό συμβαίνει, διότι η βροχόπτωση αποτελεί μία από τις κρίσιμότερες παραμέτρους για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Υπολογίζεται, συνήθως, σε αθροιστικές τιμές ημέρας, δεκαήμερων, μηνών ή και ολοκλήρων υδρολογικών ετών για συγκεκριμένες περιοχές. Στην παρούσα εργασία υπολογίζεται από ωριαίες τιμές και αθροιστικά για κάθε δεκαήμερο.

### 3.2.5. Αποτελεσματική νυκτοθερμοκρασία (Nycotemperature, T<sub>n</sub>)

Η αποτελεσματική νυκτοθερμοκρασία δίνεται από την εξίσωση:

$$T_n = T_{\min} + \frac{1}{4}(T_{\max} - T_{\min}) \quad (4)$$

όπου T<sub>max</sub> είναι η μέγιστη ημερήσια και T<sub>min</sub> η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία σε °C. Ο δείκτης υπολογίζεται ως μέσος όρος για κάθε δεκαήμερο και σταθμό. Όπως και στην πιο πάνω περίπτωση, μπορεί να ειπωθεί, ότι η παράμετρος αυτή αντικατοπτρίζει έμμεσα μία μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, όπου επικρατούν συνθήκες έλλειψης ή μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας.

### 3.2.6. Αποτελεσματική φωτοθερμοκρασία (Phototemperature, T<sub>p</sub>)

Η αποτελεσματική φωτοθερμοκρασία δίνεται από την εξίσωση:

$$T_p = T_{\max} - \frac{1}{4}(T_{\max} - T_{\min}) \quad (5)$$

όπου T<sub>max</sub> είναι η μέγιστη ημερήσια και T<sub>min</sub> η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία σε °C. Ο δείκτης υπολογίζεται ως μέσος όρος για κάθε δεκαήμερο και σταθμό. Μπορεί να ειπωθεί, ότι η παράμετρος αυτή αντικατοπτρίζει έμμεσα μία μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας που υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία.

### 3.2.7. Θερμική μονάδα ή ημερόβαθμοι (Heat Unit, Growing Degree Days, Tt, HU)

Ως θερμική μονάδα ορίζεται η αθροιστική μέση θερμοκρασία εκείνων των ημερών, που έχουν μέση ημερήσια θερμοκρασία επάνω από μία κρίσιμη τιμή κατωφλίου ειδική για κάθε καλλιέργεια και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$Tt = \sum_1^{10} (T_{mean} - T_c) \quad (6)$$

όπου T<sub>mean</sub> είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε °C και T<sub>c</sub> η κρίσιμη θερμοκρασία με συνήθεις τιμές 0,5 και 10 °C. Εκτιμάται συνήθως για κάθε δεκαήμερο ξεχωριστά. Στην παρούσα εργασία η θερμική μονάδα υπολογίζεται, όπως και η φωτοθερμική μονάδα με T<sub>c</sub> = 10° C και T-T<sub>c</sub>>0.

## 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αρχικά υπολογίστηκαν οι αγρομετεωρολογικοί δείκτες (εξισώσεις (1)-(6)) για κάθε δεκαήμερο, που αντιστοιχεί στα φαινολογικά στάδια, για τα έτη 1957-1980. Για κάθε δεκαήμερο σχηματίστηκε ένας πίνακας. Τρεις παράγοντες χρησιμοποιούνται στην παραγοντική ανάλυση. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της Παραγοντικής Ανάλυσης για την περιοχή Λάρισας.

Πίνακας 2. Συνοπτικά αποτελέσματα παραγοντικής ανάλυσης της περιοχής Λάρισας

ΦΑΙΝΟ ΛΟΓΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ	ΔΕΚΑ ΗΜΕ ΡΑ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ		
		1ος	2ος	3ος
		ΔΕΙΚΤΕΣ	ΔΕΙΚΤΕΣ	ΔΕΙΚΤΕΣ
0ο	32	Tn,Tr,PTU,Tt	c1,c2,d,π	απόδοση
1α	33	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,d,π	απόδοση
	34	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,d,π	απόδοση
1β	35	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,π	d, απόδοση
	36	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,d,π	απόδοση
	1	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,π, απόδοση	d
	2	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2	π, απόδοση
	3	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2	Tn, απόδοση
	4	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,d,π	απόδοση
	5	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2	π, απόδοση
	6	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,π, απόδοση	d
1γ	7	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,d	π, απόδοση
	8	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,d	π, απόδοση
	9	c1,c2,d	Tn,Tr, PTU,Tt	π, απόδοση
	10	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,π	απόδοση
	11	Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,d	π, απόδοση
2ο	12	d,π,Tn,Tr	c1,c2,Tt	PTU, απόδοση
	13	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2	π, απόδοση
3ο	14	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,π	απόδοση
	15	d,π,Tn,Tr	c1,c2, PTU	Tt, απόδοση
	16	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,π	απόδοση
4ο	17	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,π	απόδοση
	18	d,Tn,Tr, PTU,Tt	c1,c2,π	απόδοση

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2, τέσσερις δείκτες, όλοι άμεσα εξαρτώμενοι από τη θερμοκρασία, εμφανίζονται να συνεισφέρουν σταθερά στον πρώτο παράγοντα. Οι δείκτες αυτοί είναι: η φωτοθερμική μονάδα (PTU), η αποτελεσματική νυχτοθερμοκρασία (Tn), η αποτελεσματική φωτοθερμοκρασία (Tr) και η θερμική μονάδα (Tt).

Εξαιρέσεις όπου δεν συνεισφέρουν οι παραπάνω δείκτες εμφανίζονται: στο 9ο δεκαήμερο (στάδιο 1γ της καλλιέργειας) όπου συνεισφέρουν τα αθροίσματα ξηρών ημερών c1 και c2 και το κοροπλήρωμα (d), στο 12ο και 15ο δεκαήμερο (στάδια 1γ και 3 αντίστοιχα) όπου συνεισφέρουν η αποτελεσματική φωτοθερμοκρασία (Tr) η αθροιστική βροχόπτωση (π), η αποτελεσματική νυχτοθερμοκρασία (Tn) και το κοροπλήρωμα (d). Το κοροπλήρωμα (d) εμφανίζεται επίσης να συνεισφέρει στον πρώτο παράγοντα και στο 2ο, 3ο, 5ο, 10ο, 13ο, 14ο, 16ο, 17ο και 18ο δεκαήμερο.

Στον δεύτερο παράγοντα συνεισφέρουν κυρίως οι δείκτες που έχουν σχέση με τη βροχόπτωση και κατ' επέκταση με την υγρασία του εδάφους. Τα αθροίσματα ξηρών ημερών c1 και c2 εμφανίζονται σε όλα τα δεκαήμερα εκτός από το 9ο. Η βροχόπτωση (π) εμφανίζεται να συνεισφέρει σε περισσότερα από τα μισά δεκαήμερα της καλλιεργητικής περιόδου σε όλα τα φαινολογικά στάδια (32ο - 36ο, 1ο, 4ο, 6ο, 10ο, 14ο, 16ο, 17ο και 18ο δεκαήμερο). Το κοροπλήρωμα (d), που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική υγρασία, αλλά και με τη μέγιστη θερμοκρασία, συμμετέχει στο 32ο, 33ο,

34ο, 36ο, 4ο, 7ο, 8ο και 11ο δεκαήμερο . Η απόδοση εμφανίζεται να συνεισφέρει στον δεύτερο παράγοντα σε δύο δεκαήμερα του 1ου σταδίου, το 1ο και το 6ο.

Γενικά η συνεισφορά της απόδοσης περιορίζεται στον τρίτο παράγοντα όπου σε ορισμένα δεκαήμερα εμφανίζονται και άλλοι παράγοντες όπως παρακάτω:

<u>1ο στάδιο</u>	35ο δεκαήμερο: κοροπλήρωμα (d)
	2ο δεκαήμερο: αθροιστική βροχόπτωση (π)
	3ο δεκαήμερο: νυχτοθερμοκρασία (Tn)
	5ο δεκαήμερο: αθροιστική βροχόπτωση (π)
	7ο δεκαήμερο: αθροιστική βροχόπτωση (π)
	9ο δεκαήμερο: αθροιστική βροχόπτωση (π)
	11ο δεκαήμερο: αθροιστική βροχόπτωση (π)
	12ο δεκαήμερο: φωτοθερμική μονάδα (PTU)
<u>2ο στάδιο</u>	13ο δεκαήμερο: αθροιστική βροχόπτωση (π)
<u>3ο στάδιο</u>	15ο δεκαήμερο: θερμική μονάδα (Tt)

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η σημασία εφτά αγρομετεωρολογικών δεικτών στην εξέλιξη του σιταριού στην περιοχή της Λάρισας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εννέα παράμετροι ομαδοποιούνται σε τρεις παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν κατά μέσο όρο το 87% της ολικής παραλλακτικότητας των δεδομένων. Στον πρώτο παράγοντα συμμετέχουν, στα περισσότερα δεκαήμερα, οι μετεωρολογικοί δείκτες που σχετίζονται με τη θερμοκρασία, όπως: φωτοθερμική μονάδα, αποτελεσματική νυχτοθερμοκρασία, αποτελεσματική φωτοθερμοκρασία και θερμική μονάδα. Στον δεύτερο παράγοντα συνεισφέρουν συνήθως οι δείκτες που έχουν σχέση με τη βροχόπτωση και κατ'επέκταση με την υγρασία του εδάφους, δηλ. άθροισμα αριθμού ξηρών ημερών, κοροπλήρωμα και αθροιστική βροχόπτωση. Στον τρίτο παράγοντα συμμετέχει κυρίως η απόδοση και σποραδικά άλλοι δείκτες.

Συμπερασματικά, όσον αφορά το νομό Λάρισας, μπορεί να επισημανθεί ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην ερμηνεία της ολικής παραλλακτικότητας των δεδομένων εμφανίζουν οι δείκτες που έχουν σχέση με τη θερμοκρασία καθόσον αυτή αποτελεί βασικό περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη του φυτού.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Charles-Edwards, D.A., 1984. Physiological determinants of crop growth. Academic Press.
2. Καράταγλης, Σ.Σ., 1992. Φυσιολογία Φυτών. ΑΠΘ.
3. Robertson, G. W., 1983. Weather – Based Mathematical Models for Estimating Development and Ripening of Crops. Technical Note No.180, WMO –No 620, Geneva Switzerland .
4. Rosenberg, N. J., Blad, B.L., and Verma. S.B., 1983. Microclimate: The Biological Environment.
5. Salter, P. J. and Goodie, J.E., 1967. Crop response to water at different stages of growth C.A.B..
6. Bussay, A. and Szinell, C., 1996. A simple model for estimating the yield of potato. *Proc. of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*. N. R. Dalezios (ed.). Volos, Greece, 383-388.
7. Dalezios, N.R. and Zarpas, C.D., 1996. The Role of NDVI and meteorological indices in the phenology of cotton, vineyards and apples in Greece. *Proc. of the*



- International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*, N. R. Dalezios (ed.), Volos, Greece, 185-190.
8. Faivre, R., Goffinet, B. and Wallash, D., 1979. Utilisation de donnees intermediaires pour corriger la prediction de modeles mecanistes. *Biometrics* 47 (1), 1-12.
  9. Getsios, A. C., Papathanasiou, G. and Galanopoulou, S., 1996. Use of cotton growth simulator-GOSSYM-to evaluate leaf area development as affected by seasonal accumulation of heat units. *Proc. of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*, N. R. Dalezios (ed.), Volos, Greece, 359-364.
  10. Kapetanaki, G. and Toullos, L., 1996. Impacts of climate change on maize and wheat in Central Greece A simulation study with CERES-MAIZE and CERES-WHEAT. *Proc. of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*, N. R. Dalezios (ed.), Volos, Greece, 365-370.
  11. Monteith, J.L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 281.
  12. Penning de Vries F.W.T., Jansen, D.M. and Bakena A., 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Simulation monographs 29, Pudoc Wageningen.
  13. Penning de Vries F.W.T. and Van Laar H.H., 1982. Simulation of Plant Growth and crop production. Pudoc Wageningen.
  14. Singh, U., Richie, J.T., and Thornton, P.K., 1991. CERES-CEREAL model for wheat, maize, sorghum barley and pearl millet. *Agronomy Abstract*.
  15. Wittich, K. P., 1996. Apple scab-potentials and limitations of operational infection forecasts in Germany, *Proc. of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*, N. R. Dalezios (ed.), Volos, Greece, 229-234.
  16. Zorba, P., 1996. Agrometeorological forecasting of wheat productivity. *Proc. of International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*, N. R. Dalezios (ed.), Volos, Greece, 418-423.
  17. Dalezios, N.R. and Stamatopoulou, I., 1996. The significance of meteorological indices in the phenology of maize in central Greece. *Proc. of the International Symposium on Applied Agrometeorology and Agroclimatology*, N. R. Dalezios (ed.), Volos, Greece, 411-417.
  18. Dalezios, N.R. and Papamanolis, N.K., 1990. Objective assessment of instability indices for operational hail forecasting in Greece. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 45, 87-100.
  19. Davies, C.J., 1973. Statistical and data analysis in geology, Toronto, Canada.
  20. Angstrom, A., 1936. A coefficient of humidity of general applicability. *Geograf. Ann.*, 18.
  21. Glenday, A. C., 1955. The mathematical separation of plant and weather effects in field growly studies. *Australian J.Agr. Research*, 6.
  22. Nuttonson, M. Y., 1955. Wheat-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of wheat. *Am.Inst.Crop.Ecol.*
  23. Wang, J. Y., 1973. Methods of Agrometeorology.
  24. Wang, J. Y., 1967. Agricultural Meteorology.
  25. Wang, J. Y., 1962. Methods of crop-response studies (emphasis on thermal effects. *Agron. J.*, 54(5).

## ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΝΘΙΚΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΜΒΡΑΚΙΚΟ ΚΟΛΠΟ

<sup>1</sup>Μπόγδανος Κ., <sup>2</sup>Λεμπέσης Γ., <sup>2</sup>Ψόχιου Ε., <sup>2</sup>Μπράμπα Δ., <sup>2</sup>Θεοδώρου Ι.Α.,  
<sup>1</sup>Μπαλόπουλος Ε.

<sup>1</sup>Εθνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, Αγ. Κοσμάς, Ελληνικό, Αθήνα  
<sup>2</sup>Εργαστήριο Ωκεανογραφίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίον Άρεως, Βόλος

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του Αμβρακικού Κόλπου. Οι εποχιακές κατανομές του βένθους έδειξαν κυριαρχία των πολυχαίτων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους καθώς και μεγάλο αριθμό ατόμων το καλοκαίρι, ενώ οι οικολογικοί δείκτες παρουσίασαν ως λιγότερο οικολογικά διαταραγμένη την περιοχή, που ορίζεται από τον Όρμο της Πρέβεζας και τις εκβολές του Λούρου ποταμού. Σ' όλη τη διάρκεια του έτους το Ιόνιο πέλαγος είχε μεγαλύτερο αριθμό ατόμων από τους σταθμούς του Κόλπου.

### TIME-SPACE VARIATIONS OF AMVRAKIKOS GULF BENTHIC ECOSYSTEM

<sup>1</sup>Bogdanos K., <sup>2</sup>Lebesis G., <sup>2</sup>Psochiou E., <sup>2</sup>Braba D., <sup>2</sup>Theodorou A.J., <sup>1</sup>Balopoulos E.

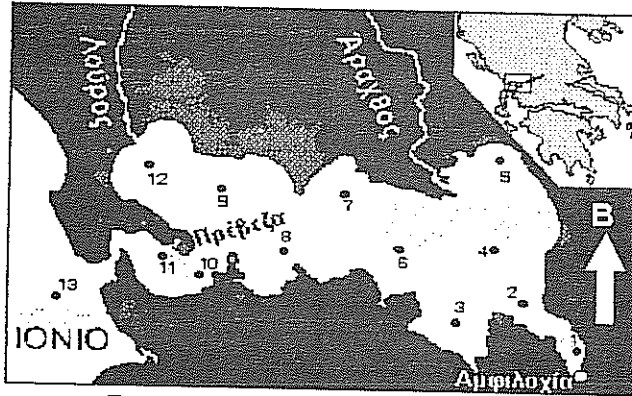
<sup>1</sup>National Center for Marine Research, Ag. Kosmas, Elliniko, Athens  
<sup>2</sup>Laboratory of Oceanography, Departure of Agriculture Land and Animal Production,  
University of Thessaly, Pedion Areos, Bolos

### ABSTRACT

This work presents an assessment of the ecological state of Amvrakikos Gulf. Polychaeta dominate the benthic populations at all seasons. The greatest number of individuals occurs in summer. The ecological indices indicate Preveza's inlet and Louros' estuary as the less ecologically imbalanced areas. During all year Ionian Sea has greater number of individuals than Amvrakikos.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Αμβρακικός κόλπος (Σχ.1) είναι μια ημίκλειστη θαλάσσια περιοχή της Δυτικής Ελλάδας με επιφάνεια 408 km<sup>2</sup> και μέγιστο βάθος περίπου 60m, που επικοινωνεί με το Ιόνιο πέλαγος μέσω ενός στενού διαύλου πλάτους μόλις 600m και βάθους μικρότερου των 10m. Στον Αμβρακικό κόλπο εκβάλλουν οι ποταμοί Λούρος και Άραχθος καθώς και πολλοί χείμαρροι, ενώ ο κόλπος χαρακτηρίζεται από την έντονη παρουσία λιμνοθαλασσών. Στην περιοχή του Αμβρακικού αναπαράγονται και διαβιούν πολλοί θαλάσσιοι και μη οργανισμοί. Ο κόλπος είναι αποδέκτης λυμάτων και απορροών από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, που λαμβάνουν χώρα περιμετρικά του (γεωργία, κτηνοτροφία, ύδατοκαλλιέργειες).



Σχ.1. Δίκτυο σταθμών δειγματοληψίας

Σχετικά λίγες εργασίες αναφέρονται στο οικοσύστημα του Αμβρακικού κόλπου [1], [2], [3]. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των χωροχρονικών διακυμάνσεων του βενθικού οικοσυστήματος του Αμβρακικού και η εκτίμηση της οικολογικής του κατάστασης.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

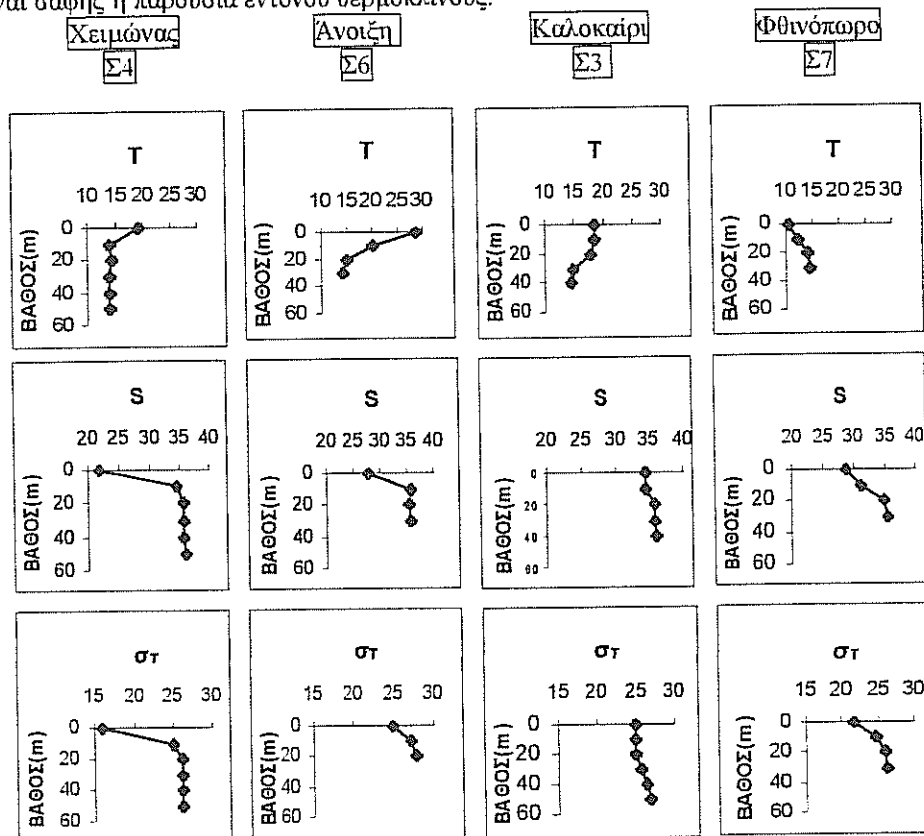
Δειγματοληψίες φυσικοχημικών παραμέτρων και βένθους έγιναν σε δίκτυο 12 σταθμών στον Αμβρακικό κόλπο και σε έναν σταθμό αναφοράς, στην είσοδο του κόλπου στο Ιόνιο Πέλαγος (Σχ.1), τον Φεβρουάριο, Μάιο, Ιούλιο και Νοέμβριο του 1987. Τα βάθη των σταθμών κυμαίνονται από 18 έως 25 m. Για τη συλλογή των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε δειγματολήπτης Van Veen 0.2m<sup>2</sup>. Τα δείγματα βένθους κοσκινίστηκαν εν πλώ, σε κόσκινο 1mm, με θαλάσσιο νερό. Οι οργανισμοί τοποθετήθηκαν σε πλαστικά δοχεία με διάλυμα φορμαλδεύδης 5%. Υπολογίστηκαν οι δείκτες ανομοιότητας (Bray-Curtis) με βάση την ποιοτική σύσταση του βένθους και σχεδιάστηκαν δενδρογράμματα με το στατιστικό πακέτο SYSTAT.

## 3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 3.1 Υδρογραφικά χαρακτηριστικά

Θερμοκρασία: Η εποχιακή και κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στους σταθμούς 4, 6, 3, 7 παρουσιάζεται στο Σχήμα 2α. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται

μεταξύ 14°C σε βάθος 40m το φθινόπωρο και 30°C στην επιφάνεια το θέρος, οπότε είναι σαφής η παρουσία έντονου θερμοκλινούς.



Σχ.2 Εποχιακές κατακόρυφες κατανομές θερμοκρασίας T (°C), αλατότητας S (psu), πυκνότητας ( $\sigma_t$ ) στους σταθμούς 4, 6, 3 και 7.

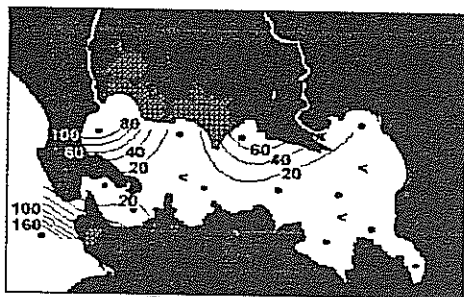
**Αλατότητα:** Λόγω της δράσης των ποταμών Λούρου και Άραχθου οι επιφανειακές τιμές της αλατότητας είναι χαμηλές και δημιουργείται έντονο αλοκλινές (Σχ.2β) [1]. Επίσης η αλατότητα του Αμβρακικού είναι μικρότερη του Ιονίου δεδομένου ότι ο κόλπος λειτουργεί ως τυπική λεκάνη αραιώσεως [3].

**Πυκνότητα:** Η εποχιακή και κατακόρυφη κατανομή της πυκνότητας (Σχ.2γ) καθιστά εμφανή την παρουσία ισχυρού θερινού πυκνοκλινούς. Η στρωμάτωση διατηρείται, μολονότι εξασθενημένη, καθ' όλο το έτος, λόγω της παρουσίας του αλοκλινούς.

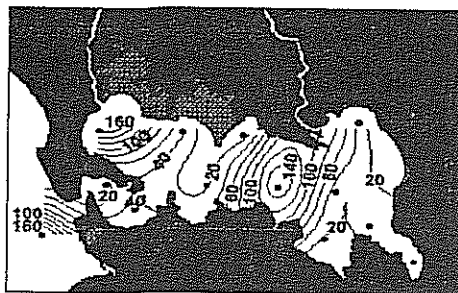
### 3.2 Βένθος

**Πυκνότητα πληθυσμών και αωθονία ειδών.** Ο συνολικός αριθμός των ατόμων του βένθους (Σχ.3) έχει μέγιστη τιμή τον Ιούλιο (1843 άτομα/m<sup>2</sup>), οπότε εμφανίζεται αυξημένος στον Όρμο της Πρέβεζας, στις εκβολές του Λούρου και στους σταθμούς 7 και 8 του κεντρικού κόλπου, ενώ ελάχιστη έχει τον χειμώνα (461 άτομα/m<sup>2</sup>), με ιδιαίτερα υψηλή τιμή στις εκβολές του Λούρου. Από τη γεωγραφική και εποχιακή κατανομή του αριθμού των βενθικών ατόμων και ειδών (Σχ.4) είναι φανερή η έλλειψη ποικιλίας στο βένθος του Αμβρακικού σε σύγκριση με τον σταθμό αναφοράς του

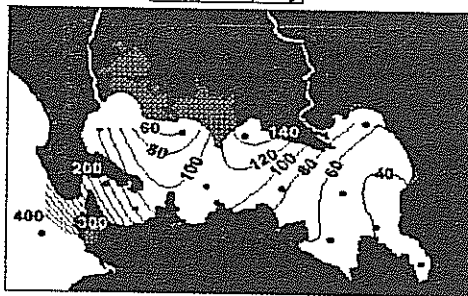
Ιονίου. Επίσης είναι σαφής η τάση αύξησης του αριθμού των ειδών και των ατόμων από τον ανατολικό Αμβρακικό (σταθμοί 1 έως 7) προς το δυτικό (σταθμοί 8 έως 12).



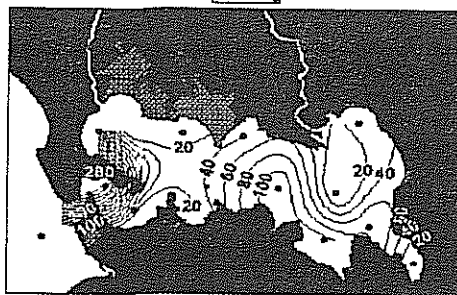
Φεβρουάριος



Μάιος

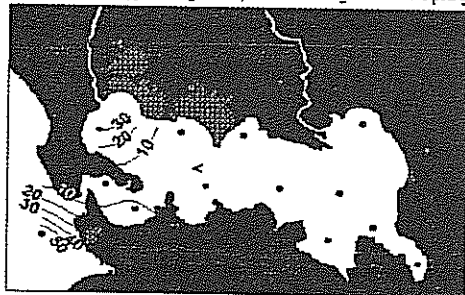


Ιούλιος

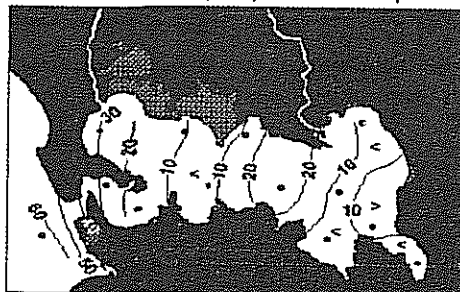


Νοέμβριος

Σχ.3 Εποχιακές επιφανειακές κατανομές του συνολικού αριθμού βενθικών ατόμων



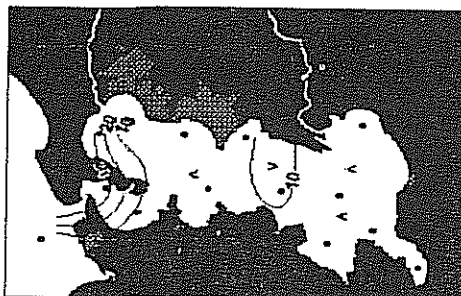
Φεβρουάριος



Μάιος



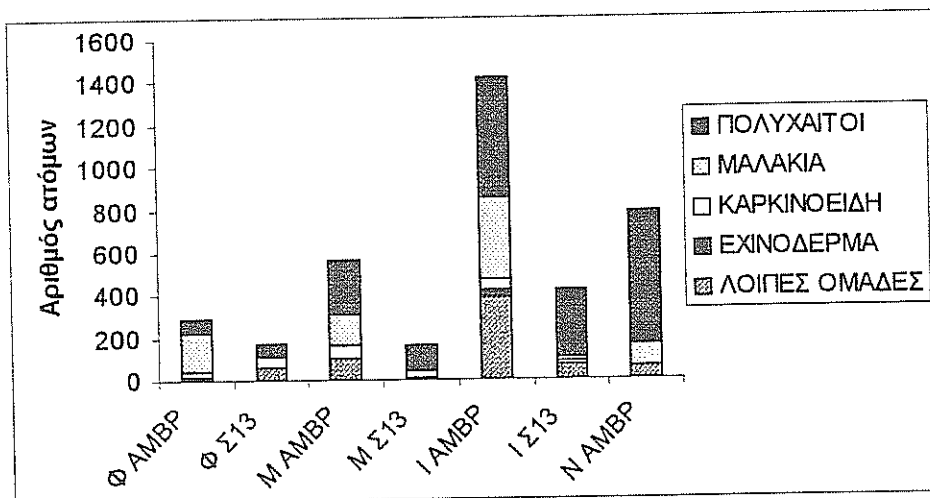
Ιούλιος



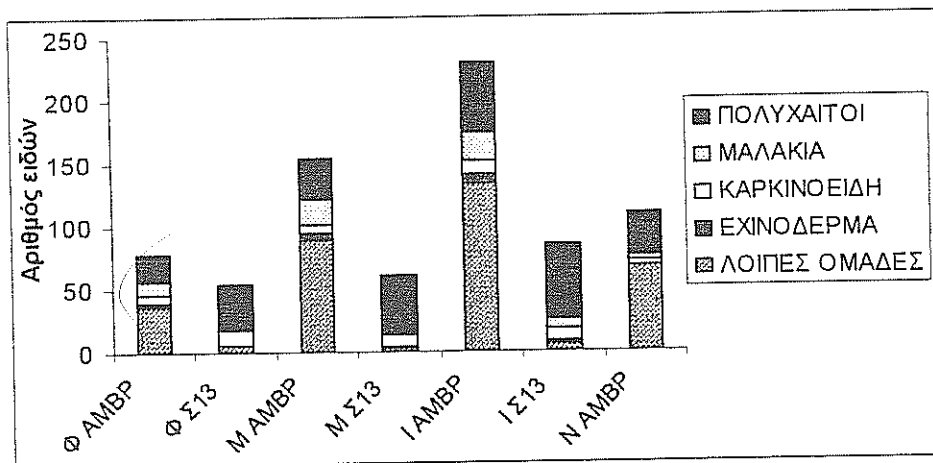
Νοέμβριος

Σχ.4 Εποχιακές επιφανειακές κατανομές συνολικού αριθμού βενθικών ειδών.

Χαρακτηριστικά βενθικής βιοκοινότητας. Κυρίαρχη βενθική ομάδα είναι οι πολύχαιτοι (Σχ.5), των οποίων οι χωροχρονικές διακυμάνσεις είναι παρόμοιες εκείνων του συνολικού αριθμού ατόμων (Σχ.3). Όλο το χρόνο το ποσοστό των ατόμων τους είναι >50% στον όρμο της Αμφιλοχίας και τους σταθμούς 3 και 4 του ανατολικού κόλπου, ενώ το ποσοστό των ειδών τους είναι υψηλό σ' όλους τους σταθμούς (Σχ.6). Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, εκτός από τον Νοέμβριο ο σταθμός αναφοράς έχει περισσότερα άτομα πολυχαιτών από τους σταθμούς του κόλπου (Σχ.5), ενώ τον Μάιο και τον Ιούνιο το ποσοστό των ατόμων τους ξεπερνά το 75% και το ποσοστό των ειδών τους το 72%.



Σχ.5. Σύγκριση του αριθμού των ατόμων των βενθικών ομάδων του Αμβρακικού (AMBP) με τον σταθμό του Ιονίου (Σ13) τον Φεβρουάριο (Φ), Μάιο (Μ), Ιούλιο (Ι) και Νοέμβριο (Ν).



Σχ.6. Σύγκριση του αριθμού των ειδών των βενθικών ομάδων του Αμβρακικού (AMBP) με τον σταθμό του Ιονίου (Σ13) τον Φεβρουάριο (Φ), Μάιο (Μ), Ιούλιο (Ι) και Νοέμβριο (Ν).

Η κυριαρχία των πολυχαιτών, που ακολουθούνται από τα μαλάκια παρουσιάζεται και σε άλλους κόλπους της Ελλάδας, οι οποίοι δέχονται λύματα και απορροές από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως ο Σαρωνικός [4] και ο Παγασητικός [5]. Τα μαλάκια παρουσιάζουν μέγιστο αριθμό ατόμων το καλοκαίρι (393 άτομα/m<sup>2</sup>) και ελάχιστο το φθινόπωρο (95 άτομα/m<sup>2</sup>), ενώ το ποσοστό των ατόμων τους εμφανίζεται αυξημένο τον χειμώνα (Σχ.5) και το ποσοστό των ειδών τους (Σχ.6) είναι χαμηλό όλο το χρόνο. Ο σταθμός 5 στον ανατολικό κόλπο όλες τις εποχές έχει ποσοστό ατόμων μαλακίων >64%. Στον σταθμό του Ιονίου μαλάκια βρέθηκαν μόνο τον Ιούλιο (12 άτομα/m<sup>2</sup>). Τα καρκινοειδή όλες τις εποχές παρουσιάζονται αυξημένα στις εκβολές του Λούρου, ενώ τον Νοέμβριο στον Αμβρακικό μετρήθηκαν μόνο 4 άτομα αυτών. Σε όλη τη διάρκεια του έτους ο σταθμός αναφοράς έχει μεγαλύτερο αριθμό ατόμων καρκινοειδών από τους σταθμούς του κόλπου, εκτός από τον Νοέμβριο (Σχ.5). Οι ομάδες των σπόγγων, των εχινοδέρμων, των ανθόζωων, των νημερτίνων, των ολιγόχαιτων, των φωρομοειδών αντιπροσωπεύονται από λίγα άτομα ορισμένες εποχές του χρόνου, ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα σιπουνκουλοειδή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, εκτός από τον Νοέμβριο συναντώνται μόνο στον σταθμό του Ιονίου.

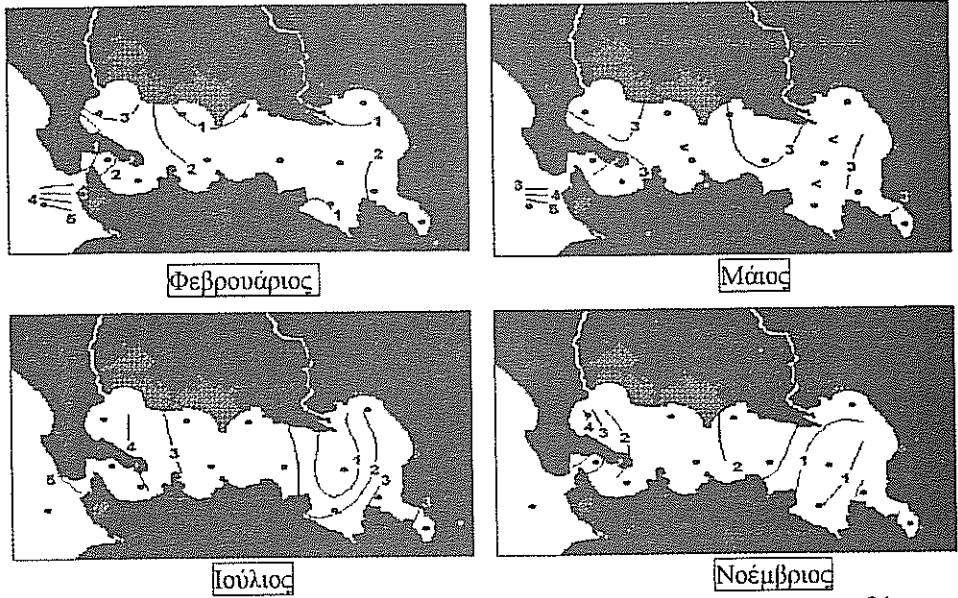
Μεταξύ των ειδών το *Corbulla gibba* (Olivi) παρουσιάζεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις όλο το χρόνο, όπως επίσης έχει παρατηρηθεί στον Σαρωνικό [4], στον Παγασητικό Κόλπο [5], αλλά και στον Αμβρακικό [2]. Εκτός από τον χειμώνα μεγάλες συγκεντρώσεις παρουσιάζει και το *Hydroides norvegica*, ενώ το *Anobothrus gracilis* έχει ιδιαίτερα μεγάλες τιμές το φθινόπωρο (228/m<sup>2</sup> άτομα).

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	<i>Corbulla gibba</i>
ΜΑΙΟΣ	<i>Corbulla gibba</i> <i>Hydroides norvegica</i>
ΙΟΥΛΙΟΣ	<i>Corbulla gibba</i> <i>Anobothrus gracilis</i> <i>Cingula sp</i> <i>Hydroides norvegica</i>
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	<i>Anobothrus gracilis</i> <i>Hydroides norvegica</i>

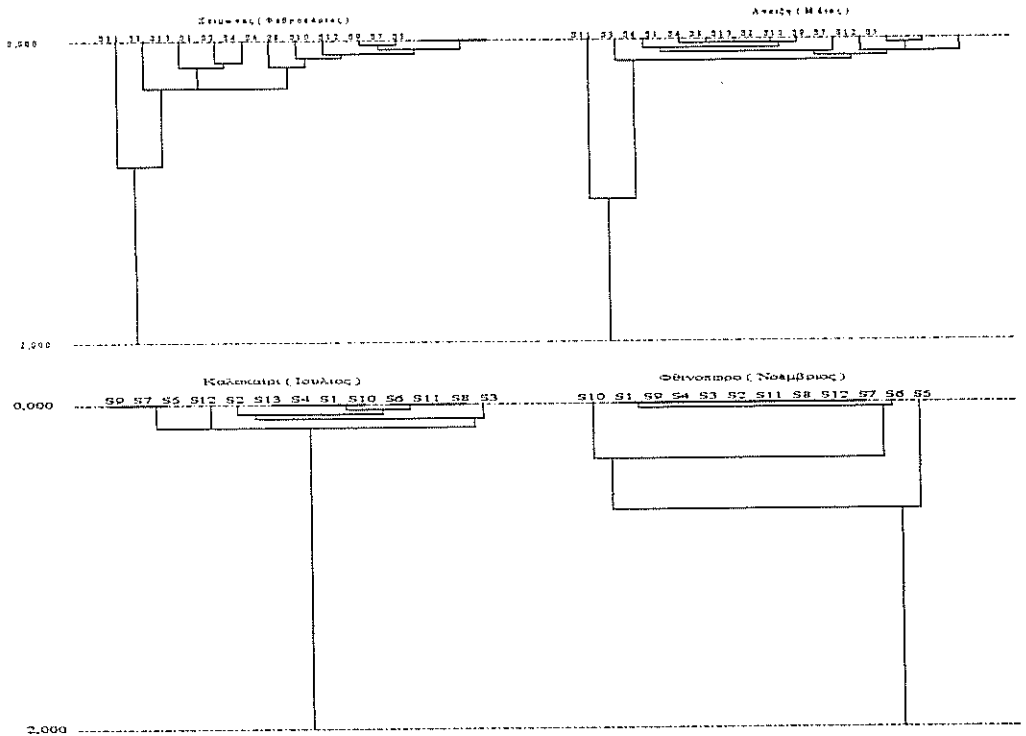
Πιν.1 Κυριότερα βενθικά είδη.

Ο δείκτης ποικιλότητας H' των Shannon-Weaver (1963) (Σχ.7) εμφανίζει σε όλη τη διάρκεια του έτους μεγάλες τιμές στον Όρμο της Πρέβεζας και τις εκβολές του Λούρου (>3). Ο ίδιος δείκτης στον σταθμό του Ιονίου εμφανίζει τιμές πάνω από 5,0, εκτός από τον Νοέμβριο. Τον Μάιο σ' όλο τον κόλπο ο δείκτης έχει τιμές πάνω από 2,15. Παρόμοια υψηλές τιμές του δείκτη αυτού έχουν παρατηρηθεί και στον Παγασητικό κόλπο (> 4) [5].

Από τα δενδρογράμματα (Σχ.8) προκύπτει ότι τον χειμώνα ο σταθμός 11, στον Όρμο της Πρέβεζας διαφέρει σημαντικά από τους υπόλοιπους σταθμούς του κόλπου, ενώ το ίδιο συμβαίνει και την άνοιξη ακόμα πιο έντονα. Το καλοκαίρι οι σταθμοί 5, 7, 9 συγκροτούν μια επιμέρους περιοχή, που μαζί με τον σταθμό 12 διαφέρει από τον υπόλοιπο κόλπο. Το φθινόπωρο ο σταθμός 5 του ανατολικού Αμβρακικού διαφοροποιείται έντονα από τους άλλους σταθμούς, ενώ ιδιαίτερα διαφοροποιημένος εμφανίζεται και ο σταθμός 10 στον Όρμο της Πρέβεζας.



Σχ.7 Γεωγραφική και εποχιακή κατανομή του δείκτη ποικιλότητας των ειδών των Shannon-Weaver.



Σχ.8 Δενδρογράμματα ανομοιότητας των σταθμών μελέτης του Αμβρακικού κόλπου



Από τα δενδρογράμματα (Σχ.8) προκύπτει ότι τον χειμώνα ο σταθμός 11, στον Όρμο της Πρέβεζας διαφέρει σημαντικά από τους υπόλοιπους σταθμούς του κόλπου, ενώ το ίδιο συμβαίνει και την άνοιξη ακόμα πιο έντονα. Το καλοκαίρι οι σταθμοί 5, 7, 9 συγκροτούν μια επιμέρους περιοχή, που μαζί με τον 12 διαφέρει από τον υπόλοιπο κόλπο. Το φθινόπωρο ο σταθμός 5 του ανατολικού Αμβρακικού διαφοροποιείται έντονα από τους άλλους σταθμούς, ενώ ιδιαίτερα διαφοροποιημένος εμφανίζεται και ο 10 στον Όρμο της Πρέβεζας.

Η ποικιλότητα και τα βενθικά είδη διαφέρουν ανάμεσα στους σταθμούς του κόλπου, λόγω των διαφορετικών ζημάτων [2]. Επίσης από τις ανατολικά προς τα δυτικά του Αμβρακικού παρατηρείται αύξηση του συνολικού αριθμού των ατόμων και των ειδών με μέγιστα στον Όρμο της Πρέβεζας και στις εκβολές του Λούρου, οι οποίες είναι οι πλέον εύτροφες περιοχές.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το βένθος του Αμβρακικού κόλπου είναι εντυπωσιακά φτωχό τόσο σε ποικιλία ειδών, όσο και σε βιομάζα. Αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο στο ανατολικό τμήμα του κόλπου (Όρμος Αμφιλοχίας, σταθμοί 1 και 4), όπου ο αριθμός των ειδών ανά δειγματοληψία δεν ξεπερνά τα δέκα, ανεξάρτητα από την εποχή δειγματοληψίας. Στις άλλες περιοχές φαίνεται να υπάρχει μια περίοδος δυσμενής για τους βενθικούς οργανισμούς, που συμπίπτει με την περίοδο μεγάλης παροχής των ποταμών, ενώ το θέρος παρατηρείται βελτίωση. Οι σταθμοί που επηρεάζονται από τα λύματα της Πρέβεζας (σταθμοί 10 και 11) δεν χαρακτηρίζονται από φτωχότερο βένθος σε σχέση με τους άλλους σταθμούς, λόγω πιθανόν της καλύτερης ανανέωσης των νερών εκεί. Η μελέτη του βένθους στον Αμβρακικό κόλπο έδειξε ότι αυτός παρουσιάζει μια γενική και ποσοτική υποβάθμιση, η οποία οφείλεται πιθανόν στην έλλειψη ανανέωσης των νερών του και στον αυξανόμενο ευτροφισμό. Ωστόσο, σε αντίθεση με τον κόλπο της Ελευσίνας ή τον Θερμαϊκό στον Αμβρακικό η κρίσιμη περίοδος για το βένθος δεν είναι το θέρος αλλά φαίνεται να συμπίπτει με την περίοδο της μεγάλης παροχής των ποταμών Λούρου και Αραχθού.

#### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. FRILIGOS, N., KOUSSOURIS, T., 1977: Preliminary chemical, physical and biological observations in Amvrakikos Gulf (April 1974) *Thalassia Jugosl.*, vol. 13(1/2):53-58.
2. NICOLAIDOU, A., MORAITOU-APOSTOLOPOULOU, M., IGNATIADES L., 1983: A survey of estuarine benthic, zooplanktonic and phytoplanktonic communities of Amvrakikos Gulf, Ionian Sea. P.S.Z.N.I.: *Marine Ecology*, vol. 4: 197-209.
3. PANAYOTIDIS, P., PANCUCCI, M.A., BALOPOULOS, E., GOTSI-SKRETA, O., 1994: Plankton distribution patterns in a Mediterranean dilution basin: Amvrakikos Gulf. P.S.Z.N.I.: *Marine ecology*, vol. 15(2):93-104.
4. THEODOROU A.J., 1992: Ecological consequences of untreated wastewater discharge in the Saronikos Gulf, Greece. *Wat. Sci. Tech.* vol. 25(9): 115-124.
5. THEODOROU A.J., 1995: Ecological monitoring studies for Volos sea outfall (Pagassitikos Gulf, Western Aegean Sea). *Wat. Sci. Tech.* vol. 32(2): 273-280.

**ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΤΗ  
ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ - Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ  
ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.**

**Θ. Μιμίδης, Σ. Κουτσομήτρος, Δ. Σταυρόπουλος**

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
ΤΗΛ.: 5294072, 5294082, FAX: 5294081 e-mail: lhyd2mit@aua.gr

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο κύκλος παραγωγής, αποθήκευσης διακίνησης και πώλησης πετρελαιοειδών παρουσιάζει απώλειες προϊόντος προς το περιβάλλον σε όλες τις φάσεις του. Οι απώλειες από τα πρατήρια βενζίνης έχουν σημειακό χαρακτήρα και μικρό μέγεθος ανά σταθμό. Συγκεντρωτικά τα μεγέθη δεν είναι αμελητέα. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης, για τον αριθμό των πρατηρίων καύσιμων στην Ελλάδα, οι απώλειες ανέρχονται σε 291.000 m<sup>3</sup> /έτος. Αυτή η ποσότητα ρυπαίνει τα υπόγεια εδάφη γύρω από τη δεξαμενή και σε μεγάλο ποσοστό καταλήγει σε υδρολιθολογικούς σχηματισμούς. Η εξυγίανση τέτοιων περιοχών μπορεί να επιτευχθεί γρήγορα και ανέξοδα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των οριζόντιων γεωτρήσεων η οποία επιτρέπει στο πρατήριο καύσιμων να λειτουργεί ενώ γίνονται οι εργασίες αποκατάστασης.

**THE PROBLEM OF POLLUTION OF THE SUBSURFACE AND  
HYDROLITHOLOGICAL FORMATIONS FROM PETROL  
DISTRIBUTION.- THE ROLE OF HORIZONTAL DRILLING.**

**Mimides T., Koutsomitros S., Stavropoulos D.**

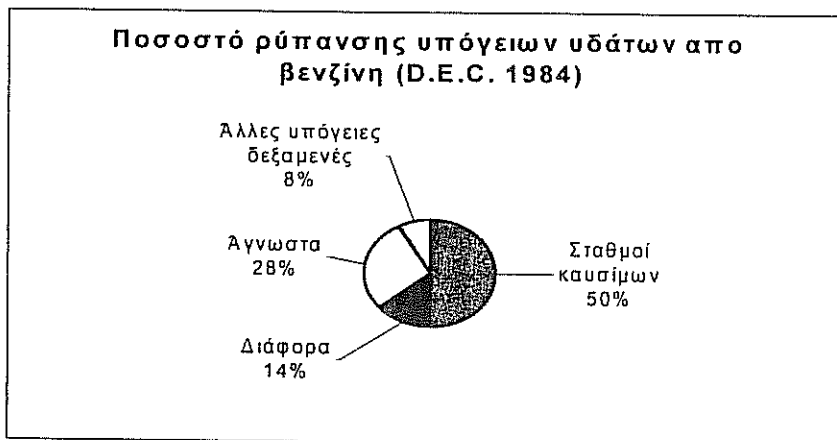
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS  
Tel: 5294072, 5294082, Fax: 5294081 e-mail: lhyd2mit@aua.gr

**ABSTRACT**

The cycle of production, storage, distribution and selling of oil products presents losses of product to the environment in all phases. Losses from petrol stations are point sources of small amount per station. The accumulation, though is considerable. With reference to the data from the ministry of development in greece about the number of petrol stations losses rise to 291.000 m<sup>3</sup> /year. This quantity pollutes subsurface soils round the location of the station and a considerable amount ends up in hydrolithological formations. Restoration of such locations may be carried out efficiently and with low cost utilising horizontal drilling which allows the petrol station owner to operate while undergoing the restoration process.

# 1. BENZINΑΔΙΚΑ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΩΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ

Ο κύκλος παραγωγής, αποθήκευσης, διακίνησης και πώλησης πετρελαιοειδών παρουσιάζει απώλειες προς το περιβάλλον σε όλα τα στάδια του. Ενώ οι απώλειες των εγκαταστάσεων των διυλιστηρίων προς το υπέδαφος, καθώς και οι απώλειες κατά τη ασφαλή θαλάσσια και επίγεια μεταφορά έχουν απασχολήσει ιδιαίτερος την έρευνα, οι απώλειες από τα πρατήρια βενζίνης, δεν έχουν ερευνηθεί λόγω του μικρού μεγέθους του



κάθε σταθμού.

Αν όμως αναλογιστεί κανείς το σύνολο των πρατηρίων και τις ποσότητες πετρελαιοειδών που διακινούνται, το πρόβλημα λαμβάνει τις πραγματικές του διαστάσεις. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης, Έρευνας και Τεχνολογίας τα πρατήρια καυσίμων στην Ελλάδα είναι πολύ περισσότερα από 7173 και ο αριθμός αυτός αναφέρεται μόνο στα πρατήρια φίρμας και όχι στα ελεύθερα πρατήρια (Καθημερινή 24-08-99. Επιβεβαίωση μέσω τηλεφωνικής επικοινωνίας). Τα πρατήρια αυτά διακινούν κατά μέσο όρο 812 m<sup>3</sup> /έτος, ήτοι συνολικά 5.824.476 m<sup>3</sup>/έτος. Αν γίνει αναφορά στην ηλικία και την ποιότητα των δεξαμενών αποθήκευσης τότε ένας συντελεστής απωλειών 5% είναι συντηρητικός. Απώλειες όμως της τάξης των 291.224 m<sup>3</sup> /έτος θεωρούνται πολύ σημαντικές ποσότητες. Αυτές οι ποσότητες καταλήγουν κατά το μεγαλύτερο μέρος στους υδροφόρους ορίζοντες οι οποίοι τροφοδοτούν με πόσιμο ύδωρ ζωτικές περιοχές του Ελληνικού χώρου, δημιουργώντας έτσι πρόβλημα μεγάλης περιβαλλοντικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων.

## 1.1. Οι απώλειες και τα αίτια αυτών

Δύο είναι οι πηγές απωλειών στους σταθμούς βενζίνης. Οι μικρές διαφυγές κατά τις διαδικασίες πώλησης του καυσίμου και οι συνεχείς απώλειες από τις υπόγειες δεξαμενές. Οι απώλειες από τις δεξαμενές οφείλονται στους εξής παράγοντες:

- ♦ Ατέλειες των υλικών και πλημμελή σχεδίαση και επιλογή των θέσεων εγκατάστασής τους.
- ♦ Ανεπαρκείς διαδικασίες εγκατάστασης (καταστροφή προστατευτικού καλύμματος, χρήση λανθασμένων υλικών γεμίματος, κ.λ.π.).

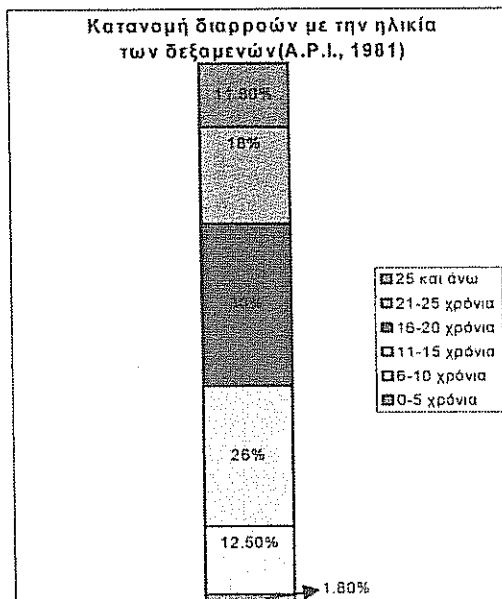
- ◆ Παλαιώση και διάβρωση των υπόγειων δεξαμενών
- ◆ Ανεπαρκής συντήρηση αυτών,
- ◆ Ασυμβατότητα υλικών στερέωσης.
- ◆ Κατασκευαστικές ατέλειες .
- ◆ Κακή χρήση.

Οι νέες τεχνολογίας πλαστικές δεξαμενές δεν εγγυώνται την τέλεια στεγανοποίηση. Η πιο συνηθισμένη αιτία διαρροών είναι η γήρανση των μετάλλων. Ανάλογα με τη διαβρωτική ικανότητα του εδάφους, η διάρκεια ζωής ενός ατσάλινου δοχείου μπορεί να κυμανθεί από 5 έως 50 χρόνια, με μέση τιμή 12 ως 15 χρόνια(DOC,1984).

Εκτός από τις απώλειες στα πρατήρια, μπορεί να υπάρξουν σημαντικές απώλειες τόσο κατά τη διακίνηση όσο και κατά τη διανομή των καυσίμων. Έτσι κάθε σύστημα μεταφοράς και αποθήκευσης καυσίμων πρέπει να διαθέτει μηχανισμούς εντοπισμού και περιορισμού τυχόν απωλειών (Krautkramer & Krautkramer, 1990, Smith, Reynolds and Wadley, 1981). Επίσης κάθε καινούργια εγκατάσταση πρέπει να σχεδιάζεται ορθολογικά ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους (Cairney, 1995).

## 1.2. Δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων

Οι υπέργειες δεξαμενές, ή συνηθέστερα υπόγειες είναι πάντα επιρρεπείς στις διαφυγές. Η κατάλληλη κατασκευή και εγκατάσταση των δεξαμενών αποτελεί σοβαρό έργο για την προστασία του περιβάλλοντος από τυχόν διαρροές. Το πρώτο βήμα για τη μελέτη εγκατάστασης μιας υπόγειας δεξαμενής πρέπει να είναι η εξέταση του εδάφους που θα την περιβάλλει κυρίως όσο αφορά τη διάβρωση των μετάλλων. Το υλικό κατασκευής που θα επιλεγεί θα πρέπει να είναι απρόσβλητο από τη διάβρωση στο συγκεκριμένο πορώδες (Lloyd και Heathcobe, 1985). Η δομική ακαμψία είναι ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί. Ειδικά για αποθήκευση καυσίμων κοντά σε υδροφόρο ορίζοντα καλό είναι να υπάρχει δεξαμενή με διπλά τοιχώματα, εφοδιασμένη με μηχανισμό ελέγχου του ενδιάμεσου κενού χώρου. Μηχανισμοί έλεγχου θα πρέπει να υπάρχουν και για την υπερχειλίση. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η εγκατάσταση της δεξαμενής. Ειδικά για υπόγειες κατασκευές πρέπει να προσεχθεί το γέμισμα της κοιλότητας τοποθέτησης, με εδαφικό υλικό που να προκαλεί ομοιόμορφη πίεση γύρω από τη δεξαμενή. Η ανομοιογένεια του υλικού και τυχούσα παρουσία αιχμηρών χαλκικών μπορεί να δημιουργήσει μικρές σπές στη δεξαμενή. Όταν τα προβλήματα έχουν εντοπιστεί εκ των προτέρων τόσο καλύτερα θεμελιώνονται οι δεξαμενές. Είναι σύνηθες το γεγονός να ανακαινίζεται κάποιο πρατήριο και η παλαιά δεξαμενή όχι μόνο να είναι καταπονημένη αλλά και να φέρει αρκετές διατρήσεις. Το έδαφος γύρω από τη δεξαμενή σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι μαύρο αλλά μπορεί ακόμη και να παρατηρούνται λιμνάζοντα καύσιμα.



Αυτό ασφαλώς αποτελεί πρόβλημα που πρέπει να επιλύεται με την ελάχιστη όχληση. Η αποκατάσταση των εδαφών είναι ζωτικής σημασίας και αν δεν γίνεται εγκαίρως, οδηγεί και στην επιβάρυνση των υπόγειων υδάτων με τους ίδιους ρύπους. Για την ανταπόκριση των διαφόρων κρατών στη ρύπανση των γαιών, για τη νομοθεσία, τα σταθερότυπα και το κόστος αποκατάστασης ανά  $m^2$  εδάφους Cairney(1995).

## 2. ΘΕΩΡΙΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΟΕΙΔΩΝ

### 2.1. Καθοδική κίνηση των DNAPLs στην κορεσμένη ζώνη

Όταν τα DNAPLs κινούνται στην κορεσμένη ζώνη δημιουργείται ένα τριφασικό σύστημα το οποίο αποτελείται από στερεό, ύδωρ και DNAPL. Το DNAPL λειτουργεί σαν ένα μη διαβρέχων υγρό οποίο πρέπει να ξεπεράσει την αντίσταση των τριχοειδών δυνάμεων ώστε να εισχωρήσει μέσα στους πόρους οι οποίοι είναι γεμάτοι με υγρό, στην προκειμένη περίπτωση, ύδωρ. Η τριχοειδής πίεση που πρέπει να υπερνικηθεί ονομάζεται πίεση εισόδου. Για να εισέλθει στον πόρο επαρκής πίεση πρέπει να ασκηθεί από τον συνδυασμό των δυνάμεων πυκνότητας που ασκεί το DNAPL και δυνάμεις πίεσης που ασκούνται στην συνεχή μάζα του DNAPL. Αν η ασκούμενη πίεση είναι μεγαλύτερη από την πίεση εισόδου τότε το DNAPL θα εισέλθει στον πόρο. Όταν η πίεση πάψει να ασκείται η συνεχής μάζα του DNAPL θα διασπαστεί σε αμέτρητα διακεκριμένα σφαιρίδια υπολειμματικού NAPL τα οποία βρίσκονται στους μεγαλύτερους πόρους του υλικού του υδροφόρου στρώματος. Σε αντίθεση με τα ελαφρότερα του ύδατος χημικά, τα DNAPLs θα εξακολουθήσουν να κινούνται κατακόρυφα μέχρι (1) ένα στρωματογραφικό εμπόδιο να συναντηθεί ή (2) η αρχική ποσότητα του DNAPL να εξαντληθεί και η υπολειμματική ποσότητα διαλύεται σε υπολειμματικά σφαιρίδια. Σε ορισμένες περιπτώσεις το DNAPL μπορεί να κινηθεί κατακόρυφα εκατοντάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια.

### 2.2. Κίνηση των NAPL διαμέσου της ακόρεστης ζώνης (Vadose zone)

Η κατεισδυση των NAPL στην ακόρεστη ζώνη δημιουργεί ένα τετραφασικό σύστημα το οποίο αποτελείται από τις φάσεις αέρα, ύδωρ, στερεό, και NAPL (U.S. EPA, 1990). Το ύδωρ στους κόκκους χρησιμεύει σαν υγρό διαβροχής σε σχέση με τον αέρα στον υμένα του ύδατος και σαν υλικό μη διαβροχής σε σχέση με το ύδωρ. Έτσι στην καθοδική τους κίνηση τα NAPL εισδύουν περισσότερο εύκολα σε μέσα που οι πόροι τους είναι γεμάτοι με αέρα, επειδή σαν υλικό μερικής διαβροχής σε αυτό το τετραφασικό σύστημα οι τριχοειδείς δυνάμεις τείνουν να μην αποτρέπουν την κίνηση των NAPL. Εάν υπάρχει αρκετό NAPL τότε εξακολουθεί να κινείται προς τα κάτω σχηματίζοντας (1) υμένες μεταξύ αέριας και υγρής φάσης, και/ ή (2) σταγονίδια από NAPL που αντικαθιστούν τα αέρια από τους πόρους ή το ύδωρ από τους επιμήκεις πόρους (U.S., EPA, 1990). Η τάση ενός συγκεκριμένου χημικού συστατικού σχηματίζει υμένες ή σταγονίδια εξαρτάται από τις φυσικές ή χημικές του ιδιότητες. Αν το αρχικό υλικό σε NAPL, έχει εξαντληθεί, 10% έως 20% του χώρου των πόρων στην ακόρεστη ζώνη θα καταληφθεί από το παραμένον υπολείμμα του NAPL σε μορφή φιλμ ή σταγονιδίων και το υπόλοιπο του χώρου από ένα αέριο μίγμα κυρίως ευρισκόμενου στους μεγάλους πόρους, με το ύδωρ να είναι διεσπαρμένο στην επιφάνεια των κόκκων του εδάφους και να γεμίζει τους μικρότερους πόρους. Ο υπολειμματικός κορεσμός είτε των LNAPLs είτε των DNAPL στην κορεσμένη ζώνη είναι συνήθως υψηλότερη από ότι στην ακόρεστη ζώνη κατά ένα παράγοντα που κυμαίνεται από 2 έως 5. Ο λόγος για την υψηλότερη συγκέντρωση των υπολειμματικών NAPLs αποδίδεται στους παρακάτω παράγοντες (Mercer and Cohen, 1990; E.P.A., 1990):

- Ο λόγος πυκνότητας NAPL-αέρα είναι μεγαλύτερος από τον λόγο πυκνότητας NAPL-ύδατος, ευνοώντας την απορροή κατείσδυση, των NAPLs από την ακόρεστη ζώνη.
- Οι NAPLs είναι το μη διαβρέχων υγρό στην κορεσμένη ζώνη και έτσι παγιδεύονται στους μεγαλύτερους πόρους.

### 2.3. Συμπεριφορά των LNAPLs στην στάθμη του ύδατος.

Η αλληλεπίδραση ύδατος αέρα, NAPLs γίνεται πιο περίπλοκη καθώς τα NAPL προσεγγίζουν την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και την ζώνη υποβασταζόμενου τριχοειδούς. Σε ένα κορεσμένο σύστημα, το ύδωρ είναι το διαβρέχων υγρό και το NAPL είναι το μη διαβρέχων υγρό η κίνηση του οποίου εμποδίζεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις. Η ζώνη του υποβασταζόμενου τριχοειδούς αντιπροσωπεύει την ζώνη μετάβασης από εκεί όπου τα NAPLs λειτουργούν μερικά σαν διαβρέχων υγρό (ακόρεστη ζώνη) έως εκεί όπου είναι μη διαβρέχων υγρό (κορεσμένη ζώνη). Αν η πυκνότητα του NAPL είναι μικρότερη του ύδατος θα συγκεντρωθεί στην επιφάνεια της ζώνης υποβασταζόμενου τριχοειδούς και τελικά θα κινηθεί με μορφή λεπτών υμένων κατά μήκος της στάθμης του ύδατος αφού ένα ελάχιστο πάχος υφίσταται. Αν η ταχύτητα ροής των LNAPL είναι αρκετά μεγάλη, η ζώνη υποβασταζόμενου τριχοειδούς υποβασταζόμενου τριχοειδούς θα καταρρεύσει και τα LNAPL θα επιπλεύσουν στην επιφάνεια της στάθμης του ύδατος. Από την στιγμή που η ποσότητα των LNAPL θα εξαντληθεί, η συνεχής μάζα του LNAPL στην ζώνη υποβασταζόμενου τριχοειδούς θα αρχίσει να σχηματίζει ανεξάρτητα σταγονίδια και υπολειμματικά LNAPLs.

### 2.4. Μεταφορά NAPL μέσα από ρήγματα και ετερογένειες

Το προηγούμενο κεφάλαιο συζητήθηκαν τα παραδοσιακά μοντέλα για την κίνηση άμικτων υγρών μέσα από ένα πορώδες μέσο με την κίνηση μέσω του πρωτογενούς πορώδους του συστήματος, τον ελεύθερο χώρο των πόρων. Πρόσφατα έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε ένα άλλο τρόπο μεταφοράς: μετανάστευση των NAPL μέσα από μικρές κλίμακας ρωγμές και ετερογένειες στα πορώδη μέσα. Στα περισσότερα μέρη τα NAPL μεταναστεύουν κατά προτίμηση μέσα από τα ανοίγματα του δευτερογενούς πορώδους στο σύστημα έδαφος ύδωρ (όπως μεγαλύτερες ρωγμές, διαχωρισμοί, βιοδιαταράξεις, τρύπες από ρίζες, επιφάνειες ολίσθησης, αδρομερείς στρώσεις και άλλα μικροστρωματογραφικά χαρακτηριστικά), χωρίς να κορέσουν τον ελεύθερο όγκο των πόρων κάτω από την επιφάνεια προέλευσης (των NAPL). Γενικά οι ετερογένειες θα έχουν τις παρακάτω επιδράσεις στην κίνηση των NAPL στο υπέδαφος:

- Αύξηση της ζώνης NAPL: Ακόμη και μικρές ποσότητες αργίλου ή ιλύος (ακόμη και 2% κατά βάρος) μπορεί να έχουν σημαντικές επιδράσεις στην μετανάστευση των NAPL με την δημιουργία σύνθετων και διακλαδωτών οδών μετανάστευσης και αυξάνοντας τον όγκο της ζώνης μόλυνσης των NAPL (U.S. EPA, 1990).
- Επιτρέπει βαθύτερη διείσδυση στο υπέδαφος: Η παρουσία ετερογένειας επιτρέπει στα NAPL να εισδύσουν βαθύτερα στο υπέδαφος απ' ό,τι αν θα υποθέταμε τυπικές τιμές υπολειμματικού κορεσμού και ομοιόμορφο κορεσμό στο υδροφόρο στρώμα. Μία ερευνητική μελέτη στην φύση έδειξε ότι ακόμη και με την απόρριψη μικρών ποσοτήτων της τάξης του ενός ή δύο δοχείων μερικοί DNAPLs μπορεί να εισδύσουν δεκάδες ως και εκατοντάδες μέτρα μέσα από την ακόρεστη ζώνη πριν φτάσουν την στάθμη του ύδατος (Poulsen and Kueper, 1991).
- Κάνει τα λεπτόκοκκα αδιαπέραστα στρώματα αναποτελεσματικά στον περιορισμό της ροής των NAPL: Ανυδροφόρα αργιλικά στρώματα μπορούν να περιορίσουν αποτελεσματικά την ροή του υπόγειου ύδατος αλλά δεν είναι αποτελεσματικοί

φραγμοί στην μετανάστευση ορισμένων NAPLs λόγω των ετερογενειών που εντοπίζονται στην μικροκλίμακα. (Waterloo Center for Ground Water Research, 1991).

- Μεταφορά των NAPL στο επίπεδο της θέσης
- Όγκος των NAPL που απελευθερώνονται
- Ιδιότητες του εδαφικού και υδροφόρου στρώματος, όπως μέγεθος πόρων και περατότητα.
- Μικροστρωματογραφικά χαρακτηριστικά, όπως τρύπες από ρίζες, μικρές ρωγμές, επιφάνειες ολίσθησης που απαντώνται σε αργλικές και ιλυώδεις στρώσεις.
- Γενική στρωματογραφία, όπως η τοποθεσία και η στρωματογραφία των μονάδων χαμηλής περατότητας.
- Ιδιότητες των NAPL όπως η ικανότητα διαβροχής, πυκνότητα, ιξώδες, και τάση επιφάνειας επαφής φάσεων.
- Διάρκεια της απόρριψης, όπως ένα στιγμιαίο γεγονός ή μία μακροχρόνια συνεχής απόρριψη.
- Επιφάνεια κατείδυσης στο σημείο εισόδου των NAPL προς το υπέδαφος.

### **3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

Η μέχρι τώρα πρακτική στα πρατήρια πώλησης καυσίμων έχει λιγότερο την έννοια της περιβαλλοντικής αποκατάστασης και περισσότερο την έννοια της εμπορικής αποκατάστασης. Όταν οι παρατηρούμενες απώλειες στις δεξαμενές του πρατηρίου φτάνουν σε σημείο που είναι πλέον ασύμφορο για τη λειτουργία του πρατηρίου ο πρατηριούχος καλεί την εταιρεία για την αποκατάσταση της ζημιάς με αλλαγή της δεξαμενής. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής το πρατήριο κλείνει και γίνεται εκκαφή για την έξοδο της παλαιάς δεξαμενής και την αντικατάστασή της. Εάν εντοπισθούν πετρελαιοειδή κάτω από τη δεξαμενή αυτά πρέπει να απομακρυνθούν και να εξυγιανθεί το έδαφος προτού εγκατασταθεί η νέα δεξαμενή. Αυτό όμως τις περισσότερες φορές δε γίνεται με αποτέλεσμα το περιβάλλον έδαφος και το τυχόν υπόγειο ύδωρ να μην απορρυπαίνονται. Είναι λοιπόν επιτακτική ανάγκη να υιοθετηθεί μια ειδική τεχνολογική μέθοδος κατά την οποία θα εξασφαλίζεται η μέγιστη περιβαλλοντική εξυγίανση του περιβάλλοντος χώρου χωρίς να επιβαρύνεται καθόλου η εμπορική δραστηριότητα του πρατηρίου. Διότι κάθε οικονομική επιβάρυνση αποθαρρύνει και τη σωστή αποκατάσταση. Η προτεινόμενη λύση σ' αυτές τις περιπτώσεις, δοκιμασμένη στις Ην. Πολιτείες, είναι οι οριζόντιες γεωτρήσεις.

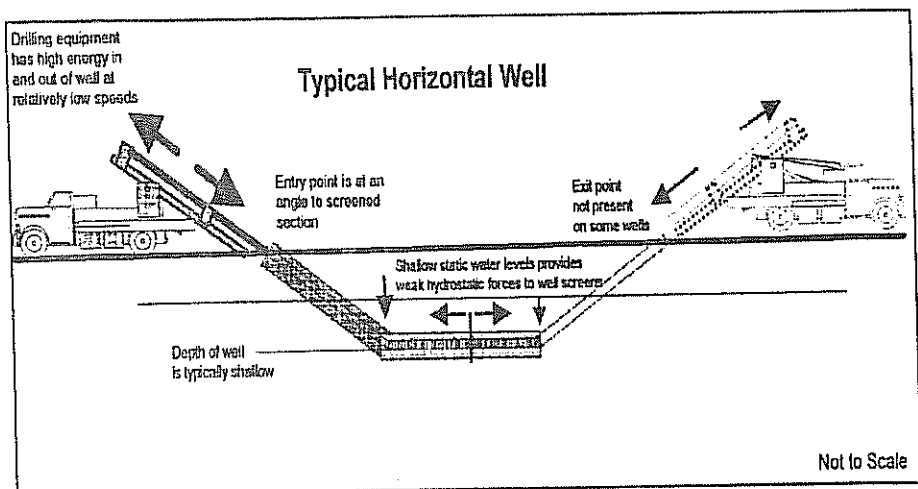
### **4. ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ**

Οι οριζόντιες γεωτρήσεις είναι μια νέα τεχνολογία η οποία κερδίζει συνεχώς έδαφος ειδικά όσο αφορά στην χρήση για περιβαλλοντική αποκατάσταση από τη ρύπανση της ακόρεστης ζώνης. Η ανόρυξη και εγκαθίδρυση οριζόντιων γεωτρήσεων κάτω από βενζινάδικα βοηθά στην ορθολογικότερη εφαρμογή των νέων τεχνικών περιβαλλοντικής αποκατάστασης των ρυπασμένων εδαφών της ακόρεστης ζώνης, όπως είναι το Air Sparging, Bioventing, και το Soil Flushing (Tindall and Kunkel, 1999). Οι οριζόντιες γεωτρήσεις παρέχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις κάθετες.

- Έχουν καλύτερες επιδόσεις ως προς την αποτελεσματικότητα άντλησης προϊόντων επειδή οι απώλειες φορτίου κατά την λειτουργία τους είναι μηδαμινές πράγμα που συνεπάγεται υψηλές ειδικές ικανότητες. Αυτές οφείλονται και στο μεγαλύτερο μήκος φίλτρου, και στη μειωμένη απώλεια πίεσης κατά μήκος του φίλτρου σε σύγκριση με τις κάθετες γεωτρήσεις.
- Επειδή η μεταφορά των ρυπαντικών κηλίδων κατά την κατακόρυφη διεύθυνση περιορίζεται τις περισσότερες φορές λόγω παρεμβολής αδιαπέραστων υδρογεωλογικών στρωμάτων, η μεταφορά αυτή γίνεται κυρίως κατά την οριζόντια διεύθυνση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι οριζόντιες γεωτρήσεις να είναι περισσότερο αποτελεσματικές στην άντληση των πετρελαιοειδών απ' ό,τι οι κατακόρυφες επειδή μεγαλύτερη επιφάνεια των φίλτρων τους έρχεται σε επαφή με το προϊόν.
- Μπορούν να φτάσουν περιοχές οι οποίες διαφορετικά θα ήταν απρόσιτες από την τεχνολογία κάθετης άντλησης, περιοχές όπως μολυσμένους υδρολιθολογικούς σχηματισμούς ευρισκόμενους κάτω από κτίρια, λίμνες, χωματερές, πρατήρια βενζίνης και ρυπαντικές κηλίδες οι οποίες έχουν μεταναστεύσει εκτός περιοχής.
- Παρέχουν τη λιγότερη δυνατή όχληση, καθώς είναι δυνατό να γίνει άντληση κάτω από ένα δρόμο και τα μηχανήματα να βρίσκονται παράπλευρα. Επίσης δεν υπάρχει ανάγκη νέας ασφαλτόστρωσης μειώνοντας το κόστος του έργου κ.λ.π..
- Είναι πολύ γρήγορη διαδικασία αφού μπορούν να τοποθετηθούν εκατοντάδες μέτρων καλωδίων, σωληνώσεων κ.λ.π., σε μία ημέρα. Οι οριζόντιες γεωτρήσεις έχουν εφαρμοσθεί έτσι ώστε να επιτυγχάνουν διάφορους στόχους αποκατάστασης.

Μια περιβαλλοντική μελέτη που έγινε στην Πολιτεία της Γεωργίας των Ην. Πολιτειών (Wilson και Kaback 1993) και αφορούσε έρευνα αποτελεσματικότητας των οριζόντιων γεωτρήσεων απέδειξε ότι:

- 26 οριζόντιες περιβαλλοντικές γεωτρήσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για εξαγωγή υπόγειου ύδατος: 25 οριζόντιες γεωτρήσεις για απομάκρυνση υδρατμών από το πορώδες (Soil Vapour Extraction).
- 55 γεωτρήσεις για άλλους σκοπούς που περιλαμβάνουν εισαγωγή αέρα, βιολογικό αερισμό και ανάκτηση πετρελαίου.



- 27 από τα οριζόντιες γεωτρήσεις τοποθετήθηκαν ως μέρη ολοκληρωμένων συστημάτων αποκατάστασης. Τα συστήματα ολοκληρώνουν την εισαγωγή αέρα, ανάκτηση ελεύθερου προϊόντος ή την εξαγωγή υπόγειου ύδατος.



- 23 οριζόντιες γεωτρήσεις έχουν τοποθετηθεί σε κάθετα βάθη λιγότερα από 8m, 14 γεωτρήσεις σε κάθετα βάθη μεταξύ 8 και 30m, και 9 οριζόντιες γεωτρήσεις σε κάθετα βάθη μεγαλύτερα από 30m. Πάνω από 300 οριζόντιες γεωτρήσεις είχαν τοποθετηθεί μέχρι το τέλος του 1995.

Είδος εργαλείων άντλησης. Τα εργαλεία ή η αντλία είναι δυνατόν να ενοικιασθούν ή να ανήκουν στον γεωτρυπανιστή. Το καθημερινό κόστος ή το κόστος αντικατάστασης για αυτόν τον εξοπλισμό θα αυξηθεί ανάλογα με την πολυπλοκότητα του. Το σύστημα πλοήγησης που χρησιμοποιείται περιορίζει το αντλητικό βάθος σε λιγότερο από 8m. Το σύστημα υγρού και το γεωτρήσιμο περιορίζουν τη μέθοδο σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες. Το μέσο κόστος για οριζόντιες γεωτρήσεις κατασκευασμένες από PVC ή HDPE και τοποθετημένα (χρησιμοποιώντας τη μέθοδο) σε λιγότερο από 8m κάθετο βάθος ανέρχεται σε 60.000 δρχ/μ. Μια πιο πολύπλοκη κατευθυντήρια μέθοδος με μεγαλύτερα τρυπάνια, χρησιμοποιεί μέτρηση επιτάχυνσης στο σύστημα πλοήγησης και καλύτερα υλικά στο τρυπάνι. Αυτή η μέθοδος δεν περιορίζεται από το βάθος ή τις γεωλογικές συνθήκες. το κόστος αυτής της μεθόδου ανέρχεται στα 230.000 δρχ/μ.

#### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Petroleum Institute (API), (1981). "Results of API Tank and Piping Leak Survey." Washington D.C, January 21.
- Cairney T. (1995). *The Re-use of Contaminated Land. A handbook of Risk Assessment.* John Wiley and Sons Inc. New York, 249 pg.
- Department of environmental Conservation (DOC) (1994)., "Siting Manual for Storing Hazardous Substances - A Practical Guide for Local Officials". Division of Water, Bureau of Water Resources, New York State, Albany, 2<sup>nd</sup> Edition, September.
- Department of Environmental Conservation, 1984. "Siting Manual for Storing Hazardous Substances- A practical guide for local officials" 2<sup>nd</sup> ed., Albany.
- Krautkramer J. and H. Krautkramer (1990). "Ultrasonic Testing of Materials". 4<sup>th</sup> edition. Springer-Verlag, Berlin.
- Kueper, B.H and McWorter, D.B, 1991, "The Behaviour of Dense Nonaqueous Liquids in Fractured Clay and Rock", Groundwater 29(5):716-728.
- Lloyd J.W. and J.A. Heathcote (1985). *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. An Introduction.* Clarendon Press; Oxford, pp.296
- Mercer J.W., and Cohen, R.m., 1990, "a Review of Immiscible fluids in the Subsurface: Properties, Models, Characterization and Remediation," J. Cont Hydrology 6: 107-163.
- Poulson M.M and Kueper, B.H., 1991, "A Field Experiment to Study the Behaviour of Tetrachloroethylene in Unsaturated Porous Media," Environ. Sci. Techn. 26(5): 889-895.
- Smith R.L., W.N. Reynolds and H.N.G. Wadley (1981). "Ultrasonic attenuation and micro structure in low-carbon steels". Met. Sci., Vol. 15, pp.554-558.
- Swanson G.J., "Big Horizontal Drilling Job at JFK Takes Teamwork- and an experienced crew", Water Well Journal, 1996., Ground Water Publishing Company.
- Tindall J.A. and J. R. Kunkel (1999). *Unsaturated zone Hydrology for Scientists and Engineers.* Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp.624.
- U.S. EPA (1990), *Subsurface Contamination Reference Guide Office of Emergency and Remedial Response*, EPA/540/2-90/011.
- Waterloo Centre for Ground Water Research, 1991, "Dense Immiscible Phase Liquid Contaminants in Porous and Fractured Media," University of Waterloo Short Course, Kitchener, Ont.
- Wilson, D.D., and D.S. Kaback, 1993. "Industry Survey for Horizontal Wells, final Report." WSRC-TR-93-511. Westinghouse Savannah River company. Aiken S.C.

# ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΑ ΣΤΟΜΙΑ

**I. Δημητρίου**

Ε.Μ. Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολ. Μηχανικών  
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Υδραυλικής  
Οδός Ηρώων Πολυτεχνείου 1, Ζωγράφου 15780, Αθήνα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πειραματική αυτή εργασία ερευνάται η συμπεριφορά των επιφανειακών στρώσεων λυμάτων που προέρχονται από διαχυτήρα εναλλασσόμενων στομιών υπό αρχικές γωνίες εκτόξευσης  $30^\circ$  και  $60^\circ$ . Γίνεται ανάλυση της γεωμετρίας των διευρυνόμενων στρώσεων και διατυπώνονται εξισώσεις για τις διανυόμενες οριζόντιες αποστάσεις και τις ταχύτητες διεύρυνσης.

## SURFACE WASTE LAYERS FROM ALTERNATIVE OPENINGS

**J. Demetriou**

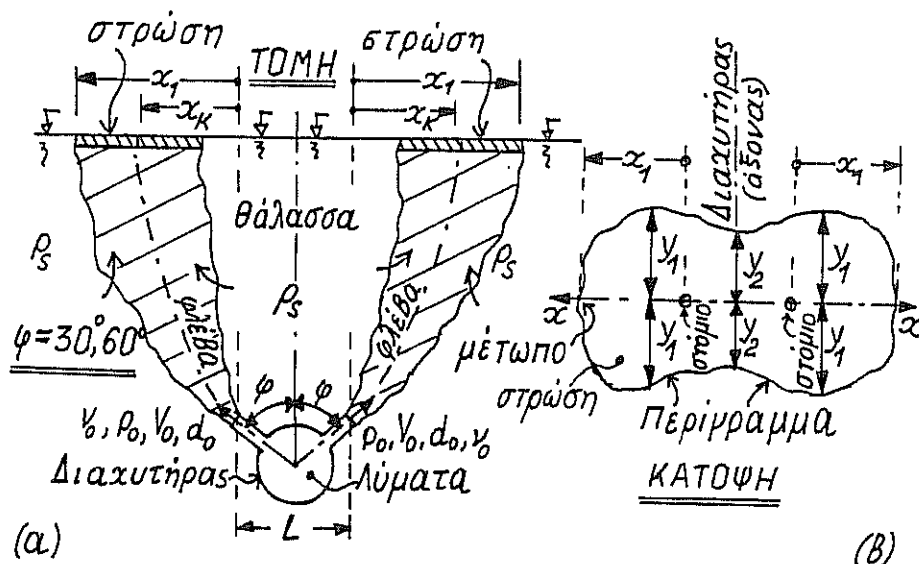
N.T.U. Athens, Dept. of Civil Engineering  
Applied Hydraulics Laboratory  
5 Iroon Polytechniou st, Zografou 15780, Athens

## ABSTRACT

In this experimental work the behavior of surface waste layers ejecting from a diffuser is described, analysed and discussed. The ejection angles are  $30^\circ$  and  $60^\circ$ , the entire geometry is measured and a number of equations are concluded, concerning the horizontal distances traveled by the layers, and corresponding velocities.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ/ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Στο άρθρο αυτό παρουσιάζονται πειραματικές μετρήσεις και ανάλυση αυτών που αφορούν στην αλληλεπίδραση των επιφανειακών στρώσεων λυμάτων (αρχικής πυκνότητας  $\rho_0$ , συνεκτικότητας  $\nu_0$ ) από υποβρύχιο διαχυτήρα (βάθος  $H$  από τη ράχη του) βυθισμένο στην ήρεμη θάλασσα (σταθερής πυκνότητας  $\rho_s > \rho_0$ ) μέσω μόνιμων κυκλικών φλεβών ανάμιξης που εκτοξεύονται κάθετα προς τον διαχυτήρα από εναλλασσόμενα στόμια ( $d_0$ , ίδιες  $V_0$ , υπό κατακόρυφες γωνίες  $30^\circ$  και  $60^\circ$  - Σχ. 1α), τα οποία απέχουν μεταξύ τους οριζόντια απόσταση  $L$  και βρίσκονται πάντα στο ίδιο βάθος (βαθύς αποδέκτης).



Σχήμα 1. Συμβολισμοί

Οι επιφανειακές στρώσεις άνωσης αρχικά έχουν πλάτη  $2y_1$  και είναι πλήρως διαχωρισμένες, μετά όμως από κάποιο χρόνο οι διευρυνόμενες στρώσεις αρχίζουν να συγχωνεύονται, και η μεν διάσταση  $y_1$  εξελίσσεται κατά τρόπο σταθερό (Σχ. 1β), αλλά οι αποστάσεις  $y_2$  (πάνω από τον άξονα του διαχυτήρα) μεταβάλλουν συμπεριφορά. Τα εμπρός (κατά  $x$ ) μέτωπα των στρώσεων απέχουν αποστάσεις  $x_1$  από τα στόμια, τα δε "κέντρα" των στρώσεων απέχουν απόσταση  $x_k$  από τα στόμια. Η ταχύτητα μετατόπισης κάθε εμπρόσθιου μέτωπου κατά  $x$  είναι  $v_1 = dx_1/dt$ , των δε κέντρων,  $v_k = dx_k/dt$ . Οι δύο ταχύτητες δείχνουν με ποιό τρόπο οι επιφανειακές στρώσεις προσεγγίζουν την οιαδήποτε ακτή που είναι κάθετη στον άξονα  $x$ , αλλά και τον χρόνο που απαιτείται γι' αυτή την προσέγγιση.

Οι παράμετροι του προβλήματος είναι (στο στόμιο), ο τροποποιημένος αριθμός Froude  $Fr_0 = V_0 \cdot \{g(\rho_s - \rho_0) \cdot d_0 / \rho_0\}^{-1/2}$ , ο αριθμός Reynolds  $Re_0 = V_0 \cdot d_0 / \nu_0$  που εδώ ήταν πάντα σημαντικός (τυρβώδεις φλέβες-τυρβώδης ανάμιξη), η κινηματική παροχή άνωσης  $Q_{a0} = g \cdot (\rho_s - \rho_0) \cdot Q_0 / \rho_0$ , και η παροχή  $Q_0 = V_0 \cdot \pi \cdot d_0^2 / 4$ .

Οι επιφανειακές στρώσεις λυμάτων έχουν κάποιο πάχος, με το οποίο όμως δεν ασχολείται η εδώ εργασία – αρκούμενη μόνο στην κάτοψη αυτών.

Η λεπτομερής διαμόρφωση της γεωμετρικής μορφής του στομίου εκτόξευσης (γωνία εκτόξευσης) έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι η αρχική διάλυση των ρύπων (μέχρι την επιφάνεια) είναι η σπουδαιότερη φάση της όλης διαδικασίας όπου η αραιώση αυτών είναι μέγιστη, μη συγκρινόμενη με τις μετέπειτα αραιώσεις λόγω άλλων αιτίων –π.χ από ρεύματα.

Οι φλέβες και οι επιφανειακές στρώσεις ήταν εδώ χρωματισμένες και βιντεοσκοπούντο από υπεράνω εξέδρα, έτσι δε με χρήση ειδικού καννάβου και χρονόμετρου, ήταν δυνατόν σε κάθε χρονική στιγμή  $t$  να προσδιορίζονται πλήρως τα εξαπλούμενα περιγράμματα (και τα μέτωπα) των στρώσεων.

Η επεξεργασία των μετώπων γίνεται –βλ. π.χ. [1], [2], [3], - σε αδιάστατους όρους  $A$  (μήκη  $x_1, x_2, y_1, y_2$ ) και  $B$ , με τη μορφή,

$$A = (\text{μήκος}) \cdot Q_{a_0}^{-1/4} \cdot t^{-3/4} - \text{κατακόρυφος άξονας},$$

$$B = (Q_{a_0} \cdot v_0)^{1/2} \cdot (t/Q_0) - \text{οριζόντιος άξονας},$$

σε διπλά λογαριθμικά διαγράμματα, προκύπτουν δε αρκετά συστηματικά αποτελέσματα με αντίστοιχες εξισώσεις.

Από άποψη προηγούμενων εργασιών, ο J. Chen το έτος 1980 ([1]), ήταν ο πρώτος που διέκρινε την συμπεριφορά αυτών των στρώσεων σε δύο επιμέρους κατηγορίες, την αδρανειακή συμπεριφορά (σε μικρούς χρόνους και αποστάσεις εξάπλωσης, όπου η συνεκτικότητα δεν έχει καμιά επιρροή), και την σημαντικότερη συνεκτική συμπεριφορά (σε μεγαλύτερους χρόνους και αποστάσεις εξάπλωσης, όπου συμμετέχει και η συνεκτικότητα).

Λεπτομερή ανάλυση αυτών των σταδίων βρίσκεται και στο βιβλίο του I. Δημητρίου ([3, B']), ενώ σε παλαιότερη εργασία αυτού ([2]) χρησιμοποιήθηκαν πιο συστηματικά οι παραπάνω αδιάστατες παράμετροι  $A$  και  $B$  και έγινε σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων – για στρώσεις από κατακόρυφες φλέβες – με τα αποτελέσματα του Chen, βρέθηκε δε ικανοποιητική σύμπτωση των αποτελεσμάτων αυτών.

Για φλέβες υπό γωνίες  $30^\circ$  και  $60^\circ$  από εναλλασσόμενα (δηλ. εκατέρωθεν του διαχυτήρα) στόμια δεν έχουν γίνει μέχρι τώρα μετρήσεις που να αφορούν τη συμπεριφορά των επιφανειακών στρώσεων – εξόσων τουλάχιστον γνωρίζει ο συγγραφέας – πλὴν των παρουσιαζόμενων εδώ μετρήσεων που έγιναν παλαιότερα στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Υδραυλικής του ΕΜΠ.

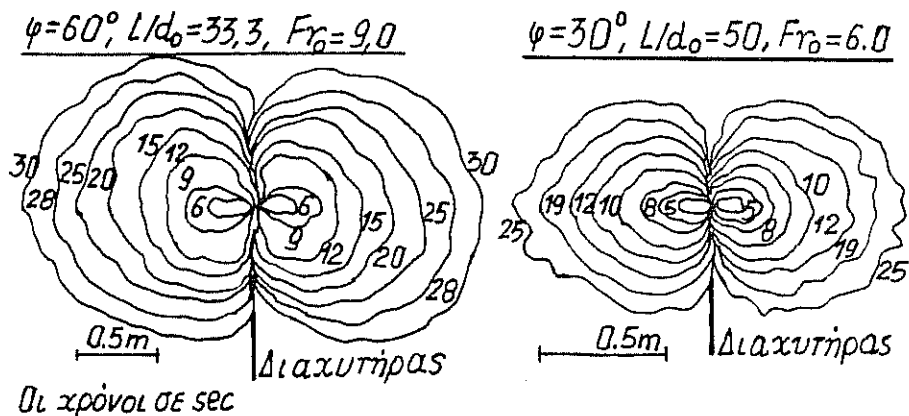
Στην εργασία αυτή παρότι μετρήθηκαν και τα  $y_1, y_2, x_2$ , εντούτοις παρουσιάζονται μόνο οι αποστάσεις  $x_1$  και οι ταχύτητες  $v_1$ .

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ/ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι μετρήσεις έγιναν μέσα σε δεξαμενή με διαστάσεις κάτοψης  $6\text{m} \times 6,5\text{m}$  και με βάθος νερού ( $\rho_2$ ) ίσο προς  $0,4\text{m}$ . Οι παροχές μετριόταν μέσω μανόμετρου, οι θερμοκρασίες (για το  $v_0$ ) με θερμομέτρο ακριβείας, ενώ οι φλέβες ήταν χρωματισμένες με διάλυμα υπερμαγγανικού καλίου, έτσι δε ήταν δυνατή η βιντεοσκόπηση των περιγραμμάτων των στρώσεων και η σύγκριση αυτών προς σταθερό κάρναβο (με ανοίγματα  $0,5\text{m} \times 0,5\text{m}$ ) που είχε τοποθετηθεί λίγο πιο πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού στη δεξαμενή. Ταυτόχρονα πάνω από τη δεξαμενή είχε τοποθετηθεί και χρονόμετρο

μεγάλων διαστάσεων, έτσι δε αποτυπώνονταν και οι διάφοροι χρόνοι εξέλιξης των περιγραμμάτων των στρώσεων.

Οργανώθηκαν δύο σειρές μετρήσεων, μια με  $\varphi=30^\circ$  και η άλλη με  $\varphi=60^\circ$ , κάθε δε σειρά απεικονίζεται από 16 ομάδες μετρήσεων. Οι πυκνότητες  $\rho$ , μεταβάλλονταν μεταξύ  $1.020$  και  $1.022 \text{ kg/m}^3$ , η πυκνότητα  $\rho_0$  ήταν σταθερή,  $\rho_0=1.000 \text{ kg/m}^3$ , οι ταχύτητες  $V_0$  μεταβάλλονταν μεταξύ  $35 \text{ cm/sec}$  και  $65 \text{ cm/sec}$ , ενώ οι αδιάστατες αποστάσεις  $L/d_0$  είχαν τιμές  $25-33,3-50-66,6$  (από 4 τιμές για κάθε ομάδα μετρήσεων). Ακόμα ήταν  $6 \leq Fr_0 \leq 18$  και  $1.300 \leq Re_0 \leq 3.850$ .



Σχήμα 2. Περιγράμματα στρώσεων

Η διάμετρος των στομιών σε όλες τις μετρήσεις ήταν  $d_0=6 \text{ mm}$ , ήταν δε πάντα  $H/d_0 \cong 66,6$ . Τούτο σημαίνει ότι – με τον μεγαλύτερο αριθμό Froude όλων των εδώ μετρήσεων (18) – ήταν πάντα  $H/d_0 \gg 0,28.Fr_0$ , δηλ. σύμφωνα με το γνωστό κριτήριο (βλ. π.χ. [3] Α', σελ. 315) ο αποδέκτης ήταν πάντα βαθύς.

Τούτο σημαίνει παραπέρα ότι στην περιοχή της επιφανειακής στρώσης κυριαρχούσαν οι δυνάμεις άνωσης και όχι οι δυνάμεις ποσότητας κίνησης.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται τυπικά πρωτογενή αποτελέσματα με τη μορφή εξαπλούμενων περιγραμμάτων και μετώπων σε διάφορους χρόνους για δύο φλέβες με  $\varphi=60^\circ$  και  $30^\circ$  αντίστοιχα.

### 3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο Σχήμα 3 έχουν τεθεί σε όρους  $Ax_1$  και B όλες οι αποστάσεις  $x_1$  για όλες τις εδώ μετρήσεις με γωνία  $\varphi=60^\circ$  (όλων των  $L, Re_0, Fr_0$ ), έχει δε προκύψει η εξίσωση συνεκτικής συμπεριφοράς,

$$Ax_1 = 2,15.B^{-0,25}, \text{ ή,}$$

$$x_1.Qa_0^{-1/4}.t^{-3/4} = 2,15.\{Qa_0^{1/2}.V_0^{1/2}.L.Q_0^{-1}\}^{-0,25}, \quad (1)$$

από την οποία προκύπτει η αδιάστατη εξίσωση των ταχυτήτων  $v_1$  (παραγωγήση – μετασχηματισμοί),

$$v_1/V_0 = 1,93.(d_0/x_1).(Re_0.Fr_0^{-2})^{0,25}, \quad (2)$$

που είναι η εξίσωση της μόνιμα επιβραδυνόμενης εξάπλωσης των μετώπων των στρώσεων (ανεξαρτησία από χρόνο).

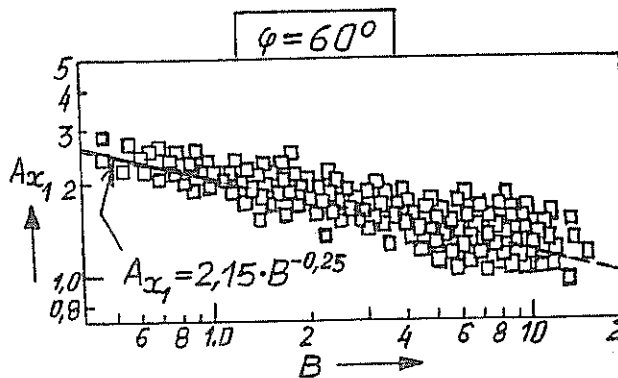
Στο Σχήμα 4 έχουν τεθεί αντίστοιχα όλες οι αποστάσεις  $x_1$  για όλες τις εδώ μετρήσεις με γωνία  $\varphi=30^\circ$  (όλων των  $L$ ,  $Re_0$ ,  $Fr_0$ ), έχει δε προκύψει η εξίσωση συνεκτικής συμπεριφοράς

$$Ax_1 = 1,82 \cdot B^{-0,25}$$

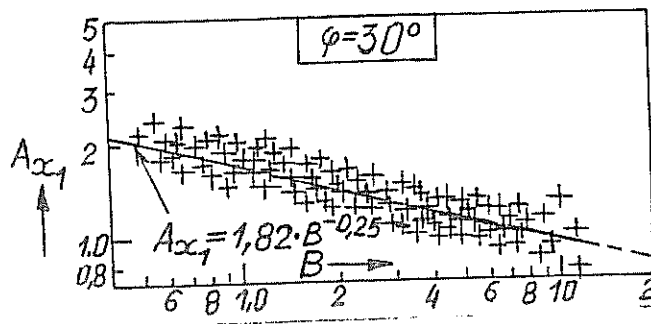
$$x_1 \cdot Qa_0^{-1/4} \cdot t^{-3/4} = 1,82 \cdot \{Qa_0^{1/2} \cdot v_0^{1/2} \cdot t \cdot Q_0^{-1}\}^{-0,25} \quad (3)$$

που δίνει ανάλογα

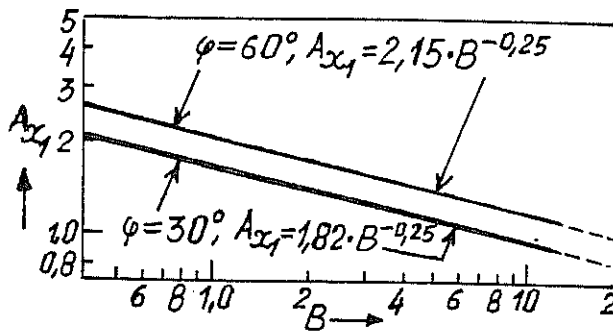
$$v_1/V_0 = 1,38 \cdot (d_0/x_1) \cdot (Re_0 \cdot Fr_0^{-2})^{0,25} \quad (4)$$



Σχήμα 3. Αποστάσεις  $x_1$  για  $\varphi=60^\circ$



Σχήμα 4. Αποστάσεις  $x_1$  για  $\varphi=30^\circ$



Σχήμα 5. Συγκρίσεις των  $x_1$  για  $\varphi=60^\circ$  και  $\varphi=30^\circ$

Από τη σύγκριση των εξισώσεων (1) - (3) που παρουσιάζονται μαζί στο σχήμα 5, προκύπτει ότι οι δύο επιφανειακές στρώσεις συμπεριφέρονται ποιοτικά κατά τον ίδιο τρόπο, ενώ ποσοτικά η επιφανειακή στρώση για  $\varphi=60^\circ$  έχει μεγαλύτερη ταχύτητα εξάπλωσης του εμπρόσθιου μετώπου της, τούτο δε οφείλεται κυρίως στο ότι αυτή η φλέβα είναι εφοδιασμένη με μεγαλύτερη οριζόντια ποσότητα κίνησης στο στόμιο. Οι δοθείσες εξισώσεις ισχύουν και για περισσότερα ζεύγη στρώσεων με τις αντίστοιχες γωνίες  $\varphi$ .

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην πειραματική αυτή εργασία ερευνήθηκε η οριζόντια εξάπλωση των επιφανειακών στρώσεων λυμάτων που εκτοξεύονται από εναλλασσόμενα στόμια ενός οριζοντίου διαχυτήρα υπό γωνίες  $\varphi=60^\circ$  και  $\varphi=30^\circ$  αντίστοιχα.

Οι εξισώσεις (1) και (3) δίνουν τις διανυόμενες αποστάσεις των εμπρόσθιων μετώπων των στρώσεων, ενώ οι εξισώσεις (2) και (4) δίνουν τις αντίστοιχες ταχύτητες εξάπλωσης για όλες τις μετρήσεις.

Οι μετρήσεις έδωσαν συστηματικά αποτελέσματα, είναι δε δυνατόν να υπολογίζονται οι χρόνοι άφιξης των στρώσεων σε παρακείμενες ακτές και να γίνεται σύγκριση με το χρόνο ζωής των οργανικών στοιχείων που βρίσκονται πιθανά μέσα στα λύματα. Οι ταχύτερες εξάπλωσης για  $\varphi=60^\circ$  προέκυψαν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες ταχύτητες για  $\varphi=30^\circ$ , τούτο δε οφείλεται στις αρχικές συνθήκες (στόμια).

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chen J., 1980. Studies on gravitational spreading currents, Cal. Inst. of Tech., March, Report No KH-R-40
2. Demetriou J., 1988. Interaction of surface layers, 21<sup>st</sup> Intern. Conference on Coastal Engineering (vertical jets), Malaga-Spain, 197-198.
3. Δημητρίου Ι., Περιβαλλοντική Υδραυλική, Τεύχη Α!-Β!, Αθήνα

# ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ BOD<sub>5</sub> ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Α.Παπαδόπουλος<sup>1</sup>, Φ.Παπαδόπουλος<sup>1</sup>, Γ.Παρισόπουλος<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ΕΘΙΑΓΕ/Ινστ. Εδαφολογίας, Ελλην. Γεωργική Σχολή, 579 01 Θέρμη, Θεσ/νίκη

<sup>2</sup>ΕΘΙΑΓΕ/Ινστ. Γεωργ. Μηχ. & Κατασκευών, Δημοκρατίας 61, 135 10 Αγ. Ανάργυροι

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα λειτουργίας τριών σειρών δεξαμενών σταθεροποίησης αστικών υγρών αποβλήτων όσον αφορά στη μείωση των τιμών BOD<sub>5</sub>. Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα, 120 m<sup>3</sup>/day, μέσου BOD<sub>5</sub> 382 mg O<sub>2</sub>/l, αντλούνταν από τη συμβατική μονάδα βιολογικού καθαρισμού Θεσσαλονίκης και οδηγούνταν αρχικά σε μία αναερόβια δεξαμενή, απ' όπου το 1/3 της εκροής τροφοδοτούσε την πρώτη σειρά και το υπόλοιπο την δεύτερη. Η τρίτη σειρά επεξεργαζόταν 50 m<sup>3</sup>/day μέσου BOD<sub>5</sub> 126 mg O<sub>2</sub>/l. Τα αποτελέσματα από την διετή λειτουργία της ερευνητικής διάταξης έδειξαν ότι η μέση μείωση του BOD<sub>5</sub> ήταν στην αναερόβια 36%. Η μέγιστη τιμή εξόδου του BOD<sub>5</sub>, κάθε γραμμής, ήταν 21, 60 και 57 mg O<sub>2</sub>/l, αντίστοιχα.

## BOD<sub>5</sub> REDUCTION OF MUNICIPAL WASTEWATER IN STABILAZATION PONDS

A.Papadopoulos<sup>1</sup>, F. Papadopoulos<sup>1</sup>, G. Parisopoulos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NAGREF/Soil Science Institute, 570 01 Thermi, Thessaloniki, Greece

<sup>2</sup>NAGREF/Inst. of Agr. Machinery & Constructions, 135 10 Ag. Anargiri Attikis.

## ABSTRACT

In this paper are presented the operational results of three trains of stabilization ponds, as far as the BOD<sub>5</sub> reduction was concerned. Raw sewage, 120 m<sup>3</sup>/day with an average BOD<sub>5</sub> 413 mg O<sub>2</sub>/l, was pumped from the nearby conventional wastewater treatment plant of Thessaloniki to an anaerobic pond. Then 1/3 of its effluent was diverted to the first train of ponds and the rest fed the second train of ponds. The third train treated 50 m<sup>3</sup>/day wastewater with a mean BOD<sub>5</sub> 126 mg O<sub>2</sub>/l. The operational results of the anaerobic pond showed a BOD<sub>5</sub> reduction of 36%. The maximum BOD<sub>5</sub> value at the exit of each pond train was 21, 60 and 57 mg O<sub>2</sub>/l, respectively.



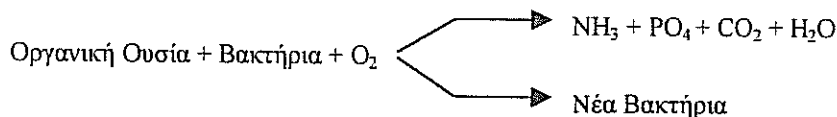
## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ανεπεξεργαστα αστικά υγρά απόβλητα μεταφέρουν διαφόρους ρύπους στους φυσικούς αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια, θάλασσες) όπου διατίθενται προκαλώντας υποβάθμιση της ποιότητάς των. Οι ρύποι αυτοί διακρίνονται τόσο σε χημικούς όσο και σε βιολογικούς (παθογόνους μικροοργανισμούς). Οι χημικοί ρύποι κατατάσσονται σε ανόργανους (βαρέα μέταλλα, τοξικά στοιχεία κ.λ.π.) και οργανικούς ρύπους (συνθετικές οργανικές ενώσεις, απόβλητα εργοστασίων κατεργασίας τροφίμων, απόβλητα περιττωματικής φύσεως κλπ).

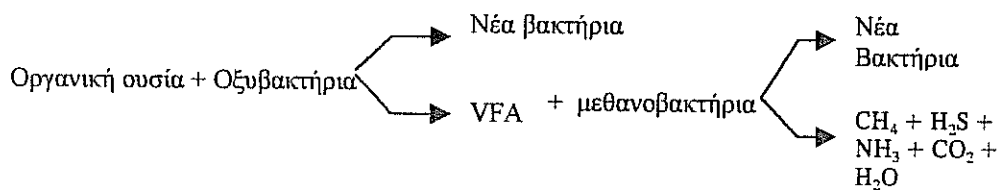
Πολλά από τα προβλήματα που συνδέονται με την ποιότητα του νερού οφείλονται στην παρουσία του οργανικού ρυπαντικού φορτίου. Οι παράμετροι που καθορίζουν το βαθμό της οργανικής ρύπανσης του νερού είναι το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο ( $BOD_5$ ), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), το διαλυμένο οξυγόνο (DO) και ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC). Η πλέον όμως συνηθισμένη παράμετρος εκτίμησης της οργανικής ρύπανσης είναι το  $BOD_5$ , το οποίο εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς για την βιολογική αποικοδόμιση (οξειδωση) των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα νερά, σε 5 μέρες και σε θερμοκρασία  $20\text{ }^\circ\text{C}$  και μετρείται σε  $\text{mg O}_2$  ανά λίτρο νερού. Προφανώς, τα καθαρά νερά που δεν έχουν καθόλου οργανικές ενώσεις έχουν μηδενική απαίτηση για βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο ( $BOD_5 = 0$ ), ενώ τα ρυπασμένα με οργανικές αποικοδομήσιμες ενώσεις έχουν τιμές  $BOD_5$  τόσο μεγαλύτερες όσο μεγαλύτερη είναι η οργανική ρύπανση, [1, 2].

Αντικειμενικός σκοπός της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είναι αφενός μεν η μείωση του ρυπαντικού οργανικού φορτίου, που συνήθως εκφράζεται με μείωση του  $BOD_5$ , αφετέρου δε η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτό επιτυγχάνεται τόσο με τις Συμβατικές μονάδες βιολογικού καθαρισμού όσο και με τα Φυσικά Συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Δεξαμενές Σταθεροποίησης, Τεχνητοί Υγρότοποι), [3, 4, 5]. Το οργανικό ρυπαντικό φορτίο και με τις δύο τεχνολογίες διασπάται βιολογικά σε απλούστερες ενώσεις με την βοήθεια μικροοργανισμών (βακτηρίων) που, ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι οξυγόνου, διακρίνονται σε αερόβιους και αναερόβιους, [6, 7], Σχήμα 1.

### α. ΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ



### β. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

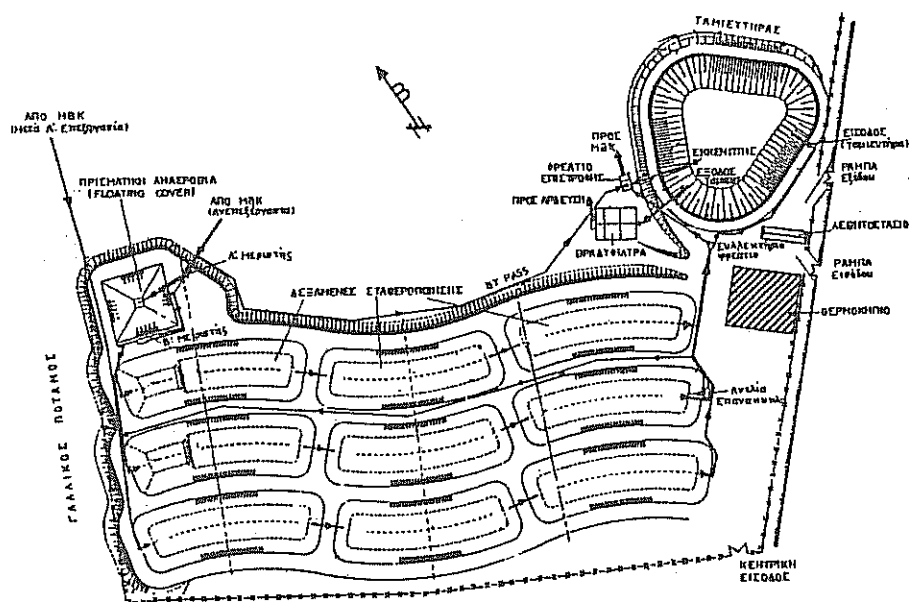


Σχήμα 1. Αναερόβια και Αερόβια Οξείδωση Οργανικού Ρυπαντικού Φορτίου

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, από την διετή (1997-1999) πειραματική λειτουργία των δεξαμενών σταθεροποίησης, όσον αφορά την μείωση του ρυπαντικού οργανικού φορτίου, που συνήθως εκφράζεται με την μείωση του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου BOD<sub>5</sub> των υγρών αποβλήτων κατά την αναερόβια, επαμφοτερίζουσα, αερόβια επεξεργασία τους στις πειραματικές εγκαταστάσεις του ΕΘΙΑΓΕ στην περιοχή του Γαλλικού ποταμού Θεσσαλονίκης.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το έργο κατασκευάστηκε κοντά στην υφιστάμενη Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού (Μ.Β.Κ.) της Θεσσαλονίκης απ' όπου και τροφοδοτείται με δύο διαφορετικές ποιότητες υγρών αποβλήτων. Η πρώτη ποιότητα (ανεπεξεργαστα απόβλητα) λαμβάνεται με άντληση αμέσως μετά την προεπεξεργασία τους (εσχάρωση, εξάμμωση) και η δεύτερη μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τους στην Μ.Β.Κ. (προσθήκη κροκιδωτικού και πρωτογενή καθίζηση). Η γενική διάταξη των έργων δίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Γενική διάταξη των δεξαμενών σταθεροποίησης

Η πρώτη ποιότητα, δηλαδή τα ανεπεξεργαστα υγρά απόβλητα, οδηγούνται, σε μία πρισματική αναερόβια δεξαμενή, βάθους 4m και όγκου 570 m<sup>3</sup> όπου υφίστανται αναερόβια ζύμωση με αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του ρυπαντικού οργανικού φορτίου τους.. Από την υπερχειλίση της αναερόβιας δεξαμενής τροφοδοτούνται δύο παράλληλες σειρές δεξαμενών σταθεροποίησης, με τρεις δεξαμενές η κάθε σειρά (επαμφοτερίζουσα/αερόβιας), όπου το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων, αποικοδομείται με ταυτόχρονη μείωση και του αριθμού των παθογόνων μικροοργανισμών. Το βάθος της αναερόβιας δεξαμενής ήταν 1.75 m και το εμβαδόν της υγρής επιφάνειάς της 1044 m<sup>2</sup>. Στις δύο αερόβιας δεξαμενές το βάθος ήταν 1,25 m και

το εμβαδόν της υγρής επιφάνειας 896 m<sup>2</sup>. Στη δεύτερη σειρά των δεξαμενών σταθεροποίησης υπάρχει δυνατότητα επανακυκλοφορίας, από την τρίτη στην πρώτη δεξαμενή, με την βοήθεια αντλίας, [8]. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η ποιότητα των υγρών αποβλήτων στην πρώτη δεξαμενή και αποφεύγεται η δημιουργία αναερόβιων συνθηκών.

Η δεύτερη ποιότητα υγρών αποβλήτων, που προέρχεται μετά την πρώτου βαθμού επεξεργασία από την υφιστάμενη ΜΒΚ, επεξεργάζεται στη τρίτη σειρά των δεξαμενών σταθεροποίησης (επαμφοτερίζουσα / αερόβιας). Η ύπαρξη της τρίτης γραμμής επεξεργασίας είχε ως σκοπό να εξετάσει την δυνατότητα των δεξαμενών σταθεροποίησης να υποκαταστήσουν την κατασκευή της συμβατικής δευτεροβάθμιας (βιολογικής) επεξεργασίας σε περιοχές όπου αυτό είναι εφικτό.

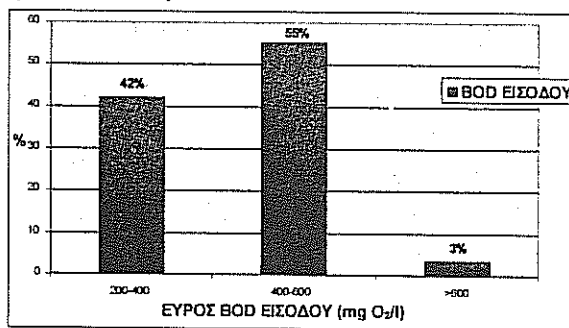
Η παρακολούθηση της λειτουργίας και απόδοσης του συστήματος έγινε με συστηματικές εβδομαδιαίες δειγματοληψίες από την είσοδο και τις εξόδους των δεξαμενών και στην συνέχεια γινόταν εργαστηριακή ανάλυση των κυριωτέρων φυσικοχημικών παραμέτρων ποιότητας τριου νερού (BOD<sub>5</sub>, COD, SS, pH, Θρεπτικά στοιχεία αλατότητα, μικροβιασκό φορτίο κλπ).

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΣΜΑΤΑ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η αναερόβια δεξαμενή τροφοδοτήθηκε με ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα από την Μ.Β.Κ., με παροχή Q = 120 m<sup>3</sup>/day με μέση τιμή BOD<sub>5</sub> = 413 mg O<sub>2</sub>/l. Η διακύμανση του BOD<sub>5</sub> φαίνεται στο σχήμα 3. Το μέσο ημερήσιο ρυπαντικό φορτίο της λ<sub>v</sub> = 87 g BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.day και ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού ήταν περίπου 5 ημέρες. Στην έξοδο της αναερόβιας δεξαμενής η μέση τιμή του BOD<sub>5</sub> = 263 mg O<sub>2</sub>/l.

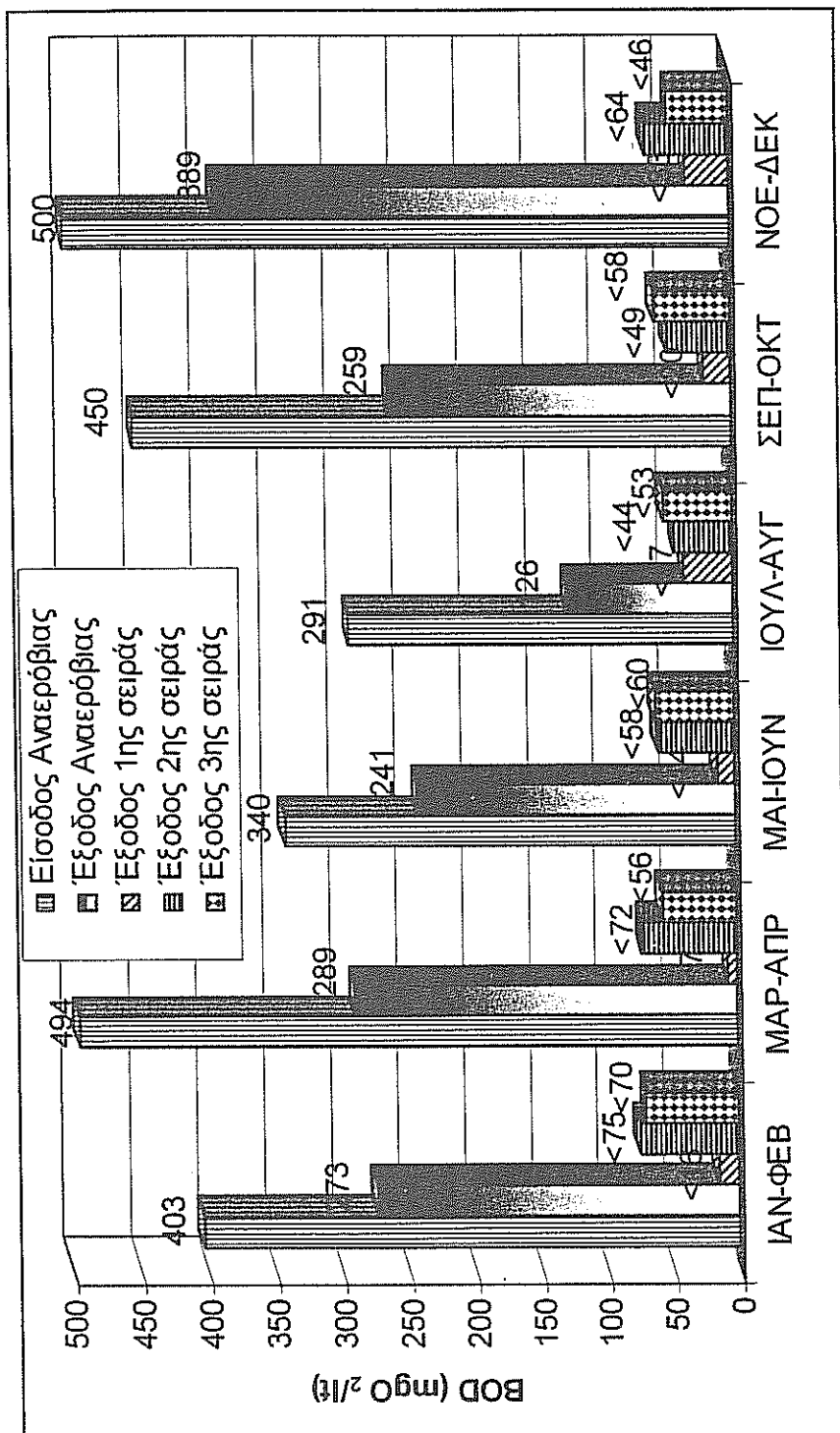
Η επαμφοτερίζουσα δεξαμενή της πρώτης γραμμής τροφοδοτήθηκε από την αναερόβια με παροχή Q = 30 m<sup>3</sup>/day με μέση τιμή BOD<sub>5</sub> = 263 mg O<sub>2</sub>/l. Το μέσο ρυπαντικό φορτίο της λ<sub>s</sub> = 7,5 g BOD<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.day και ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής του νερού ήταν 46 ημέρες.

Στην δεύτερη γραμμή, η επαμφοτερίζουσα δεξαμενή τροφοδοτήθηκε και πάλι από την αναερόβια με παροχή Q<sub>1</sub> = 90 m<sup>3</sup>/day με μέση τιμή BOD<sub>5</sub> = 263 mg O<sub>2</sub>/l καθώς και με επανακυκλοφορία από την έξοδο της τελευταίας δεξαμενής με παροχή Q<sub>2</sub> = 180 m<sup>3</sup>/day μέσης τιμής BOD<sub>5</sub> = 41,5 mg O<sub>2</sub>/l. Το μέσο ρυπαντικό φορτίο και των τριών δεξαμενών λ<sub>s</sub> = 11 g BOD<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.day.



Σχήμα 3. Διακύμανση του BOD<sub>5</sub> των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων στην είσοδο της αναερόβιας δεξαμενής

Τέλος, στη τρίτη γραμμή, η επαμφοτερίζουσα δέχθηκε παροχή Q = 50 m<sup>3</sup>/day, μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία στην Μ.Β.Κ. Θεσ/νίκης με μέσο BOD<sub>5</sub> = 126 mg O<sub>2</sub>/l. Το δε



Σχήμα 4: Μέση διημερησία τιμή του BOD<sub>5</sub> εισόδου και εξόδου για κάθε σειρά επεξεργασίας.

μέσο ρυπαντικό φορτίο της ήταν  $\lambda_s = 6 \text{ g BOD}_5/\text{m}^2.\text{day}$ . Ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής ήταν 27 ημέρες.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται οι μέσες διηθητικές τιμές του  $\text{BOD}_5$  στην αναερόβια δεξαμενή καθώς και μέγιστες παρατηρηθείσες τιμές του  $\text{BOD}_5$  στις εξόδους των τριών γραμμών επεξεργασίας.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα από την διετή λειτουργία των τριών γραμμών των δεξαμενών σταθεροποίησης συνοψίζονται στον Πίνακα 1 και στο Σχήμα 5.

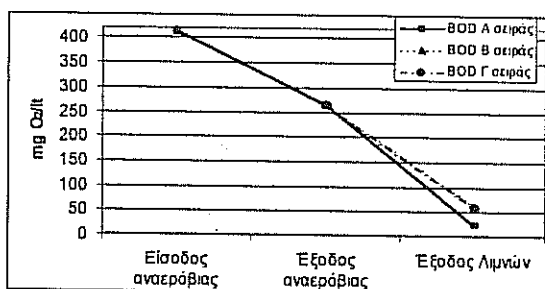
Πίνακας 1. Μείωση του  $\text{BOD}_5$  κατά τις διάφορες φάσεις επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, σε κάθε σειρά των δεξαμενών σταθεροποίησης.

ΘΕΣΗ	$\text{BOD mg O}_2/\text{lt}$	Μείωση $\text{BOD} \%$
Είσοδος αναερόβιας	413	
Έξοδος αναερόβιας	263	36.5
Έξοδος Α σειράς	21	95
Έξοδος Β σειράς	60	85.5
Έξοδος Γ σειράς	57	86

- στην έξοδο της αναερόβιας δεξαμενής, η μέση τιμή του  $\text{BOD}_5$  ήταν  $263 \text{ mg O}_2/\text{l}$ , παρατηρήθηκε δηλαδή μείωση της τάξεως του 36,5%,

- στις εξόδους των Α, Β και Γ γραμμών επεξεργασίας, οι μέγιστες τιμές του  $\text{BOD}_5$  ήταν  $21 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ,  $60 \text{ mg O}_2/\text{l}$ , και  $57 \text{ mg O}_2/\text{l}$ , αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε δηλαδή μείωση του  $\text{BOD}_5$  τουλάχιστον της τάξεως του 85-95% σε σχέση με αυτό των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων στην είσοδο του συστήματος.

Πρέπει να τονιστεί ότι σύμφωνα με την Απόφαση της Νομαρχίας Θεσσαλονίκης 22374/91/94, το ανώτερο επιτρεπτό όριο  $\text{BOD}_5$  για διάθεση υγρών αποβλήτων στον Θερμαϊκό Κόλπο είναι  $60 \text{ mg O}_2/\text{l}$ . Από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται φανερό ότι το όριο αυτό ικανοποιείται από τις επεξεργασμένες εκροές των δεξαμενών σταθεροποίησης. Επιπλέον, η επεξεργασία τους αυτή επιτεύχθηκε χωρίς την σημαντική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και χημικών πρόσθετων καθώς επίσης και χωρίς την παρουσία οσμών.



Σχήμα 5. Μείωση του ρυπαντικού φορτίου των υγρών αποβλήτων σε κάθε γραμμή επεξεργασίας.

## 6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το ερευνητικό πρόγραμμα, μέρος των αποτελεσμάτων του οποίου παρουσιάζονται στην εργασία αυτή, χρηματοδοτήθηκε από την Γ.Γ.Ε.Τ. στα πλαίσια του προγράμματος ΕΠΙΕΤ II.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tchobanoglous G., Burton F.L .1991. 'Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse', Metcalf & Eddy Inc., Third Edition, McGraw-Hill.
2. Pescod M.B. .1992. 'Wastewater Treatment and Use in Agriculture', FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rome.
3. Στάμου Α.Ι. .1995. 'Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων', Παπασωτηρίου, Αθήνα.
4. Reed S.C., Crites R.W., Middlebrooks.1995. 'Natural Systems for Waste Management and Treatment', 2nd Edition, McGraw-Hill.
5. Αγγελάκης Α.Ν., Tchobanoglous G. .1995. 'Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκρρών', Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
6. EPA. 1983. 'Design Manual. Municipal Wastewater Stabilization Ponds', US Environmental Protection Agency, EPA-625/1-83-015, Cincinnati OH 45268.
7. Mara D.D., Pearson H.W. 1987. 'Waste Stabilization Ponds: Design Manual for Mediterranean Europe', World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen.
8. Juanico M., Shelef G. .1994. 'Design, Operation and Performance of Stabilization Reservoirs for Wastewater Irrigation in Israel', *Water Research*, 28,1, pp. 175-191.

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ  
ΕΡΓΩΝ ΠΗΝΕΙΟΥ ΗΛΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΟ ΒΙΟΤΟΠΟ  
ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΟΤΥΧΙΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΕΡΓΑ  
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ**

**Γ. ΚΑΡΑΝΤΟΥΝΙΑΣ και Ν. ΔΕΡΚΑΣ**

Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής,  
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα  
Τηλ 5294030, Fax 5294081  
gkarant@auadec.aua.gr and ndercas1@auadec.aua.gr

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η δημιουργία των εγγειοβελτιωτικών έργων Πηνειού Ηλείας κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 είχε ως συνέπεια την αλλαγή των περιβαλλοντικών παραμέτρων της λιμνοθάλασσας Κοτυχίου Ν. Ηλείας. Ειδικότερα, μεταβλήθηκε η ποιότητα των νερών της λιμνοθάλασσας από αλμυρά-υφάλμυρα-ολιγοτροφικά σε γλυκά-υφάλμυρα-ευτροφικά, με αποτέλεσμα την αλλαγή του οικοσυστήματος με παράλληλη αύξηση των καλαμιώνων, της τυρφογένεσης, της παγίδευσης φερτών και σημαντική μείωση του ενεργού όγκου της λιμνοθάλασσας. Οι συνθήκες αυτές ήταν δυσμενείς και γίνονταν σε ακραίες περιπτώσεις ασφυκτικές για τα ιχθυηρά της λιμνοθάλασσας. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού και τη βελτίωση της ανανέωσης των νερών της λιμνοθάλασσας μελετήθηκαν και εκτελέστηκαν έργα περιβαλλοντικής αναβάθμισης και οικολογικής διαχείρισης, με τα οποία επετεύχθη ο επιδιωκόμενος σκοπός.

**ENVIRONMENTAL IMPACT OF PINIOS RIVER (ILIA)  
RECLAMATION WORKS ON THE PROTECTED BIOTOPE OF THE  
KOTYCHI SEA-LAGOON AND ITS REHABILITATION WORKS**

**G. KARANTOUNIAS and N. DERCAS**

Laboratory of Agricultural Hydraulics  
Agricultural University of Athens, 75, Iera odos, 118 55 Athens  
Tel 5294030, Fax 5294081

**ABSTRACT**

The reclamation works, which were carried out in the Pinios river during the '70s, led to the change of environmental parameters of the Kotychi sea-lagoon, Prefecture of Iliia. More specifically, the water quality of the sea-lagoon was affected as follows: the salinity decreased the concentration of nutrients increased and the sea-lagoon became eutrophic, leading to the alteration of the ecosystem, to an increase of reeds and peat, an increase of trapping of suspended solids as well as to an important decrease of the active volume of the sea-lagoon. Those conditions were unfavourable and in some cases, they became asphyxiating for the fish living in the sea-lagoon. In order to solve this problem and to improve water renewal in the sea-lagoon, works of environmental upgrading and ecological management were carried out.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λιμνοθάλασσα Κοτυχίου βρίσκεται στο νομό Ηλείας, στη βορειοδυτική ακτή της Πελοποννήσου, σε απόσταση 8 km βόρεια των Λεχαιών. Αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους υδροβιότοπους διεθνούς σημασίας του ελληνικού χώρου και προστατεύεται από τη διεθνή Σύμβαση Ramsar. Η λιμνοθάλασσα είναι μεγάλης σημασίας για την ορνιθοπανίδα, γιατί από εκεί διέρχεται ο δυτικός μεταναστευτικός διάδρομος των πτηνών. Προσελκύει επίσης σημαντικό αριθμό χηνοπατιών, που έρχονται να ξεχειμωνιάσουν λόγω του ήπιου κλίματος της περιοχής. Το Κοτύχι είναι από τις πιο πλούσιες σε ιχθυοδυναμικό λιμνοθάλασσες της Ελλάδας, με παραγωγή κυρίως χελιών, κεφαλοειδών και λαβρακιών.

Λόγω γεωμορφολογικής διαμόρφωσης της περιοχής, η λιμνοθάλασσα Κοτυχίου αποτελεί τον αποδέκτη των απορροών μιας υδρολογικής λεκάνης έκτασης ~238 km<sup>2</sup>. Οι επιφανειακές απορροές, μέσω των υδατορρευμάτων της περιοχής μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες φερτών, οι οποίες προκαλούν πρόσχωση της λιμνοθάλασσας και σταδιακή μείωση του ωφέλιμου όγκου της. Ο ρυθμός μείωσης της λιμνοθάλασσας αυξάνει μετά τη δεκαετία του 1970, όταν πραγματοποιούνται στην περιοχή σημαντικά εγχειοβελτιωτικά έργα (Έργο Πηνεϊού Ηλείας), τα οποία υδροδοτούνται από τον ταμειωτήρα Πηνεϊού Ηλείας, που βρίσκεται στη γειτονική προς Νότο λεκάνη απορροής. Τα υδατορρέυματα που καταλήγουν στη λιμνοθάλασσα, εντάχθηκαν στο αποστραγγιστικό δίκτυο του εγχειοβελτιωτικού έργου. Οι ποσότητες γλυκού νερού που καταλήγουν στο Κοτύχι μέσω του στραγγιστικού δικτύου είναι σημαντικές, λόγω υπερκατανάλωσης του αρδευτικού νερού, συνέπεια της μη ορθολογικής τιμολόγησης του νερού (χρέωση ανά αρδευόμενη επιφάνεια και όχι κατ' όγκον καταναλισκόμενου ύδατος). Τα εγχειοβελτιωτικά έργα είχαν επίσης ως συνέπεια την εντατικοποίηση των καλλιεργειών, με αποτέλεσμα την αυξημένη χρήση αγροχημικών, τα οποία σε συνδυασμό με τις αυξημένες εισροές στραγγιστικού νερού, ανέτρεψαν τη μέχρι τότε ποιοτική ισορροπία των υδάτων της λιμνοθάλασσας (από αλμυρά-υφάλμυρα-ολιγοτροφικά τα νερά μετατράπηκαν σε υφάλμυρα-γλυκά-ευτροφικά).

Αποτέλεσμα της μεταβολής της ποιότητας των νερών ήταν η αύξηση των καλαμιώνων και η επιτάχυνση της τυρφογένεσης στη λιμνοθάλασσα, με συνέπεια την περαιτέρω μείωση της επιφάνειας και του βάθους της. Η έκταση της λιμνοθάλασσας του Κοτυχίου, βάσει μετρήσεων σε αεροφωτογραφίες του 1945, ήταν 783,40 ha με ελάχιστους καλαμιώνες [1]. Η έκταση αυτή μειώθηκε με την πάροδο του χρόνου λόγω προσχώσεων και σημαντικής αύξησης των καλαμιώνων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού μελετήθηκαν και εκτελέστηκαν μεταξύ 1986-1992 έργα περιβαλλοντικής αποκατάστασης της λιμνοθάλασσας ([2],[3],[4],[5]), τα οποία σε σύντομο χρονικό διάστημα είχαν ευνοϊκή επίδραση στο οικοσύστημα.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν στα κατασκευασθέντα εγχειοβελτιωτικά έργα στις επιπτώσεις τους στη λιμνοθάλασσα καθώς και στα έργα περιβαλλοντικής αποκατάστασης και στις επιπτώσεις τους [6].

## 2. ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ

Το αρδευτικό δίκτυο (3.500 ha) που βρίσκεται εντός της χαμηλής ζώνης της λεκάνης απορροής της λιμνοθάλασσας Κοτυχίου εντάσσεται στο αρδευτικό δίκτυο βόρειας ζώνης Πηνεϊού Ηλείας. Το υπόψη δίκτυο είναι υπό πίεση, με αρδευτική μονάδα 4 ha, υδροδοτούμενη από ένα υδροστόμιο 6 lt/sec.

**2.1. Καλλιέργειες αρδευτικού δικτύου:** Η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονη



γεωργική δραστηριότητα με κυρίαρχες καλλιέργειες [2] τον αραβόσιτο (1.500 ha), τη βιομηχανική ντομάτα (1.000 ha) και τα μπιστανικά (800 ha). Επιπρόσθετα καλλιεργείται βαμβάκι (140 ha), ρύζι και διάφορες άλλες καλλιέργειες (60 ha).

Όσον αφορά στις μεθόδους άρδευσης :

α) Για τον αραβόσιτο : Στα πρώτα στάδια η άρδευση γίνεται με τεχνητή βροχή. Όταν τα φυτά αναπτυχθούν γίνεται άρδευση με βαρύτητα, επειδή δεν είναι εφικτή η χρήση της τεχνητής βροχής λόγω έλλειψης κατάλληλου αρδευτικού εξοπλισμού. Άλλη μέθοδος, ιδιαίτερα διαδεδομένη, είναι ο συνδυασμός τεχνητής βροχής και επιφανειακής άρδευσης. Ο καλλιεργητής χρησιμοποιεί ένα μεγάλο εκτοξευτή (κανόνι) μεγάλης παροχής (18-35 m<sup>3</sup>/h), τον οποίο μετακινεί κατά το ελάχιστο δυνατό. Οι θέσεις άρδευσης είναι περιορισμένες σε λίγα υψηλά σημεία του αγροτεμαχίου, η δε διάρκεια της θέσης άρδευσης μεγάλη. Σε κάθε θέση άρδευσης κατά τις δύο-τρεις πρώτες ώρες το νερό διηθείται στο έδαφος, μέχρις ότου αυτό έρθει σε κατάσταση κορεσμού. Στη συνέχεια, το νερό ρέει επιφανειακά ακολουθώντας τις κλίσεις του εδάφους (συχνά διαμορφώνονται αλάκια κατά την άρδευση) και αρδεύει τα χαμηλότερα περιφερειακά τμήματα. Μετά από μερικές θέσεις μεγάλης διάρκειας άρδευσης, ο καλλιεργητής κάνει με τον εκτοξευτή μερικές στάσεις μικρής διάρκειας σε σημεία που δεν αρδεύτηκαν από τις πρώτες θέσεις. Η μέθοδος αυτή προκαλεί, λόγω ανομοιομορφίας στην εφαρμογή του νερού, πτώση της παραγωγής που μερικές φορές φθάνει και 50%.

β) Για τη βιομηχανική ντομάτα : Κατά το παρελθόν στα αρχικά στάδια της καλλιέργειας χρησιμοποιείτο η τεχνητή βροχή και στη συνέχεια η άρδευση με αλάκια, διότι οι αγρότες φοβούνταν την ανάπτυξη ασθενειών (διαβροχή φύλλων και καρπών). Η τεχνική αυτή οδηγούσε σε υπερκατανάλωση νερού. Σήμερα γίνεται κυρίως χρήση της στάγδην άρδευσης.

γ) Για τα μπιστανικά (πεπόνια, καρπούζια): Χρησιμοποιούνται συστήματα στάγδην άρδευσης.

Οι αιτίες χρήσης αυτών των πρακτικών άρδευσης οφείλεται στο ότι οι αγρότες δεν διαθέτουν τον κατάλληλο αρδευτικό εξοπλισμό (περίπτωση αραβόσιτου) ή δεν γνωρίζουν τις κατάλληλες τεχνικές άρδευσης και αντιμετώπισης των προβλημάτων φυτοϋγεινής (περίπτωση ντομάτας).

**2.2. Λιπάσματα:** Σαν βασική λίπανση χρησιμοποιούνται συνήθως φωσφορική αμμωνία και μικτά λιπάσματα. Για επιφανειακή λίπανση εφαρμόζονται θειϊκή αμμωνία, νιτρική αμμωνία, νιτρικό κάλιο και σύνθετα λιπάσματα. Η εφαρμοζόμενη ποσότητα λιπασμάτων από τους αγρότες είναι πολύ μεγαλύτερη από τις συνιστώμενες δόσεις.

**2.3. Φυτοφάρμακα:** Στην περιοχή του αρδευτικού έργου χρησιμοποιούνται διάφορα φυτοφάρμακα: Eradicane, Lasso-AT, Thiodan, Sencor και καθώς και σκευάσματα με δραστική ουσία Supermethrin, Trifluralin, Dimethoate και.

### 3. ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το εγγειοβελτιωτικό έργο της περιοχής διαθέτει στραγγιστικό δίκτυο, στο οποίο έχουν ενταχθεί και τα υδατορεύματα που εκβάλλουν στη λιμνοθάλασσα του Κοτυχίου. Μέσω αυτών εισρέουν στη λιμνοθάλασσα σημαντικές ποσότητες γλυκού νερού (15-20\*10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> το έτος), που προέρχονται από την υπερκατανάλωση του αρδευτικού νερού.

### 4. ΟΓΚΟΣ ΦΕΡΤΩΝ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΑΙ ΤΥΡΦΟΓΕΝΕΣΗ

Εμβοδομετρήσεις σε αεροφωτογραφίες του 1960 και του 1987 έδωσαν ενεργή έκταση της λιμνοθάλασσας (χωρίς τους καλαμιώνες) 614,40 ha και 315,40 ha αντίστοιχα [1]. Το μέσο

βάθος της λιμνοθάλασσας το 1960 ήταν 0,80m και το 1987 ήταν 0,40m (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1.** Στοιχεία έκτασης, βάθους και όγκου λιμνοθάλασσας

Ετος	Εμβαδόν (ha)	Μέσο Βάθος (m)	Όγκος νερού (m <sup>3</sup> )
1960	614,40	0,80	4,92*10 <sup>6</sup>
1987	315,40	0,40	1,26*10 <sup>6</sup>

Από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ότι ο ωφέλιμος όγκος της λιμνοθάλασσας μειώθηκε στη διάρκεια 27 ετών κατά  $3,66 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , δηλαδή κατά  $\sim 140.000 \text{ m}^3/\text{έτος}$ .

Ο νεκρός αυτός όγκος οφείλεται στη συρροή φερτών στον πυθμένα της λιμνοθάλασσας (χειμάρροι, τάφροι, θάλασσα), όπως επίσης στην τυρφογένεση που συντελείται με την αποδόμηση της φυτικής ύλης υπό την επίδραση βιολογικών και φυσικοχημικών παραγόντων και αναερόβιων συνθηκών.

### 5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Η σπατάλη του αρδευτικού νερού ευνοεί την έκπλυση των αγροχημικών, τη μεταφορά τους μέσω του στραγγιστικού δικτύου από την περιφέρεια στη λιμνοθάλασσα, με συνέπεια τη δημιουργία ευτροφικών συνθηκών.

Μέσω του μηχανισμού αυτού ανατράπηκε την τελευταία 30ετία και το ποιοτικό ισοζύγιο των υδάτων της λιμνοθάλασσας. Έτσι κατά τη χειμερινή μεν περίοδο δεν αλλάζει πρακτικά κάτι από την προ των έργων κατάσταση, αντίθετα κατά τη θερινή περίοδο συντελείται ολοσχερής ανατροπή της παλαιάς πριν από το 1970 κατάστασης. Τα υφιστάμενα υδατορρέυματα, που πριν από το 1970 στέρευαν ολοκληρωτικά κατά τη θερινή περίοδο λόγω έλλειψης βροχής, μεταφέρουν σήμερα αδιάκοπα ποσότητες γλυκού νερού, προερχόμενες από τη σπατάλη του αρδευτικού νερού. Οι ποσότητες αυτές μετέτρεναν σε μεγάλη έκταση το νερό της λιμνοθάλασσας σε γλυκό-υφάλμυρο, με συνέπεια χειμώνα-καλοκαίρι η λιμνοθάλασσα να έχει μικρή αλατότητα.

Η μικρή αλατότητα οδήγησε και οδηγεί στην αλλαγή του περιβαλλοντικού και οικολογικού χαρακτήρα της λιμνοθάλασσας. Αποτέλεσμα αυτής ήταν η μεγάλη αύξηση των καλαμιώνων στη λιμνοθάλασσα, η μείωση της ροής του νερού στην αντίστοιχη περιοχή, η αύξηση του ρυθμού παγίδευσης αωρούμενων στερεών και η δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών τυρφογένεσης στις περιοχές αυτές. Σύμφωνα με μετρήσεις [1], το 1987 οι καλαμιώνες κάλυπταν έκταση παραπλήσια σε μέγεθος με την επιφάνεια των νερών της λιμνοθάλασσας.

Οι αλλαγές αυτές δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στο λιμνοθαλάσσιο οικοσύστημα, το οποίο πιέζεται σοβαρά από την ύπαρξη πολλών γλυκών νερών καθ'όλη τη διάρκεια του έτους. Αξίζει να σημειωθεί ότι ήδη κατά τη δεκαετία του 1980 η παγίδευση των φερτών είχε οδηγήσει σε βάθη λιμνοθάλασσας μικρότερα από 0,50m, με αποτέλεσμα σε περιόδους μεγάλου καύσωνα να δημιουργούνται συνθήκες ασφυκτικές για την ιχθυοπανίδα του Κοτυχίου.

Τα νερά του στραγγιστικού δικτύου είχαν όμως και θετικές επιδράσεις στη λιμνοθάλασσα: κατά τις περιόδους του καύσωνα τα δροσερά νερά της αποστράγγισης από τα υδατορρέυματα της περιοχής προσέφεραν πολύτιμη ανάσα ζωής στο οικοσύστημα και την ιχθυοπανίδα, που υπέφερε από τις υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και νερού. Το ευνοϊκό αυτό οικολογικό αποτέλεσμα οφείλεται τελικά σε ένα διαχειριστικό λάθος, αυτό της σπατάλης. Η σπατάλη αρδευτικού νερού, το οποίο επιστρέφει στο Κοτύχι και τη θάλασσα, είναι ευνοϊκή και για τη βιοποικιλότητα και για

το οικοσύστημα μακριά από τη λιμνοθάλασσα, μέσα και γύρω από τις στραγγιστικές τάφρους.

## 6. ΕΡΓΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΟΤΥΧΙΟΥ

Μετά από διεξοδική μελέτη των διαθέσιμων στοιχείων και διερεύνηση των υφιστάμενων περιβαλλοντικών κ.ά. συνθηκών συντάχθηκε για την αντιμετώπιση του επερχόμενου τέλους της λιμνοθάλασσας, και της αλιευόμενης ιχθυοπαραγωγής μεταξύ 1986 και 1992, μια σειρά μελετών με θέμα την προστασία, ολοκληρωμένη ανάπτυξη και διαχείριση της λιμνοθάλασσας Κοτυχίου Νομού Ηλείας και τα απαραίτητα για το σκοπό αυτό έργα ([2], [3], [4], [5]).

Τα μελετηθέντα έργα συνολικής επενδυτικής δαπάνης 320 εκ. δρχ περίπου κατασκευάστηκαν κατά την τετραετία 1989-1992.

Τα πραγματοποιηθέντα έργα είναι τα ακόλουθα:

1. Δημιουργία μιας λεκάνης διαχείρισης μέσης έκτασης ~22.000m<sup>2</sup>, μέσου βάθους εκσκαφής ~4,50m και πέντε ακτινωτών διαύλων συνολικού μήκους 6.285 m, μέσης διατομής εκσκαφής ~34,00m<sup>2</sup> και στάθμης εκσκαφής στο -2,00m υπό την επιφάνεια της λιμνοθάλασσας. Ο συνολικός όγκος των εκσκαφών ανήλθε σε ~313.000 m<sup>3</sup>.
2. Έργα διαμόρφωσης και προστασίας στομίου και ενίσχυσης και προστασίας λουρνησίδων, ιχθυοσυλληπτικές εγκαταστάσεις στο στόμιο της λιμνοθάλασσας τάφρος ελεγχόμενης διαβίωσης - διατροφής ιχθυηρών, έργο εκχείλισης πλημμυρικών υδάτων.
3. Έντεκα (11) προκατασκευασμένοι οικίσκοι για τους αλιεργάτες της λιμνοθάλασσας και ένα παρατηρητήριο για την παρακολούθηση της λιμνοθάλασσας και της ορνιθοπανίδας της.

Από τα παραπάνω έργα τα υπ'αρ. 1 αφορούν στην κύρια δράση για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Οι σχεδιασθείσες εκσκαφές ελέγχθηκαν από άποψη υδραυλικής λειτουργίας με τη χρήση του υδροδυναμικού μοντέλου LIMNO, που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό στο ΕΜΠ.

Χαρακτηριστικά τεχνικά στοιχεία των κυρίων έργων περιβαλλοντικής αποκατάστασης φαίνονται στα σχήματα της παρούσας εργασίας (Σχ. 1, 2 και 3). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος εκσκαφής των ακτινωτών διαύλων και της λεκάνης διαχείρισης, γεγονός το οποίο επέβλεψε τη χρήση ειδικού πλωτού εκσκαφέα. Στο σχήμα 2 φαίνεται σε σχηματοποιημένη μηκτομή, ο τρόπος δράσης του πλωτού εκσκαφέα καθώς και η αναρρόφηση, υδραυλική μεταφορά και απόθεση των προϊόντων της εκσκαφής, η οποία γίνεται παράλληλα στις υφιστάμενες λουρνησίδες με στόχο την ενίσχυσή τους.

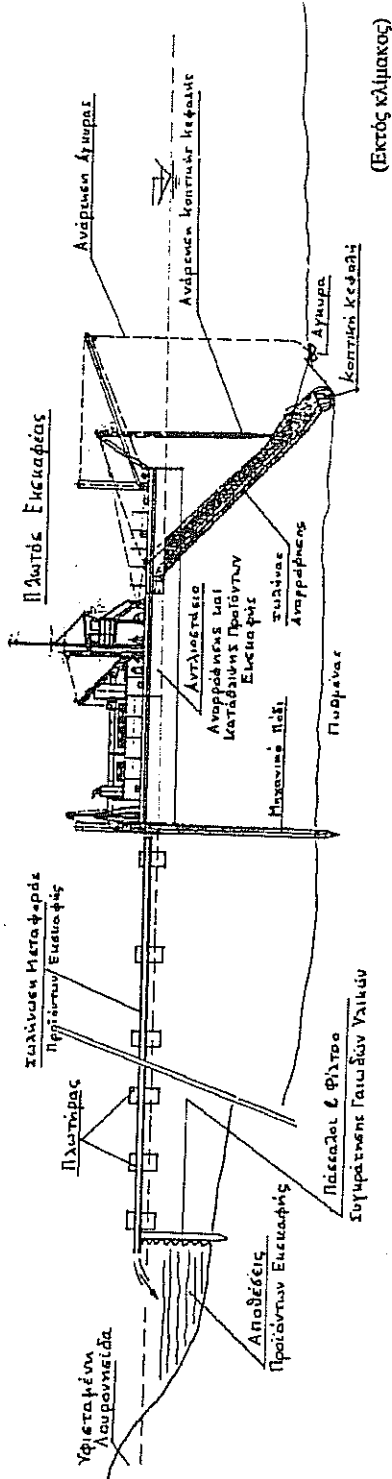
## 7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ/ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΟΤΥΧΙΟΥ

Με τα πραγματοποιηθέντα έργα εκσκαφής (Σχ. 1 και 3) αυξήθηκε τόσο ο ζωτικός χώρος για το λιμνοθαλάσσιο οικοσύστημα, όσο και η βυθομετρική κατανομή του χώρου αυτού, με ευνοϊκά περιβαλλοντικά αποτελέσματα για τη λιμνοθάλασσα [6].

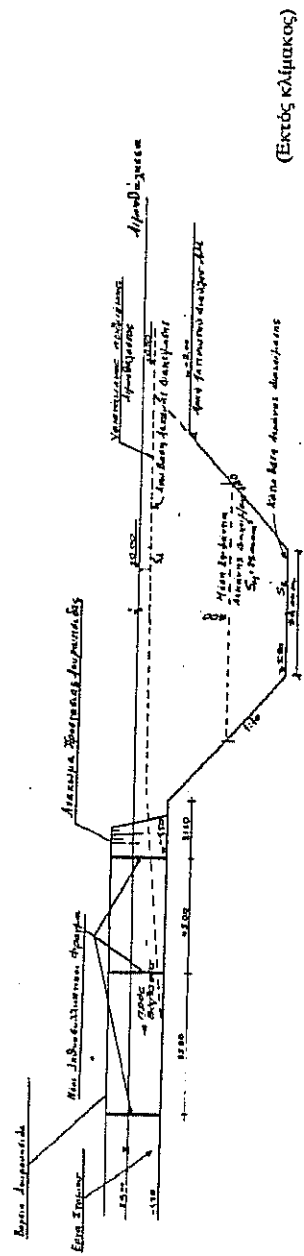
Πράγματι, μετά την υλοποίηση των έργων, η επιτυγχανόμενη ιχθυοπαραγωγή στις νέες ιχθυοσυλληπτικές εγκαταστάσεις του στομίου της λιμνοθάλασσας σημείωσε συνεχή αύξηση, τόσο ποσοτική όσο και ποιοτική (περισσότερα είδη ευρύαλων ιχθυηρών). Επιβεβαιώνεται και με τα αλιευόμενα ιχθυηρά και με μετρήσεις αλατότητας της λιμνοθάλασσας μετά τα έργα, ότι τα έργα εκσκαφής όχι μόνον αύξησαν τον όγκο των νερών της λιμνοθάλασσας κατά ~313.000 m<sup>3</sup>, δηλαδή κατά ~25%, για αρχικό όγκο



ΣΧΗΜΑ 2  
ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΦΕΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ



ΣΧΗΜΑ 3  
ΤΟΜΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΛΕΩΝΑ ΤΟΥ ΣΤΟΜΙΟΥ



υδάτων πριν από τα έργα  $1,26 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , αλλά και διευκολύνουν υδραυλικά την εισροή θαλασσινού νερού στη λιμνοθάλασσα, τόσο στην περιοχή του στομιού, όπου βρίσκεται η λεκάνη διαχείμανσης, όσο και στις παρόχθιες περιοχές της, μέσω των διαμορφωθέντων υποβρυχίων διαύλων.

Σημειώνεται, ότι η λιμνοθάλασσα Κοτυχίου είχε πριν από τα έργα, σύμφωνα με την εργασία [5], μικρό βαθμό επικοινωνίας με τη θάλασσα (μειονεκτικό στοιχείο για το οικοσύστημα), κατάσταση η οποία ανατράπηκε με τα κατασκευασθέντα έργα.

Με την προσαγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων θαλασσινού νερού στις παρόχθιες περιοχές της λιμνοθάλασσας, επιτεύχθηκαν συνθήκες ευνοϊκές για την μείωση της επιφάνειας των καλαμιώνων και αύξησης της επιφάνειας του νερού, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τη μελέτη των αεροφωτογραφιών της περιοχής [1].

Με την απόθεση των προϊόντων εκσκαφής ενισχύθηκαν και εξασφαλίστηκαν οι λουρνησίδες της λιμνοθάλασσας, οι οποίες κατά τη διάρκεια της περιόδου 1945-1987 υπέστησαν σοβαρή μείωση του πλάτους τους λόγω ακτομηχανικής διάβρωσης. Τα προϊόντα της εκσκαφής αποτέθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθεί ένα ανομιόμορφο ανάγλυφο, με τώματα και κοιλάματα. Η ποικιλότητα του ζωτικού λιμνοθαλάσσιου χώρου, σε συνδυασμό με την ποικιλότητα της ποιότητας των νερών, δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες βιοποικιλότητας στη λιμνοθάλασσα, ενώ η προαναφερθείσα υψομετρική ποικιλία των αποθέσεων στις λουρνησίδες δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες βιοποικιλότητας του χερσαίου οικοσυστήματος, πράγμα που επιβεβαιώθηκε από την επιτόπου διερεύνηση, που πραγματοποιήθηκε μετά την υλοποίηση των έργων περιβαλλοντικής αναβάθμισης. Τα υπόψη έργα αναβάθμισης βελτιώνουν ακόμη τις συνθήκες ιχθυοσύλληψης, την απαγωγή των πλημμυρικών υδάτων της λιμνοθάλασσας, ενισχύουν και εξασφαλίζουν το στόμιο της και θωρακίζουν έναντι ακτομηχανικής διάβρωσης τα εξωτερικά τμήματα των έργων διαμόρφωσης και προστασίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kalivas D., Karantounias G., Dercas N., 2000. Impact Evaluation of Agricultural Land Use of the Kotychi Biotope, Using GIS, Proc. Int. Conference "Protection and Restoration of the Environment V", Democritus Univ. of Thrace & Center of Env. Eng. Stevens Institute of Technology N.J. USA, Thessos, Greece.
2. Έγγλυο ΕΠΕ, 1987. Προστασία, ολοκληρωμένη ανάπτυξη και διαχείριση λιμνοθάλασσας Κοτυχίου Δήμου Λεχαιών, Νομού Ηλείας, Δημοσυνεταιριστική Ιχθυοτροφική Επιχείρηση Λεχαιών Ν. Ηλείας "Κοτύχι ΑΕ", Αθήνα.
3. Υδρομέδων ΟΕ – Κορωνιώτης Κ., 1989. Οριστική Μελέτη Κατασκευής Αικτωπών Διαύλων και Λεκανών Διαχείμανσης Έργων, Διαμόρφωσης Στομιού και Ιχθυοσυλληπτικών Εγκαταστάσεων και Έργων Προστασίας Λουρνησίδων, Δημοσυνεταιριστική Ιχθυοτροφική Επιχείρηση Λεχαιών Ν. Ηλείας "Κοτύχι ΑΕ", Αθήνα.
4. Έγγλυο ΕΠΕ, 1992. Οριστική Μελέτη Κατασκευής Έργου Εκχείλισης Πλημμυρικών Υδάτων και Τάφρου Ελεγχόμενης Διαβίωσης-Διατροφής Ιχθυηρών Λιμνοθάλασσας Κοτυχίου, Δημοσυνεταιριστική Ιχθυοτροφική Επιχείρηση Λεχαιών Ν. Ηλείας "Κοτύχι ΑΕ", Αθήνα.
5. Guelorget O., Castanier S., Pertuisot J.-P., 1988. Données préliminaires pour l'évaluation de l'état de l'étang de Kotychi, Δημοσυνεταιριστική Ιχθυοτροφική Επιχείρηση Λεχαιών Ν. Ηλείας "Κοτύχι ΑΕ", Αθήνα.
6. Έγγλυο ΕΠΕ, 1992. Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων έργων προστασίας ολοκληρωμένης ανάπτυξης και διαχείρισης λιμνοθάλασσας Κοτυχίου Δήμου Λεχαιών, Νομού Ηλείας, Δημοσυνεταιριστική Ιχθυοτροφική Επιχείρηση Λεχαιών Ν. Ηλείας "Κοτύχι ΑΕ", Αθήνα.

# ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

**Βασίλειος Ζ. Αντωνόπουλος**

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,  
Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 54006 Θεσσαλονίκη.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα μοντέλα-δείκτες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της δυνατότητας ή μη ρύπανσης των υπόγειων νερών από φυτοφάρμακα. Τα μοντέλα αυτά είναι ο παράγοντας επιβράδυνσης ( $R_r$ ), ο παράγοντας εξασθένησης (AF) και ο δείκτης έκπλυσης (LI). Γίνεται διερεύνηση της εφαρμοσιμότητας και αποτελεσματικότητας εφαρμογής των παραπάνω μοντέλων, στην εκτίμηση της πιθανής ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων, με εφαρμογές για διαφορετικές εδαφολογικές, υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες και στα χαρακτηριστικά των φυτοφαρμάκων.

## METHODOLOGY TO EVALUATE THE VULNERABILITY OF GROUNDWATER CONTAMINATION BY SOIL APPLIED PESTICIDES

**Vassilis Z. Antonopoulos**

Depart. of Hydraulics, Soil Science and Agr. Engineering, School of Agriculture,  
A.U.Th., 54006 Thessaloniki.

## ABSTRACT

A methodology was developed to evaluate the pesticides leaching potential and the relative vulnerability of groundwater's areas to contamination by agricultural applied pesticides. The evaluation is based on the simple index models of retardation factor ( $R_r$ ), attenuation factor (AF) and leaching potential index (LI). The index-models are verified by application under different soil, hydrological and climate conditions and for different pesticides.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση των υπόγειων νερών από τα αγροχημικά, μεταξύ των οποίων τα ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και μυκητοκτόνα, είναι ένα γεγονός που έχει επιβεβαιωθεί ερευνητικά τα τελευταία χρόνια, και θεωρείται ένα ιδιαίτερα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, όπως και ένα σημαντικό πρόβλημα της εντατικής γεωργίας.

Η παρουσία των φυτοφαρμάκων στο έδαφος και στα φυτά δημιουργεί μια σειρά από περιβαλλοντικούς κινδύνους. Η έκπλυση των φυτοφαρμάκων προς τα υπόγεια νερά αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές περιβαλλοντικές συνιστώσεις της χρήσης των φυτοφαρμάκων. Τα υπόγεια νερά αποτελούν την κυριότερη πηγή νερού γι αυτό η ρύπανσή τους από τα φυτοφάρμακα παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Αλλά και τα επιφανειακά νερά, ποτάμια, λίμνες και θάλασσες είναι αποδέκτες της ρύπανσης από τα φυτοφάρμακα δια μέσου της επιφανειακής απορροής, της διάβρωσης και της διαρροής των υπόγειων νερών. Η ένταση με την οποία γίνεται η μεταφορά εξαρτάται από την παρουσία του φυτοφαρμάκου, την ευκινησία του και την ποσότητα του νερού που κινείται επιφανειακά ή δια της εδαφικής κατατομής.

Τα φυτοφάρμακα στα υπόγεια νερά άρχισαν να καταγράφονται από το τέλος της δεκαετίας του 60. Με την έναρξη της δεκαετίας του 80 άρχισε η ανάπτυξη συστηματικών προγραμμάτων καταγραφής με σκοπό τον προσδιορισμό της έκτασης του προβλήματος και την κατανόηση και διερεύνηση των παραγόντων που καθορίζουν την ικανότητα έκπλυσης των φυτοφαρμάκων και την επικινδυνότητα ρύπανσης των υπόγειων υδατικών πόρων.

Στις καταγραφές που έγιναν στις ΗΠΑ και Ευρώπη [8] διαπιστώθηκε ότι τα ζιζανιοκτόνα αντιπροσωπεύουν την ομάδα φυτοφαρμάκων που ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά. Έχουν καταγραφεί 32 από αυτά, εκ των οποίων τα 29 σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τη μέγιστη επιτρεπόμενη. Η ατραζίνη έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα ρύπανσης και ακολουθεί τοalachlor. Τα εντομοκτόνα, επίσης, όπως και λίγα νηματωδοκτόνα και απολυμαντικά εδάφους ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά όπως δείχνουν οι υψηλοί αριθμοί καταγραφών. Αλλά και στην Ελλάδα αναφέρονται καταγραφές φυτοφαρμάκων στα υπόγεια νερά, όπως της Ημαθίας [1], παρόλο που δεν έχουν αναπτυχθεί προγράμματα συστηματικής καταγραφής της ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Η εκτίμηση του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων νερών μπορεί να γίνει με σύνθετα μαθηματικά μοντέλα που βασίζονται στις εξισώσεις μεταφοράς μάζας και των μετασχηματισμών των ουσιών στην κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη του εδάφους [4]. Λόγω της πληθώρας δεδομένων που απαιτούνται για την εφαρμογή των μοντέλων αυτών, την τελευταία δεκαετία, αναπτύσσονται απλοποιημένες διαδικασίες εκτίμησης της πιθανότητας ρύπανσης των υπόγειων νερών που μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγάλη χωρική κλίμακα και για διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα μοντέλα-δείκτες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της δυνατότητας ή μη ρύπανσης των υπόγειων νερών από ζιζανιοκτόνα. Τα μοντέλα αυτά είναι ο παράγοντας εξασθένησης (AF), ο παράγοντας επιβράδυνσης ( $R_f$ ) και ο δείκτης πιθανής έκπλυσης (LI).

## 2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.

Η μαθηματική περιγραφή της τύχης και συμπεριφοράς των φυτοφαρμάκων στο έδαφος, βασίζεται σε ορισμένες βασικές αρχές που περιγράφουν γενικότερα τη



μεταφορά μάζας των ουσιών στο έδαφος [5]. Οι διαδικασίες αυτές είναι, η μεταφορά με μετακίνηση και διασπορά, η προσρόφηση των ουσιών, οι μετασχηματισμοί τους και η πρόσληψη από τα φυτά. Την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί σύνθετα μοντέλα που περιγράφουν τις διαδικασίες αυτές. Αυτά μπορεί να είναι λεπτομερή μοντέλα που απαιτούν πολλά δεδομένα και που αποτελούν ερευνητικό μέσο για την κατανόηση της σύνθετης διαδικασίας της έκπλυσης [10], ή απλοποιημένα μοντέλα για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ανάμεσα στα γνωστά μοντέλα είναι το PRZM [7], το LEACHMP [16], το GLEAMS [12], το MACRO [11] και το WANISIM [4]. Οι διαφορές βρίσκονται στο σκοπό για τον οποίο αναπτύχθηκαν, στις εξισώσεις που επιλύονται, τις μεθόδους επίλυσης των εξισώσεων, στον τρόπο προσέγγισης των διαδικασιών προσρόφησης, μετασχηματισμών και πρόσληψης από τα φυτά και στην εξάρτηση των διαδικασιών αυτών από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η συγκέντρωση του φυτοφάρμακου στο έδαφος  $c$  ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) είναι ίση με τη ολική μάζα του στην υγρή και τη στερεά φάση του εδάφους και ορίζεται από τη σχέση

$$c = \theta C + \rho_b S \quad (1)$$

όπου  $C$  είναι η συγκέντρωση του φυτοφάρμακου στην υγρή φάση ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $\theta$  είναι η περιεχόμενη εδαφική υγρασία ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ),  $\rho_b$  είναι η πυκνότητα του εδάφους ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) και  $S$  είναι η συγκέντρωση στην στερεά φάση ή φάση προσροφήσεως ( $\mu\text{g}/\text{g}$  εδάφους).

Η ροή μάζας του φυτοφάρμακου δια μέσου του εδάφους λόγω της κίνησης του νερού και της διασποράς περιγράφεται από τη σχέση

$$J_z = qC - \theta D \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2)$$

όπου  $J_z$  είναι η ροή μάζας ανά μονάδα επιφάνειας και στη μονάδα του χρόνου ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2\text{-day}$ ),  $D$  είναι ο συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς ( $\text{cm}^2/\text{day}$ ) και  $q$  είναι η ταχύτητα Darcy ( $\text{cm}/\text{day}$ ).

Η αρχή της διατήρησης της μάζας για τις ουσίες των φυτοφαρμάκων στο εδαφικό σύστημα περιγράφεται από την εξίσωση μεταφοράς μάζας που έχει ως εξής

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_b S + \theta C) = \frac{\partial}{\partial z} \left( \theta D \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \frac{\partial qC}{\partial z} - \Phi_i - R_u \quad (3)$$

όπου  $\Phi_i$  είναι ο όρος που περιγράφει τους μετασχηματισμούς της ουσίας και  $R_u$  είναι ο όρος της πρόσληψης από τα φυτά.

Τα περισσότερα φυτοφάρμακα είναι οργανικές ενώσεις που διασπώνται κάτω από τις πιο κοινές περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι διαδικασίες διάσπασης οφείλονται σε μικροβιακές, φωτοχημικές και χημικές αντιδράσεις. Παρόλη τη συνθετότητα των παραγόντων που επηρεάζουν την αποικοδόμηση, για την περιγραφή χρησιμοποιούνται απλές πρώτης τάξης κινητικές, που εκφράζονται από τη σχέση

$$\Phi_i = \mu(\theta C + \rho_b S) \quad (4)$$

όπου  $\mu$  είναι ο συντελεστής της ταχύτητας αποικοδόμησης ( $1/\text{day}$ ) που είναι αντιστρόφως ανάλογος προς την ημιπερίοδο ζωής.

Η προσρόφηση των φυτοφαρμάκων από τα στερεά του εδάφους είναι μία από τις πιο σημαντικές αντιδράσεις. Η ένταση της προσρόφησης εξαρτάται από τις χημικές ιδιότητες της ουσίας, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την περιεχόμενη οργανική ουσία στο έδαφος. Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του φυτοφάρμακου στη στερεά φάση του εδάφους με τη συγκέντρωση στην υγρή φάση περιγράφεται από τους περισσότερους ερευνητές και τα περισσότερα μοντέλα [2] με γραμμικές εξισώσεις κινητικής ισορροπίας τύπου Freundlich

$$S = K_d C \quad (5)$$

όπου  $K_d$  είναι ο συντελεστής κατανομής ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ). Η σχέση του συντελεστή κατανομής με τον συντελεστή προσρόφησης του φυτοφαρμάκου δίνεται από τη σχέση

$$K_d = f_{oc} K_{oc} \quad (6)$$

όπου  $f_{oc}$  είναι το κλάσμα οργανικού άνθρακα του εδάφους και  $K_{oc}$  είναι ο συντελεστής προσρόφησης (adsorption coefficient).

Από τις εξ. (1) και (5) προκύπτει ο παράγοντας επιβράδυνσης,  $R_f$

$$c = \theta C + \rho_b S = \theta C(1 + K_d \rho_b / \theta) = \theta R_f C \quad (7)$$

όπου ο παράγοντας επιβράδυνσης

$$R_f = 1 + K_d \rho_b / \theta \quad (8)$$

εκφράζει το λόγο της πραγματικής ταχύτητας του νερού προς την ταχύτητα μεταφοράς της προσροφούμενης ουσίας.

Η πρόσληψη από τα φυτά θεωρείται ως παθητική διαδικασία και περιγράφεται ως συνάρτηση της πρόσληψης του νερού και της συγκέντρωσης της ουσίας στην υγρή φάση

$$R_u = f_c S_w C \quad (9)$$

όπου  $f_c$  είναι μια εμπειρική σταθερά ( $0 < f_c < 1$ ),  $S_w$  είναι η πρόσληψη του νερού ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3/\text{day}$ ).

Οι μετασχηματισμοί των ουσιών των φυτοφαρμάκων επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και η εδαφική υγρασία [4]. Η επίδραση των παραγόντων αυτών περιγράφεται με συναρτήσεις που συνδιάζονται με τους συντελεστές της ταχύτητας των μετασχηματισμών. Για την επίδραση της εδαφικής υγρασίας και της θερμοκρασίας, ο συντελεστής μετασχηματισμού έχει την μορφή

$$\mu = \mu_{op} e_w e_t \quad (10)$$

όπου  $\mu_{op}$  είναι η τιμή του συντελεστή για άριστες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας και  $e_w$ ,  $e_t$  είναι αντίστοιχα οι συναρτήσεις της επίδρασης της υγρασίας και της θερμοκρασίας [3, 6].

### 3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ

Ένα σημαντικό στοιχείο της εφαρμογής των φυτοφαρμάκων στο έδαφος είναι η εκτίμηση του κινδύνου να εκπλυθούν από τη ζώνη εφαρμογής τους και να φτάσουν στα υπόγεια νερά.

Οι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η κινητικότητα και η πιθανότητα έκπλυσης των ουσιών των διαφόρων φυτοφαρμάκων στο έδαφος, μπορούν να διακριθούν σε τρεις ομάδες: α) εδαφικές (κλάσμα οργανικού άνθρακα  $f_{oc}$ , υγρασία στην υδατοικανότητα  $\theta_{FC}$ , υδραυλική αγωγιμότητα  $K$ , φαινόμενη πυκνότητα  $\rho_b$ ), β) υδρογεωλογικές και κλιματικές (βάθος  $d$ , παροχή βαθιάς διήθησης  $q$ ), και γ) χημικές ( $K_{oc}$ , σταθερά Henry  $K_H$ , ημιπερίοδος ζώης  $t_{1/2}$ ).

Ο δείκτης έκπλυσης προκύπτει από τη διερεύνηση της εξίσωσης του ισοζυγίου μάζας (εξ. 3), θεωρώντας ότι οι συνθήκες είναι σταθερής κατάστασης και η διασπορά είναι ασήμαντη. Με τις παραδοχές αυτές η εξίσωση παίρνει την εξής μορφή

$$V \frac{dC}{dz} = -\mu R_f C \quad \text{ή} \quad \frac{dC}{dz} = -\frac{\mu R_f C}{V} = -\left[ \frac{0.693 R_f}{V t_{1/2}} \right] C \quad (11)$$

όπου  $\mu$  ( $=0.693/t_{1/2}$ ) είναι ο συντελεστής μετασχηματισμού,  $t_{1/2}$  είναι ο χρόνος ημιπερίοδου ζώης, ( $V=q/\theta$ ) είναι η ταχύτητα κίνησης του νερού στους πόρους και  $q$  είναι η παροχή εμπλουτισμού, που προκύπτει από το ισοζύγιο μεταξύ βροχής, απορροής

και εξατμισοδιαπνοής,  $\theta$  είναι η μέση εδαφική υγρασία και  $R_f$  είναι ο παράγοντας επιβράδυνσης που ορίζεται από τη σχέση

$$R_f = \left[ 1 + \frac{\rho_b K_{OC} f_{OC}}{\theta} + \frac{\varepsilon K_H}{\theta} \right] \quad (12)$$

με  $K_H$  (= πίεση ατμών/διαλυτότητα) τη σταθερά του νόμου του Henry.

Η εξ. (12) μετά την ολοκλήρωση δίνει

$$AF = \frac{C}{C_o} = \frac{M_2}{M_o} = \exp \left[ - \frac{0.693 R_f d}{V t_{1/2}} \right] = \exp \left[ - 0.693 \frac{t_r}{t_{1/2}} \right] \quad (13)$$

όπου  $M_2$  είναι η μάζα της ουσίας που φτάνει στα υπόγεια νερά,  $M_o$  είναι η μάζα της ουσίας που εφαρμόζεται στο έδαφος,  $t_r$  είναι ο χρόνος που χρειάζεται για την κίνηση της ουσίας στο έδαφος

$$t_r = d/V = \theta_{FC} R_f d/q \quad (14)$$

και  $d$  είναι η απόσταση από την επιφάνεια μέχρι την υπόγεια στάθμη,  $\theta_{FC}$  είναι η περιεχόμενη υγρασία στην υδατοϊκανότητα.

Ο δείκτης AF της εξ (13) είναι γνωστός ως *παράγοντας αραιώσης ή εξασθένισης* (attenuation factor, AF) του Rao et al. (1985). Από την εξ. (13), μετά την ανακατάταξη των όρων προκύπτει ο δείκτης έκπλυσης [14]

$$LI = 1000 \frac{V}{(0.693/t_{1/2}) R_f d} \quad (15)$$

Η σταθερά 1000 προστέθηκε στην εξίσωση για τη μετατροπή του δείκτη LI σε τιμές μιάς πιά πρακτικής κλίμακας. Υψηλές τιμές του LI δείχνουν συνθήκες με μεγάλη πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Οι τιμές του παράγοντα AF κυμαίνονται από μηδέν μέχρι ένα, ενώ ο παράγοντας επιβράδυνσης  $R_f$  είναι μεγαλύτερος ή ίσος από τη μονάδα. Οι τιμές των δύο παραγόντων χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των φυτοφαρμάκων και άλλων οργανικών ουσιών ως προς τη δυνατότητα έκπλυσης. Είναι δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια πρώτη εκτίμηση της δυνατότητας έκπλυσης των διαφόρων χημικών ενώσεων των φυτοφαρμάκων σε μια δεδομένη θέση ή διαφορετικές θέσεις με μεταβλητές εδαφικές ιδιότητες [9]. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται μια κατάταξη των τιμών των παραγόντων αραιώσης και επιβράδυνσης που παρουσιάστηκε από τον Loague (1991).

Από τις ιδιότητες των φυτοφαρμάκων που αναλύθηκαν παραπάνω και τις εξισώσεις που περιγράφουν δείκτες και δυνατότητα έκπλυσης τους προς τα υπόγεια νερά είναι φανερό ότι οι ιδιότητες του φυτοφάρμακου, ο τύπος εδάφους, το βάθος της υπόγειας στάθμης και η πρακτική εφαρμογή του είναι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ρύπανση των υπόγειων νερών. Στον Πίνακα 2 δίνεται ο συνδυασμός όλων αυτών των παραμέτρων που απαιτούνται για να εκτιμηθούν οι πιά ευάλωτες περιοχές στην ρύπανση των υπόγειων νερών.

#### 4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

**Εφαρμογή 1η.** Ένα oxisols έδαφος έχει τις εξής τιμές των εδαφικών παραμέτρων  $f_{OC} = 0.03$ ,  $\theta_{FC} = 0.43$ ,  $\rho_b = 1.107 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_p = 3.005 \text{ g/cm}^3$ . Οι υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από  $q = 0.00074 \text{ m/d}$  και  $d = 0.5 \text{ m}$ . Χρειάζεται να εκτιμηθεί ο κίνδυνος έκπλυσης για την atrazine και diuron, που έχουν τις εξής χημικές ιδιότητες  $K_{OC} = 0.163 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $K_H = 0.0$ ,  $t_{1/2} = 20 \text{ days}$  και  $K_{OC} = 0.383 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $K_H = 0.0$ ,  $t_{1/2} = 328 \text{ days}$  αντίστοιχα. Ο προσδιορισμός των δεικτών  $R_f$  και AF για τα δύο ζιζανιοκτόνα και

τις συνθήκες που δίνονται, δίνει τις τιμές: atrazine,  $R_f=11.7$ ,  $AF=1.2 \times 10^{-51}$ , και diuron,  $R_f=26.2$ ,  $AF=1.1 \times 10^{-7}$ . Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα 1 τα δύο ζιζανιοκτόνα χαρακτηρίζονται ακινητοποιούμενα και ως προς τον παράγοντα εξασθένησης πολύ απίθανη έκπλυση.

Πίνακας 1. Κατάταξη ως προς τη δυνατότητα έκπλυσης ανάλογα με τις τιμές των παραγόντων εξασθένησης (αραιώσης) (AF) και επιβράδυνσης ( $R_f$ ).

Κλάση κατάταξης	Δείκτης $R_f$	Κλάση κατάταξης	Δείκτης AF
Μεγάλη κινητικότητα ευκίνητο	$R_f = 1.0$ $1.0 < R_f < 2.0$	μηδενική έκπλυση μικρή έκπλυση	$0.0 < AF < 10^{-4}$ $10^{-4} \leq AF < 10^{-2}$
μέση κινητικότητα	$2.0 \leq R_f < 3.0$	μέση έκπλυση	$10^{-2} \leq AF < 10^{-1}$
μικρή κινητικότητα	$3.0 \leq R_f < 10.0$	μεγάλη έκπλυση	$10^{-1} \leq AF < 2.5 \times 10^{-1}$
ακινητοποίηση	$R_f \geq 10.0$	πολύ μεγάλη έκπλυση	$2.5 \times 10^{-1} \leq AF < 1$

Πίνακας 2. Παράγοντες που δείχνουν τις μεγαλύτερες πιθανότητες ρύπανσης των υπόγειων νερών από τα φυτοφάρμακα.

<p>Ιδιότητες του φυτοφάρμακου: υψηλή διαλυτότητα χαμηλή προσρόφηση υπολειμματικότητα</p> <p>Εδαφικά χαρακτηριστικά: άμμος και χάλικες χαμηλή περιεκτικότητα οργανικής ουσίας</p>	<p>Συνθήκες της περιοχής: μικρό βάθος της υπόγειας στάθμης υγρό κλίμα ή υψηλή άρδευση επίπεδες περιοχές</p> <p>Πρακτική εφαρμογής: ακατάλληλος χρόνος ως προς τις κλιματικές συνθήκες μεγάλες ποσότητες εφαρμογές (μεγάλες δόσεις ή συχνές εφαρμογές)</p>
--	---

**Εφαρμογή 2η.** Η μελέτη της επικινδυνότητας ρύπανσης των υπόγειων νερών από την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων επί σειρά ετών σε μία περιοχή, έγινε με την εκτίμηση των δεικτών έκπλυσης AF και  $R_f$ . Η περιοχή χωρίζεται σε τρεις υποπεριοχές με διαφορετικές εδαφολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες. Στον Πίνακα 3 δίνονται τα χαρακτηριστικά για τις τρεις αυτές υποπεριοχές. Στην περιοχή χρησιμοποιούνται τα ζιζανιοκτόνα ametryn, atrazine, diuron και simazine, οι ιδιότητες που αφορούν την προσρόφηση και την έκπλυση δίνονται στον Πίνακα 4.

Γιά να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών της περιοχής από την συνεχιζόμενη χρήση ζιζανιοκτόνων υπολογίζονται οι παραπάνω δείκτες του παράγοντα επιβράδυνσης  $R_f$  (εξ. 8), του παράγοντα εξασθένησης AF (εξ.13) και υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για την μεταφορά των αντίστοιχων ζιζανιοκτόνων στην υπόγεια στάθμη ( $t_r$ ). Τα αποτελέσματα των αντίστοιχων υπολογισμών δίνονται στον Πίνακα 5. Στην υποπεριοχή Α, όπου η υπόγεια στάθμη βρίσκεται στα 2 m οι συνθήκες χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακινητοποίηση των φυτοφαρμάκων και μηδενική έκπλυση. Στη δεύτερη υποπεριοχή με το ίδιο βάθος υπόγειας στάθμης, οι συνθήκες ευνοούν κάποια μικρή κινητικότητα, αλλά η έκπλυση παραμένει μηδενική, ενώ στην τρίτη υποπεριοχή, ενώ αυξάνει η κινητικότητα της atrazine και ametryn, η έκπλυση είναι μηδενική.

Πίνακας 3. Εδαφολογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα.

Βάθος [m]	φαινόμενη πυκνότητα $\rho_b$ [kg/m <sup>3</sup> ]	πυκνότητα στερεών $\rho_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]	περιεχόμενος οργανικός C $f_{oc}$ %	υγρασία στην υδατοϊκανότητα $\theta_{FC}$ [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	μέση ετήσια βαθιά διήθηση $q$ [m/yr]
<b>α) υποπεριοχή Α</b>					
0-2.0	1140	3000	3.68	0.53	1.83
<b>β) υποπεριοχή Β</b>					
0-2.0	1140	3000	1.02-3.68 μέση 1.8	0.53	1.83
<b>γ) υποπεριοχή Γ</b>					
0-10.0	1010-1140 μέση 1040	3000	0.-2.9 μέση 0.8	0.53	1.83

Πίνακας 4. Ιδιότητες των ζιζανιοκτόνων.

	$K_{oc}$ m <sup>3</sup> /kg	$K_{it}$ (αδιάστατο)	$t_{1/2}$ (ημέρες)
Ametryn	0.127	$5.04 \times 10^{-8}$	49
Atrazine	0.037	$2.50 \times 10^{-7}$	69
Diuron	0.345	$5.40 \times 10^{-8}$	153
Simazine	0.167	$3.40 \times 10^{-8}$	75

Πίνακας 5. Τιμές των δεικτών επικινδυνότητας ρύπανσης των υπόγειων νερών.

	$R_f$	AF	$t_r$ έτη	χαρακτηρισμός
<b>α) υποπεριοχή Α</b>				
ametryn	11.053	$4 \times 10^{-15}$	6.402	ακίνητοποίηση, μηδενική έκπλυση
atrazine	3.929	$7 \times 10^{-5}$	2.276	μικρή κινητικότητα, μηδενική έκπλυση
diuron	28.308	$2 \times 10^{-12}$	16.397	ακίνητοποίηση, μηδενική έκπλυση
simazine	14.219	$9 \times 10^{-13}$	8.236	ακίνητοποίηση, μηδενική έκπλυση
<b>β) υποπεριοχή Β</b>				
ametryn	5.917	$2 \times 10^{-8}$	3.427	μικρή κινητικότητα, μηδενική έκπλυση
atrazine	2.433	0.0026	1.409	μέση κινητικότητα, μικρή έκπλυση
diuron	14.357	$1 \times 10^{-6}$	8.316	ακίνητοποίηση, μηδενική έκπλυση
simazine	7.466	$5 \times 10^{-7}$	4.324	μικρή κινητικότητα, μηδενική έκπλυση
<b>γ) υποπεριοχή Γ</b>				
ametryn	2.994	$4 \times 10^{-20}$	8.670	μέση κινητικότητα, μηδενική έκπλυση
atrazine	1.581	$4 \times 10^{-9}$	4.578	ευκίνητο, μηδενική έκπλυση
diuron	6.416	$5 \times 10^{-14}$	18.581	μικρή κινητικότητα, μηδενική έκπλυση
simazine	3.622	$4 \times 10^{-16}$	10.489	μικρή κινητικότητα, μηδενική έκπλυση

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας ρύπανσης των υπόγειων νερών από την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων και γενικότερα φυτοφαρμάκων εδάφους εξαρτάται από τις ιδιότητες της ουσίας, κυρίως την προσρόφιση, την διάσπαση και διαλυτότητά της, από τις υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες, κυρίως την παροχή βαθιάς διήθησης, την τοπογραφία και το βάθος της υπόγειας στάθμης και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους που αναφέρονται στην μηχανική σύσταση και την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

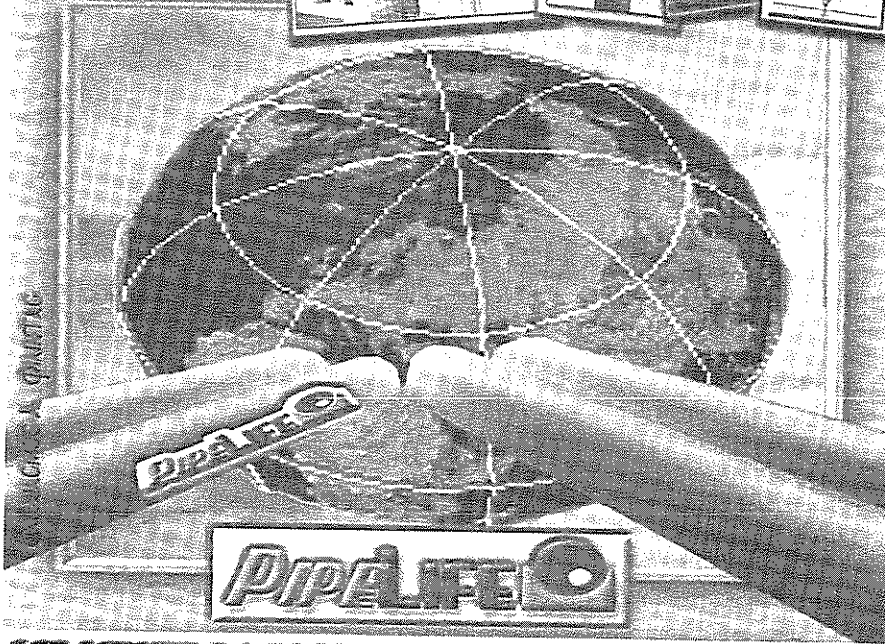
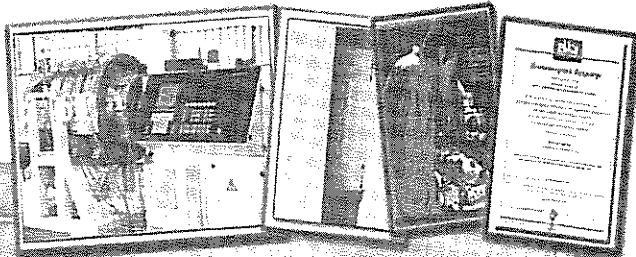
Τα μοντέλα-δείκτες που παρουσιάστηκαν για την εκτίμηση της δυνατότητας ή μη ρύπανσης των υπόγειων νερών από ζιζανιοκτόνα είναι ο παράγοντας εξασθένησης (AF) και ο παράγοντας επιβράδυνσης (RF) και ο δείκτης πιθανής έκλυσης (LI), δίνουν μόνο ενδείξεις για την επικινδυνότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών. Παρόλα αυτά μπορεί να κατασκευαστούν χάρτες επικινδυνότητας μίας περιοχής λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, και να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό διαχειριστικών πρακτικών που θα στοχεύουν στην αειφορική γεωργία και την προστασία των υπόγειων νερών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Albanis T.A., Hela D.G, Sakellarides J.M. and Konstantinou I.K., 1998. Pesticide residues in surface water, groundwaters and rainfall of Imathia (Greece). *Proceedings of Environmental Protection and Restoration V*, Sani Chalkidiki, pp. 119-126.
2. Αντωνόπουλος Β., 2000. Μεταφορά μάζας και προσρόφηση ρύπων και ουσιών σε πορώδη εδαφικά υλικά. *Πρακτικά του Συνεδρίου της ΕΥΕ*, Αθήνα (υπό δημοσίευση).
3. Antonopoulos, V., 1999. Comparison of different models to simulate soil temperature and moisture effects on nitrogen mineralization, *J.Plant Nutr. Soil Sci.*, 162: 667-675.
4. 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.
5. Αντωνόπουλος, Β. και Βούζης Γ., 1997. Διερεύνηση των εξισώσεων ισορροπίας και κινητικής προσρόφησης του Freundlich κατά τη μεταφορά μάζας του φωσφόρου στο έδαφος. *Υδροτεχνικά*, Τομ.7: 3-18.
6. Boesten, J.J.T.I., and Van der Linden A.M.A., 1991. Modelling the influence of sorption and transformation on pesticide leaching and persistence. *J. of Environ.Qual.*, 20: 425-435.
7. Carsei R.F., Mulkey L.A., Lorber M.N. and Baskin L.B., 1985. The pesticide root zone model (PRZM): a procedure for evaluating pesticide leaching threats to groundwater. *Ecol. Model.*, 30: 46-69.
8. Funari E., Donati L., Sandroni D. and Vighi M., 1995. Pesticide levels in groundwater: Value and limitations of monitoring. In Vighi, M. and E. Funari, (eds) *Pesticide risk in groundwater*. CRC Press, Inc., U.S.A., pp 3-44.
9. Giambelluca T.W., Loague K., Green R.E. and Nullet M.A., 1996. Uncertainty in recharge estimation: impact on groundwater vulnerability assessments for the Pearl Harbor Basin, O'ahu, Hawai'i, U.S.A., *J. of Contam. Hydrol.*, 23: 85-112.
10. Hutson J.L. and Wagenet R.J., 1992. LEACHM: Leaching estimation and chemistry model. A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Version 3, Depart. of Soil, Crop and Atmospheric Sciences Res. Series no. 92-3, New York state College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca, NY, USA.
11. Jarvis, N., 1994. The MACRO Model (Version 3.1) Technical description and samples simulations. Depart. of Soil Sciences, Report and Dissertations No 19, Uppsala.
12. Leonard R.A., Knisel W.G. and Still D.A., 1990. GLEAMS: groundwater loading effects of agricultural management systems. *Trans. ASAE*, 30: 1403-1418.
13. Loague, K., 1991. The impact of land use on estimates of pesticide leaching potential: Assessments and uncertainties. *J of Contam. Hydrol.*, 8: 157-175.
14. Meeks, Y.J. and Dean J.D., 1990. Evaluating ground-water vulnerability to pesticides. *J. of Water Resour. Planning and Manag.*, ASCE, 116: 693-707.
15. Rao, P.S.C., Hornsby A.G. and Jessup R.E., 1985. Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. *Proc. Soil and Crop Science Society of Florida*, 44: 1-8.
16. Wagenet R.J., and Hutson J.L., 1986. Predicting the fate of nonvolatile pesticides in the unsaturated zone. *J. of Enviro. Qual.*, 15: 315-322.

**PIPELIFE**

PIPELIFE ΕΛΛΑΣ Α.Ε.  
Βιομηχανία Πληρωμάτων 2 ορόφου



ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ  
ΟΙΚΟΔΟΜΗ  
ΥΔΡΕΥΣΗ

ΑΠΟΚΕΤΕΥΣΗ  
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ  
ΔΙΑΝΟΜΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ



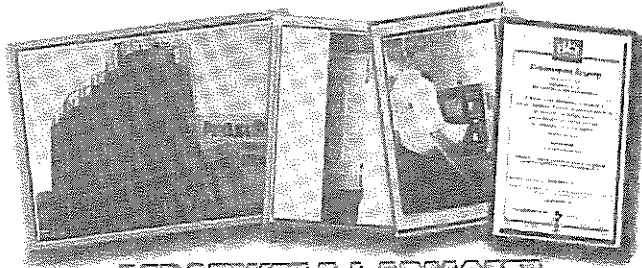
**PIPELIFE**

# PIPELIFE

PIPELIFE ΕΛΛΑΣ Α.Ε.  
Πολυμεταλλικά Ηλεκτρονικά Συστήματα

ΠΡΑΓΕΙΑ  
Χρυσ. Εμπόνης 124, 153 46 Μοσχάτο  
Τηλ: 948 0222 - 4, Φαξ 948 0233  
Τηλ. Παραγγελιών: 02623 21957 - 21706

ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ  
Τ.Ο. 111, 322 00 Θέρση  
Τηλ: 02623 26639  
Φαξ: 02623 25666

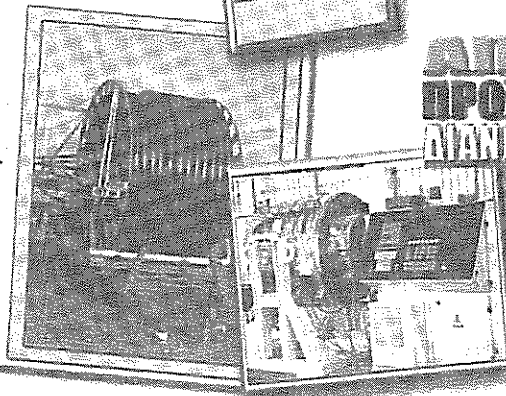


## ΑΠΡΟΤΙΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΙΚΟΔΟΜΗ ΥΔΡΕΥΣΗ

- ✓ Σταλακτηφόροι Σωλήνες.
- ✓ Σωλήνες από PE και από PVC για μεταφορά αρδευτικού νερού.
- ✓ Σωλήνες από PE για χρήση σε καρούλια.
- ✓ Σωλήνες οικοδομής από PE και από PVC.
- ✓ Σωλήνες ύδρευσης από PE και από PVC.
- ✓ Σωλήνες απογέτευσης από PE και από PVC.
- ✓ Σωλήνες προστασίας καλωδίων από PE και από PVC.
- ✓ Σωλήνες διανομής φυσικού αερίου από PE.



ΟΧΕΛΛΙΜΟΣ-Α. ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ



## ΑΠΟΚΕΤΕΥΣΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

# PIPELIFE

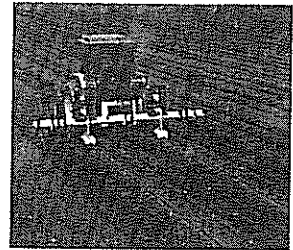
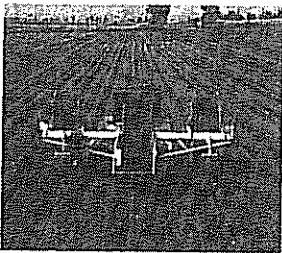
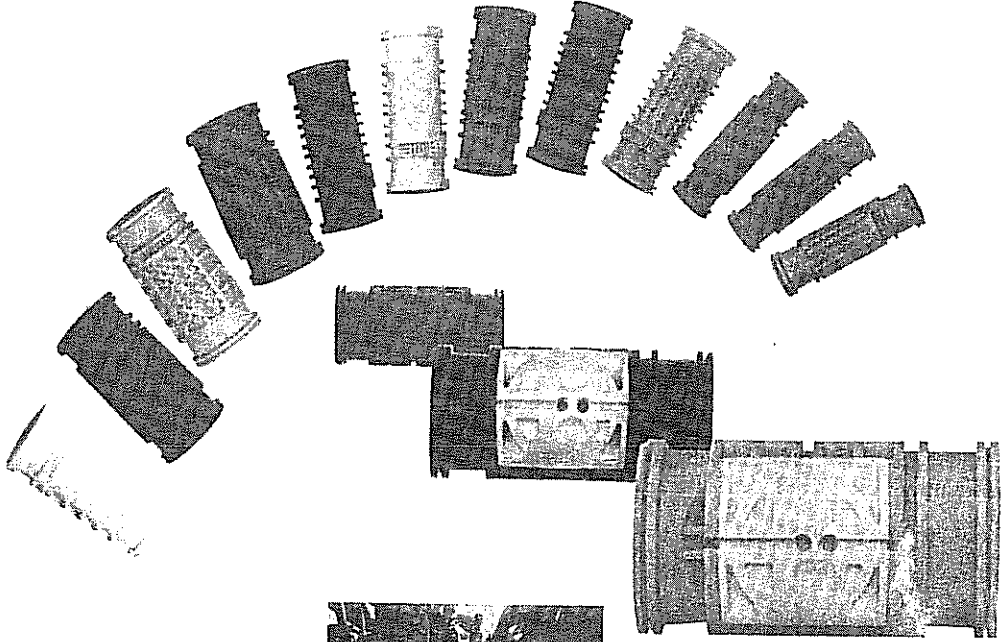


**PLASTRO** INTERNATIONAL

INTEGRAL DRIPLINES

# η νέα γενιά σταλακτηφόρων σωλήνων της Plastro...

(με ενσωματωμένους κυλινδρικούς σταλάκτες)



## ...είναι η λύση σε κάθε πρόβλημα ποτίσματος



**αγροδομή**  
συστήματα άρδευσης

**Μ. & Ζ. ΚΑΚΑΒΑ ΟΕ**  
ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ 362, 163 41, ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, ΑΘΗΝΑ  
ΤΗΛ. 65 14 958, 65 46 537, FAX: 65 49 671



# Hydro P.C.

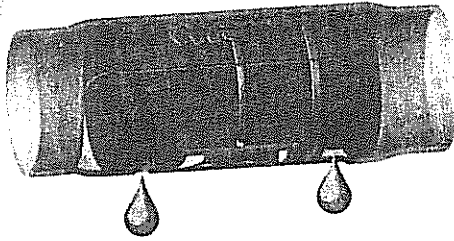


## αγροδομή

συστήματα άρδευσης

**M. & Z. KAKABA O.E**  
ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ 382, 153 41, ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, ΑΘΗΝΑ  
ΤΗΛ. 65 14 950, 65 45 537, FAX: 65 49 571

### INTEGRAL DRIPLINES



## Αυτορρυθμιζόμενος και αυτοκαθαριζόμενος σταλακτηφόρος σωλήνας με ενσωματωμένους σταλάκτες.

Κυλινδρικός σταλάκτης με λαβύρινθο μεγάλης διαδρομής. Θάλαμος αυτορρύθμισης, με μια ευαίσθητη επιπλέουσα μεμβράνη (διάφραγμα), η οποία ρυθμίζει και διατηρεί σταθερή την παροχή, ανεξάρτητα από την πίεση εισόδου.

### Κύρια Χαρακτηριστικά

- Μεγάλη αντοχή στο βούλωμα, διότι ο σταλάκτης:
  - διαθέτει μεγάλης επιφάνειας φίλτρο στην είσοδο, το οποίο αυτοκαθαρίζεται συνεχώς με την κίνηση του νερού.
  - διαθέτει μηχανισμό αυτοκαθαρισμού στην έξοδο του νερού, μέσα στο θάλαμο αυτορρύθμισης.
- Δύο εξοδοί του νερού.
- Ομοιομορφία ποτίσματος: Κατηγορία A-ISO 9261.
- Απόλυτα ομοιόμορφο πότισμα σε όλο το μήκος της γραμμής και σε πιέσεις από 0,8 έως 3,5 ατμ.
- Ομοιόμορφο πότισμα ακόμη και σε πολύ επικλινή εδάφη.

### Εφαρμογές

Για όλες τις καλλιέργειες όταν υπάρχουν κλίσεις και για όλες τις γραμμικές καλλιέργειες με μεγάλα μήκη γραμμών (βαμβάκι, καλαμπόκι, βιομηχανική τομάτα, τεύτλα, καπνός, καρπούζι) και όπου χρειάζεται απόλυτα ομοιόμορφο πότισμα - θερμοκήπια, υδρολιπάνσεις.

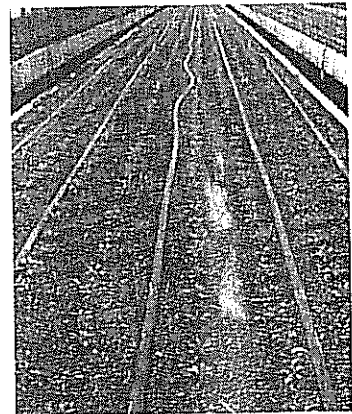
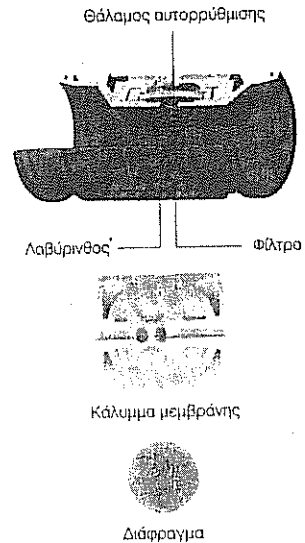
### Υλικά κατασκευής

- Σωλήνας: Πολυαιθυλένιο - παρθένο πρώτη ύλη - ενισχυμένο (Linear-LOPE).
- Σταλάκτης: Υψηλής ποιότητας πολυαιθυλένιο.
- Διάφραγμα: Σιλκόνη.

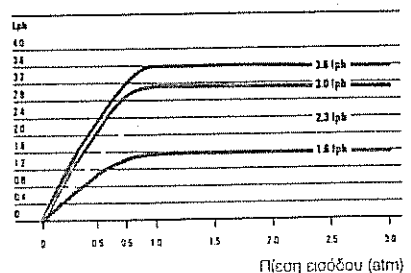
Τα υλικά κατασκευής του σταλάκτη και του σωλήνα είναι ανθεκτικά σε όλα τα γνωστά χημικά και λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στη Γεωργία. Είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία και τη μηχανική καταπόνηση.

### Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Διαθέσιμος σε διάμετρο σωλήνα: Φ16, Φ17 και Φ20.
- Πάχος σωλήνα: 0,9-1,0-1,1-1,15 χιλ. (35-45 Mill).
- Σταθερή εσωτερική διάμετρος, ανεξάρτητα από το πάχος του σωλήνα.
- Παροχές: 1,6-2,2-3,0-3,6 Λιτ/ώρα.
- Πίεση λειτουργίας: 0,8-3,5 ατμ.

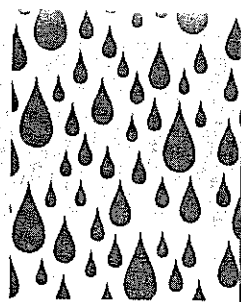


### Hydro P.C. Διάγραμμα παροχής-πίεσης



**ΝΕΤΑΦΙΜ**  
 IRRIGATION EQUIPMENT  
 & DRIP SYSTEMS

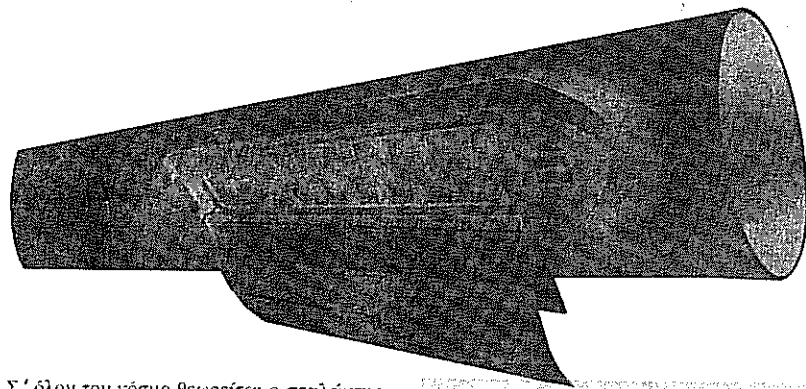
Kibbutz Netzerim - D.N. Hanagan 4, 85420, Israel,  
 Tel: 972 7 6473111, Fax: 972 7 6420098.



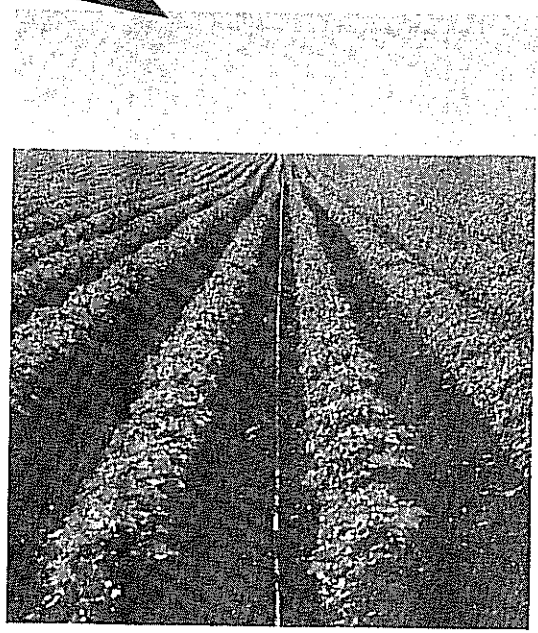
ΕΣΤΙΜΗΤΙΚΟΣ ΣΤΑΛΑΚΤΗΣ

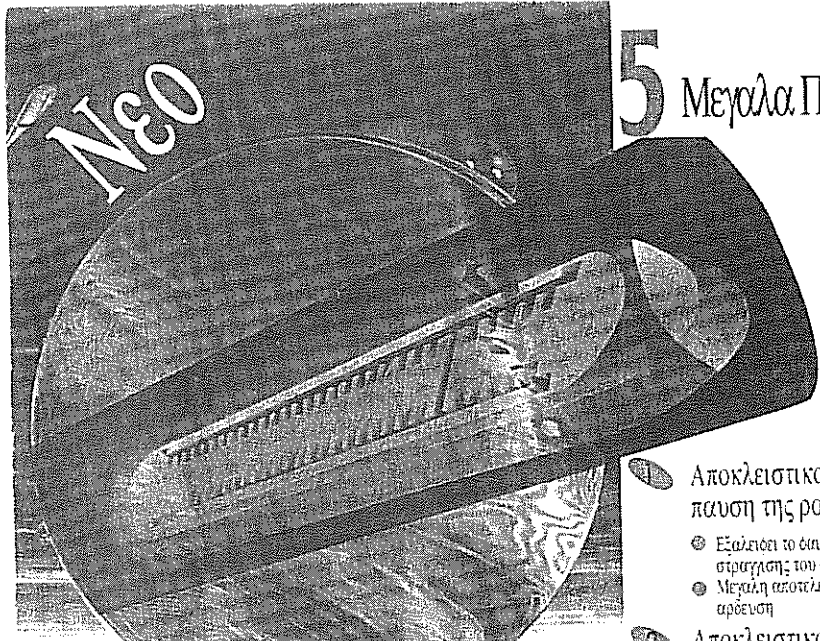
# Ρ Α Μ

ΣΤΑΛΑΚΤΟΦΟΡΟΙ ΣΩΛΗΝΕΣ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗΣ ΠΙΕΣΗΣ



- Σ' όλον τον κόσμο θεωρείται ο σταλάκτης ρυθμιζόμενης πίεσης με την μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Λειτουργεί βάση της πιο προηγμένης τεχνολογίας ρυθμιζόμενης πίεσης η οποία βασίζεται σε έναν μοναδικό μηχανισμό μεταβολής της πίεσης.
- Ο σταλάκτης διατηρεί σταθερή παροχή σε πιέσεις οι οποίες κυμαίνονται από 5 ως 40 m.
- Ομοιόμορφη παροχή σταλάκτη σε σταλακτοφόρους σωλήνες ως και 800 m μήκους.
- Διατίθεται σε όλες τις αποστάσεις σταλακτών και σε μεγάλη ποικιλία παροχών σταλάκτη.
- Διατίθεται σε διάφορα πάχη τοιχωμάτων.
- Μπορεί να λειτουργήσει χρησιμοποιώντας ακάθαρτα νερά.
- Έχει υψηλή αντοχή στις μηχανικές βλάβες.





# 5 Μεγάλα Πλεονεκτήματα

## SUPER-RAM

Ο σταλακτοφόρος σωλήνας ρυθμιζόμενης πίεσης που δεν περιμένει τον 21ο Αιώνα

- 1. Αποκλειστικός μηχανισμός για την παύση της ροής (CNL)
  - Εξάλειψι το άνωμενο της επαναρμησης και της στράγγισης του συστήματος
  - Μεγάλη αποτελεσματικότητα στην πόσιμη αρέδευση
- 2. Αποκλειστικός μηχανισμός για την αποφυγή δημιουργίας κενου αερα
  - Προλαμβάνει την αναρροση βρωμιας μέσα στον σταλακτοδορο σωλήνα
  - Ιδανικό για υπογεια αρέδευση
- 3. Αποκλειστικό όραμα για την αποφυγή της εισβολής ριζών
  - Ιδανικό για υπογεια αρέδευση
- 4. Με μοναδική αποτελεσματικότητα και αντοχή στο βουλωμα
  - Διπλοζ λαβυρινθος με τις σαρδύτερες διόδους-βασισμενος στην πατενταρισμενη τεχνολογια Turbopet
  - Μηχανισμο: συνεχη αυτοκαθαρισμου
  - Προλαμβάνει την εισοδο ιζηματων αμμου στις διόδους νερου του σταλακτη
  - Βελτιωμενο φίλτρο εισόδου με πατενταρισμενο οδοντωτο σχεδιο
- 5. Ευρυ πεδιο ρυθμισης
  - Διατηρει ομοιομορή παροχη σε ένα ευρυ πεδιο πιεσεων απο 5-40 m













