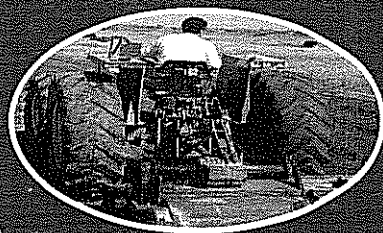
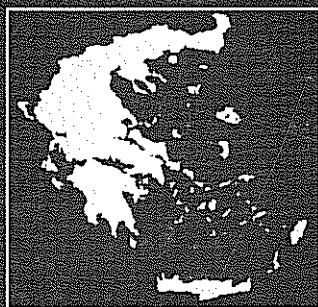
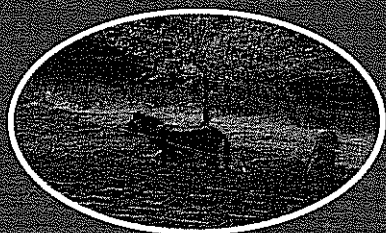


1^ο Εθνικό Συνέδριο ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΤΟΜΟΣ
ΕΙΣΗΓΗΣΕΩΝ



ΓΕΩΡΓΙΚΑ
ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ



ΕΛΑΦΟΣ
ΝΕΡΟ

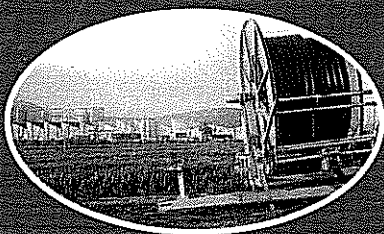
ΓΕΩΡΓΙΚΑ
ΚΤΙΡΙΑ



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ-
ΑΠΟΒΛΗΤΑ-ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΑ

ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΕΤΑΙΡΕΙΑ
ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ



1^ο ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΤΟΜΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΕΩΝ

1998

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ: Βίκη Παπανικολάου

ART DIRECTOR: Ρούλα Τζιωρτζιώτη

ΣΤΟΙΧΕΙΟΘΕΣΙΑ: ΑΘΩΣ

FILM: bp Studios

ΕΚΤΥΠΩΣΗ: ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΑΕΒΕ

ΕΚΔΟΣΗ 1998

©ΑΘΩΣ

Στ. Παπανικολάου 10Α ● Κορωπί 194 00

Τηλ. 662.79.81 ● Fax: 662.37.58



ΑΘΩΣ

ΤΟΜΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΕΩΝ

1ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

1η ΜΕΡΑ - Παρασκευή 11 Δεκεμβρίου 1998

Αίθουσα Α

- ◆ Γεωργικά Μηχανήματα και Παραγωγή Ισχύος
- ◆ Ενέργεια και Γεωργία

Αίθουσα Β

- ◆ Έδαφος & Νερό - Περιβάλλον
- ◆ Γεωργικά Κτίρια

2η ΜΕΡΑ - Σάββατο 12 Δεκεμβρίου 1998

Αίθουσα Α

- ◆ Επεξεργασία Προϊόντων - Απόβλητα - Απορρίματα
- ◆ Γεωργικά Μηχανήματα και Παραγωγή Ισχύος

Αίθουσα Β

- ◆ Έδαφος & Νερό - Περιβάλλον

Οργανωτική Επιτροπή

Δρ. Γ. Παπαδάκης (Πρόεδρος)
Δρ Ν. Δαναλάτος
Δρ Ν. Δέρκας
Ν. Κουτσοβίτης
Δρ Α. Μιστριώνης
Δρ Π. Παναγάκης

Επιστημονική Επιτροπή

Σ. Κυρίτσος (Πρόεδρος)	Δρ Γ. Μαρτζόπουλος
Γ. Παπαδάκης (Αντιπρόεδρος)	Δρ Χ. Μαρτζοπούλου
Δρ Κ.-Β. Ακριτίδης	Δρ Γ. Μαυρογιαννόπουλος
Δρ Π. Αξαόπουλος	Δρ Ι. Μήτσιος
Δρ Σ. Βάλμης	Δρ Δ. Μπριασούλης
Δρ Β. Βασιλάτος	Δρ Χ. Μπαμπατζιρόπουλος
Δρ Φ. Γέρπτος	Α. Παπαγιαννοπούλου
Δρ Δ. Γεωργακάκης	Δρ Γ. Παρισόπουλος
Δρ Ν. Δαλέζιος	Δρ Γ. Πιτσιλής
Δρ Ν. Δαναλάτος	Δρ Α. Πουλοβασίλης
Δρ Ν. Δέρκας	Δρ Ν. Σιγρίμης
Δρ Π. Καρακατσούλης	Δρ Μ. Σκαρβέλας
Δρ Κ. Καρύτσας	Δρ Χ. Σούτερ
Δρ Κ. Κίττας	Δρ Γ. Τερζίδης
Δρ Ι. Κόκκορας	Δρ Χ. Τζιμόπουλος
Δρ Γ. Λαμπρινός	Δρ Κ. Τσατσαρέλης
Δρ Μ. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη,	

ΤΟΜΟΣ ΕΙΣΗΓΗΣΕΩΝ - ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ

Σύστημα Δοκιμών Διατάξεων Προστασίας σε Περίπτωση Ανατροπής Ελκυστήρων	11
<i>Πόδος Π., Αντωνούλας Γ., Σερσελούδης Χ., Παρισόπουλος Γ.</i>	
Μηχανοσυλλογή Βαμβακιού σε Στενές Αποστάσεις μεταξύ Γραμμών Σποράς	21
<i>Μπαρτζιάλης Δ., Γαλανοπούλου-Σενδουκά Σ.</i>	
Βελτίωση του Βαθμού Απόδοσης Φυγόκεντρης Αντλίας με Προέκταση των Πτερυγίων	27
<i>Ακριτίδης Κ., Καλοκάσης Π.</i>	
Επανασχεδιασμός με σκοπό τη Μείωση του Κόστους Παραγωγής Δισκοσβάρνας	35
(Εργοστασίου Σάμπρη)	
<i>Τσιρίκογλου Θ., Γέμτος Θ.</i>	
Ο Σχεδιασμός και η Κατασκευή του Νέου Αρότρου TERRA 2000.	47
<i>Κούγκουλος Αθ., Μπαλουκτής Σ., Κατσής Χρ., Γέμτος Θ.</i>	
Σήμανση CE για τα Γεωργικά Μηχανήματα - Κατάρτιση Τεχνικού Φακέλου.	53
<i>Παπαγιαννοπούλου Α., Παρισόπουλος Γ.</i>	
Το Ηλεκτρονικό Εμπόριο στις Ελληνικές Επιχειρήσεις Γεωργικών Μηχανημάτων	63
<i>Κωστοπούλου Κ., Σιδερίδης Α.</i>	
Απώλειες κατά τη Μηχανική Συγκομιδή των Ζαχαροτεύτλων στην Θεσσαλία.	71
Στοιχεία 1996	
<i>Γέμτος Θ., Δέμης Βλ., Αλεξάνδρου Αθ., Καραμούτης Χρ.</i>	
Καλλιέργεια Επισπόρου Αραβοσίτου με το Σύστημα της Κατευθείαν Σποράς.	81
<i>Λιθουργίδης Α., Τσατσαρέλης Κ.</i>	
Καλλιέργεια Βαμβακιού σε Αναχώματα: Μια Εναλλακτική Μέθοδος.	89
<i>Σταθάκος Θ., Γέμτος Θ.</i>	
Προβλήματα Διαχείρισης και Κατασκευής Γεωργικών Μηχανημάτων	101
<i>Νάτσος Θ.</i>	

2η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑ

- Τύποι, Εξοπλισμός, Ενεργειακή Αξιολόγηση και Δυνατότητες Εξοικονόμησης 109
Ενέργεια στα Θερμοκίπια της Μαγνησίας
Μπαρτζάνας Θ., Γιαγλάρας Π., Κίττας Κ.
- Θέρμανση και Δροσισμός Θερμοκηπίων με Συστήματα Συνδιασμού 121
Γεώτρησης/Αντλίας Θερμότητας
Καρύτσας Κ.
- Πειραματικά μελέτη και αξιολόγηση φωτοβολταϊκού συστήματος άντλησης 129
νερού με αντλία θετικής μετατόπισης
Καλλιβρούσης Α., Μανωλάκος Δ., Παπαδάκης Γ.
- Τυποποίηση και Συναφείς Δραστηριότητες. 145
Γκιθώνας Γ.

3η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

- Φορτία Ανέμου σε Θερμοκίπια 153
Μπριασούλης Δ., Τσιρογιάννης Γ., Μυστριώτης Α.
- Προσδιορισμός του Βαθμού Αερισμού σε Διπλό Τοξωτό Θερμοκίπιο 165
Βασιλείου Ν., Νικήτα-Μαρτζόπουλου Χ., Μαρτζόπουλος Γ.
- Πειραματικός Προσδιορισμός του Ολικού Συντελεστή Απωλειών 185
Θερμότητας σε ένα Πλαστικό Θερμοκίπιο
Κατσούλας Ν., Μπαρτζάνας Θ., Κίττας Κ.
- Ρύθμιση του Περιβάλλοντος των Μεσογειακών Θερμοκηπίων: 195
Πρακτικές και Προοπτική
Μπαρτζάνας Θ., Baille Α., Κίττας Κ.

4η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ - ΑΠΟΒΛΗΤΑ - ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΑ

Μέσα Μεταφοράς Φθαρτών Ελληνικών Αγροτικών Προϊόντων: 209
Προβλήματα και Προοπτικές
Νάνος Γ.

Παράγοντες που Επιπρεάζουν την Αφυδάτωση κατά την Κατάψυξη 219
Μητρόπουλος Δ., Λαμπρινός Γ.

Εφαρμογή στο Έδαφος Απορριμάτων Παραγομένων κατά τον Εκκοκκισμό 229
του Βαμβακιού και την Χημική Αποκνώση του Βαμβακόσπορου
Χουλιαράς Ν., Γέμος Θ., Δουλουδής Ι.

5η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΕΛΑΦΟΣ & ΝΕΡΟ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Συστήματα Τηλεπισκόπησης στα Σύγχρονα Αρδευτικά Δίκτυα 239
Ευφραιμίδης Α.

Απλή Μέθοδος Μέτρησης της Παροχής σε Τραπεζοειδείς Ελευθέρους Καταβαθμούς . . 247
Τερζίδης Γ., Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Χατζηγιαννάκης Ε.

Συμβολή στον Ορθολογικό Σχεδιασμό της Στάγδην Αρδευσης με Βάση. 259
την Κινητική της Διαβροχής από Γραμμική Επιφανειακή Πηγή
Ελμαλόγλου Σ., Μαλάμος Μ.

Μελέτη Διατάξεων Αρδευσης με Σταγόνες στην Καλλιέργεια των Ζαχαροτεύτων . . . 271
Σακελλαρίου Μ., Μασλάρης Ν., Καλφούντζος Δ., Γούλας Χ.

Διήθηση προς Κεκλιμένο Υδροφορέα από Υδατόρευμα 281
με βαθμιαία Μεταβαλλόμενη Στάθμη
Τελόγλου Η., Ζήσης Θ., Τερζίδης Γ.

Διαστασιολόγηση Ταμπευτήρα του Καβουρόλακκα Χαλκιδικής 291
Παπαμιχαήλ Δ., Γεωργίου Π., Καραμούτσης Δ., Παρισόπουλος Γ.

Συγκριτική Αξιολόγηση Μοντέλων Πρόβλεψης της Υδραυλικής Αγωγιμότητας 303
Τζιμόπουλος Χ., Αραμπατζής Γ.

Διαχείριση Υδάτων της Υδρολογικής Λεκάνης του Ποταμού Αχελώου	313
Κατάντη του Φράγματος Στρατού <i>Τσιμόπουλος Χ., Σπυρίδης Α.</i>	
Διαχείριση του Υδροφορέα της Λεκάνης του Αξιού με τη Βοήθεια	325
Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών <i>Κουτάλου Β., Γιαννόπουλος Στ., Τσιμόπουλος Χ., Αρβανίτης Απ., Τσακίρη Μ.</i>	
Εδαφικές ρωγματώσεις και καθιζήσεις από την πτώση στάθμης	335
των υπογείων νερών της λεκάνης της τέως λίμνης Κάρλας του Ν. Λαρίσης <i>Μιμίδης Μ.Θ., Αγγελίδης Σ.Μ., Χαλκίδης Ν.Η.</i>	
Αυτόματη Ρύθμιση του Μαθηματικού Μοντέλου της Πεδιάδας Πιερίας	347
<i>Καβαλιεράτου Σ., Μπαρμπιτσιμόπουλος Χ., Τερζίδη Γ.</i>	
Εκτίμηση της Επίδρασης των Μεθόδων Κατεργασίας του Εδάφους,	357
της Φυτοκάλυψης και της Κατεύθυνσης Σποράς του Βαμβακιού, στην Διάβρωση του Εδάφους <i>Τερζούδη Χ., Γέμτος Θ.</i>	
Διαχείριση Νερού και Αζωτούχου Λίπανσης σε Καλλιέργεια Αραβοσίτου	367
με το Μοντέλο WANISIM <i>Αντωνόπουλος Β., Παυλάτου-Βε Α.</i>	
Χρήση Μεθόδων Μειωμένων Εισροών για την Κατεργασία του Εδάφους.	377
στην Καλλιέργεια του Καλαμποκιού <i>Καβαλάρης Χ., Γέμτος Θ., Γεωργίου Χ., Κουρκούτας Μ.</i>	
Η επίδραση της Χρήσης Γης στην Υποβάθμιση του εδάφους	389
<i>Δαναλάτος Ν.Γ., Κοσμάς Κ., Γεροντίδης Στ., Μαραθιανού Μ.</i>	

1η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ

Προεδρείο: Κ. Ακριτίδης, Κ. Τσατσαρέλης,
Π. Κοντέλης, Γ. Παρισσόπουλος

Συγγραφείς: Π. Πόθος, Γ. Αντωνούλας, Χ. Σερσελούδης, Γ. Παρισσόπουλος

Δ. Μπαρτζιάλης, Σ. Γαλανοπούλου-Σενδουκά

Κ. Ακριτίδης, Π. Καλοκάσις

Θ. Τρισίκογλου, Θ. Γέμτος

Αθ. Κούγκουλος, Σ. Μπαλουκτής, Χρ. Κατσίς, Θ. Γέμτος

Α. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Παρισσόπουλος

Κ. Κωστοπούλου, Α. Σιδερίδης

Θ. Γέμτος, Βλ. Δέμης, Αθ. Αλεξάνδρου, Χρ. Καραμούτης

Α. Λιθουργίδης, Κ. Τσατσαρέλης

Θ. Σταθάκος, Θ. Γέμτος

Θ. Νάτσος

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Π. Πόθος¹, Γ. Αντωνούλας², Χ. Σερσελούδης³, Γ. Παρισόπουλος⁴

¹Μηχανολόγος Μηχ/κός, Σύμβουλος Μηχ/κός, Αθήνα

²Μηχανολόγος Μηχ/κός, ΚΕΜ, Αθήνα

³Μηχανολόγος Μηχ/κός, ΙΓΕΜΚ/ΕΘΙΑΓΕ, Αγ. Ανάργυροι Αττικής

⁴Αναπληρωτής Ερευνητής, ΙΓΕΜΚ/ΕΘΙΑΓΕ, Αγ. Ανάργυροι Αττικής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι υποχρεωτικές διατάξεις προστασίας για τους τροχοφόρους γεωργικούς ελκυστήρες μπορούν να έχουν μορφή αφίδας, σταθερής ή ανακλινόμενης, απλού πλαισίου με τέσσερις στυλοβάτες ή πλήρους θαλάμου οδήγησης. Η καταλληλότητά τους ελέγχεται, κυρίως με στατικές δοκιμές, σύμφωνα με Οδηγίες της Ε.Ε. και του ΟΕCD.

Ένα πλήρες σύστημα στατικών δοκιμών υλοποιήθηκε στο ΙΓΕΜΚ. Συγκροτείται από το κύριο δοκιμαστήριο οριζοντίων και κατακορύφων φορτίσεων στις διατάξεις προστασίας και από το βοηθητικό δοκιμαστήριο, το οποίο αποτελείται από μια κινητή εξέδρα για τη διενέργεια προκαταρκτικών ελέγχων πλευρικής σταθερότητας στους ελκυστήρες με ανακλινόμενη αφίδα. Η λειτουργία κάθε δοκιμαστηρίου ελέγχεται με ιδιαίτερο Η/Υ εφοδιασμένο με κατάλληλα προγράμματα.

ABSTRACT

The obligatory protection structures for agricultural tractors may have the form of a fixed rear roll bar or a tiltable front roll bar, of a simple frame with four columns or of a complete driving cab. Their suitability is tested, usually by static tests, according to the directives of the E.U. and the OECD.

A complete system for static tests has been constructed at IAMC. It consists of the main testing site, where tests of horizontal and vertical loading on the protection structures are performed, and the secondary testing site, consisting of a moving platform for the performance of preliminary tests of lateral stability of tractors having a tiltable roll bar. The function of each testing site is controlled by an individual PC having the necessary software.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι χειριστές των γεωργικών ελκυστήρων πρέπει να προστατεύονται και σε περίπτωση ανατροπής του μηχανήματος. Η προστασία αυτή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ειδικών διατάξεων, ικανών να απορροφήσουν τις δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται κατά την ανατροπή, αφήνοντας ανέπαφο ένα χώρο απαραίτητο για τη διάσωση του χειριστή παρά τις τυχόν προκληθείσες παραμορφώσεις. Οι διατάξεις προστασίας είναι υποχρεωτικές για τους τροχοφόρους γεωργικούς ελκυστήρες και μπορούν να έχουν μορφή αφίδας, σταθερής ή ανακλινόμενης, απλού πλαισίου με τέσσερις στυλοβάτες ή πλήρους θαλάμου οδήγησης.

Η καταλληλότητα των διατάξεων προστασίας ελέγχεται κυρίως σύμφωνα με τις οδηγίες της Ε.Ε. 79/622/ΕΟΚ [1], 86/298/ΕΟΚ [2], 87/402/ΕΟΚ [3] ή τους κώδικες του ΟΕCD IV, VI και VII

[4]. Το ΙΓΕΜΚ, για να βοηθήσει την εφαρμογή των διατάξεων προστασίας σε πλήθος κυκλοφορούντων στην Ελλάδα ελκυστήρων και για να διευκολύνει εγγώριους κατασκευαστές, προχώρησε στην υλοποίηση ειδικού συστήματος στατικών δοκιμών διατάξεων προστασίας, το οποίο και παρουσιάζεται στην εργασία αυτή.

Οι απαιτούμενες δοκιμές για τον έλεγχο διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες ισοδύναμες κατηγορίες: τις δυναμικές δοκιμές, οι οποίες εγκαταλείπονται σταδιακά και τις στατικές δοκιμές.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

Οι εργαστηριακές δοκιμές στοχεύουν στο να καταπονήσουν τις δομές προστασίας των γεωργικών ελκυστήρων με δυνάμεις ανάλογες προς αυτές που αναπτύσσονται σε ενδεχόμενη ανατροπή, να καταγράψουν την συμπεριφορά τους και να επιτρέψουν τον έλεγχο καταλληλότητάς τους. Οι δυνάμεις οι οποίες εφαρμόζονται είναι οριζόντιες και κατακόρυφες και, για τις μικρές αφίδες πίσω από το κάθισμα του οδηγού, με κλίση 40° ως προς την οριζόντια διεύθυνση. Οι δυνάμεις εξασκούνται σε τμήματα της δομής και με διαδοχή όπως καθορίζεται από τις [1, 2, 3, 4]. Οι οριζόντιες δυνάμεις μπορούν να αναπτυχθούν με δυναμική ή στατική καταπόνηση ενώ οι λοιπές μόνον με στατική. Η διαφοροποίηση στον τρόπο επιβολής των οριζόντιων δυνάμεων είναι αυτή που διαχωρίζει τις δυναμικές από τις στατικές δοκιμές. Το μέγεθος των δυνάμεων εξαρτάται από τη μάζα του ελκυστήρα στον οποίο είναι τοποθετημένη η δομή προστασίας. Η σχέση αυτή, όμως, είναι άμεση μόνο για τις μη οριζόντιες δυνάμεις. Οι μέγιστες οριζόντιες δυνάμεις προκύπτουν έμμεσα μέσω της μέγιστης απορροφούμενης ενέργειας παραμόρφωσης της δομής κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Για να θεωρηθούν στατικές οι δοκιμές, η ταχύτητα παραμόρφωσης υπό φόρτιση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 5mm/s. Η επιβαλλόμενη φόρτιση δεν πρέπει να ελαττωθεί μέχρι το τέλος της δοκιμής. Η καταπόνηση της δομής σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών δεν πρέπει να επηρεάζεται από την ελαστικότητα των τροχών του ελκυστήρα. Οι δυνάμεις πρέπει να κατανέμονται ομοιόμορφα στο τμήμα της δομής που καταπονούν και να διατηρούν την αρχική τους διεύθυνση με μικρές σχετικά αποκλίσεις. Σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών και μετά το πέρας των φορτίσεων πρέπει να παραμένει ανέπαφη μια καθορισμένη ζώνη απελευθέρωσης γύρω από το κάθισμα του οδηγού. Η ζώνη απελευθέρωσης είναι όμοια για τους θαλάμους και τα πλαίσια ασφαλείας και με ασήμαντες διαφορές για τις σταθερές αφίδες. Για τις ανακλινόμενες αφίδες προβλέπεται μια ζώνη απελευθέρωσης μικρότερη και αρκετά διαφορετικής μορφής. Στις οριζόντιες φορτίσεις δεν επιτρέπεται η δύναμη να μειωθεί κάτω του 3% κατά τη διάρκεια του τελευταίου 5% της ολικής παραμόρφωσης, για όλους τους τύπους των δομών προστασίας, ενώ για τις αφίδες, κατά τη σύνθλιψη με κατακόρυφη δύναμη, δεν επιτρέπεται να εμφανισθούν μη αμελητέες θραύσεις ή ρωγμές. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται μια συμπληρωματική δοκιμή υπερφόρτισης για να επιβεβαιωθεί η καταλληλότητα της δομής προστασίας. Η ελαστική και η μόνιμη παραμόρφωση των δομών προστασίας είναι στοιχεία τα οποία μετρώνται, ενώ η εμφάνιση των ρωγμών ελέγχεται οπτικά.

Στους ελκυστήρες με ανακλινόμενη αφίδα ελέγχεται αρχικά η πλευρική σταθερότητα σε κλίση μέχρι 38° και η ασυνεχής ανατροπή, δηλαδή η άμεση διακοπή διαδοχικών ανατροπών σε περίπτωση πλευρικής ανατροπής. Η ασυνεχής ανατροπή του ελκυστήρα αποδεικνύεται ή στην πράξη σε κατάλληλο κεκλιμένο επίπεδο ή μαθηματικά με βάση τις διαστάσεις, τη μάζα και τη ροπή αδράνειας ως προς το διαμήκη κεντροβαρικό άξονα.

Η επιτυχής έκβαση των δύο προηγούμενων ελέγχων αποτελεί προϋπόθεση για την εκτέλεση των δοκιμών αντοχής.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Για την εκτέλεση των στατικών δοκιμών αντοχής των δομών προστασίας, ο ελκυστήρας ανυψώνεται ώστε οι τροχοί του να μην στηρίζονται στο έδαφος και στερεώνεται, με ανθεκτικά υποστυλώματα. Η στερέωση πραγματοποιείται διαδοχικά στις κατάλληλες, για την οριζόντια ή κατακόρυφη φόρτιση, θέσεις σύμφωνα με την προβλεπόμενη αλληλουχία δοκιμών. Στις οριζόντιες φορτίσεις η καταπόνηση επιβάλλεται μέσω μιας άκαμπτης δοκού με κατακόρυφη διάσταση 150mm και μήκος πολλαπλάσιο του 50, από 250 Έ700mm. Κατά τη διάρκεια της καταπόνησης η δοκός πίεσης πρέπει να διατηρεί την επαφή της με τη δομή σε όλο το μήκος της και να μην αποκλίνει από την αρχική της οριζόντια $\pm 2^\circ$ διεύθυνση περισσότερο από 10° άνω και 20° κάτω. Με τη δοκό των οριζόντιων φορτίσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί και μια φόρτιση υπό γωνία 40° , ως προς την οριζόντια, στη μικρή αιχμή πίσω από το καθίσμα του οδηγού που συνοδεύει την μεγάλη ανακλινόμενη αιχμή. Στις κατακόρυφες φορτίσεις η καταπόνηση επιβάλλεται μέσω μιας άκαμπτης δοκού σύνθλιψης με πλάτος 250mm και μήκος που να υπερκαλύπτει το πλάτος της δομής προστασίας του ελκυστήρα. Η ζώνη απελευθέρωσης του οδηγού ορίζεται με τη βοήθεια ιδιοσυσκευής με βάση το σημείο αναφοράς του καθίσματος. Το σημείο αναφοράς του καθίσματος προσδιορίζεται με τη χρήση ειδικής συσκευής που προβλέπεται από τις Οδηγίες της Ε.Ε. και τους κώδικες του OECD [1-4].

Οι ελκυστήρες με ανακλινόμενη αιχμή οδηγούνται πρώτα στο βοηθητικό δοκιμαστήριο το οποίο χρησιμεύει για τον έλεγχο της πλευρικής σταθερότητας. Ο ελκυστήρας τοποθετείται επάνω σε μια κινητή εξέδρα η οποία ανυψώνεται πλάγια και επιτρέπει να διαπιστωθεί η ευστάθειά του σε κλίση μέχρι 38° . Η ίδια ή άλλη εξέδρα αναρτώμενη ως φυσικό εκκρεμές επιτρέπει τον υπολογισμό της ροπής αδράνειας του ελκυστήρα ως προς το διαμήκη κεντροβαρικό άξονά του. Η ροπή αδράνειας μαζί με άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά του ελκυστήρα επιτρέπει τη μαθηματική απόδειξη της ασυνέχειας ή μη της ανατροπής. Το πρόβλημα επιλύεται μέσω προγράμματος Η/Υ που αναφέρεται στον κώδικα OECD VI [4].

Οι ανοχές όλων των φυσικών μεγεθών που απαντώνται στις δοκιμές καθορίζονται από τις Οδηγίες της Ε.Ε. και τους κώδικες του OECD [1-4].

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

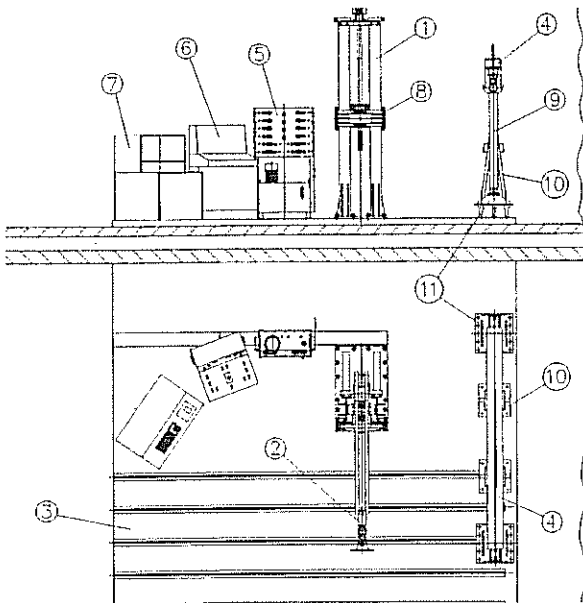
Το σύστημα δοκιμών διατάξεων προστασίας σε περίπτωση ανατροπής, για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των Οδηγιών της Ε.Ε. και των κωδίκων του OECD [1-4] όπως προαναφέρθηκαν, συγκροτείται από δύο επί μέρους δοκιμαστήρια: το σύστημα δοκιμών δομών προστασίας και το σύστημα ελέγχου πλευρικής σταθερότητας των ελκυστήρων.

Σύστημα δοκιμών δομών προστασίας

Το σύστημα δοκιμών δομών προστασίας το οποίο απεικονίζεται στο Σχήμα 1, αποτελείται από τα εξής μέρη:

• Διάταξη στερέωσης του ελκυστήρα

Κύριο στοιχείο της διάταξης αυτής είναι το δάπεδο από οπλισμένο σκυρόδεμα, διαστάσεων $6 \times 6 \text{ m}$, στο οποίο έχουν ενσωματωθεί και αγκυρωθεί χαλύβδινες δοκοί κατάλληλης μορφής που δημιουργούν ανά 500 mm στιβαρά αυλάκια. Στα αυλάκια αυτά αγκυρώνονται οι κοιλίες στερέωσης των χαλύβδινων υποστυλωμάτων του ελεγχόμενου ελκυστήρα.



ΣΧΗΜΑ 1

Σύστημα δοκιμών δομών προστασίας
ελκυστήρων:

1. Σταθερός πύργος 2. Κινητός
δυναμοδότης 3. Διάπεδο στερέωσης
ελκυστήρα 4. Δοκός σύνθλιψης
5. Υδραυλικό συγκρότημα 6. Ηλεκτρικός
πίνακας 7. Τροπέζι Η/Υ και
καταγραφικού 8. Φορείο κινητού
δυναμοδότη 9. Δυναμοδότης σύνθλιψης
10. Βάση στερέωσης δοκού σύνθλιψης 11.
Πλάκα στερέωσης δυναμοδότης σύνθλιψης
στο δάπεδο.

• Διάταξη οριζοντίων φορτίσεων

Η διάταξη οριζοντίων φορτίσεων συγκροτείται από στον σταθερό πύργο και τον κινητό δυναμοδότη. Ο σταθερός πύργος είναι σιδηροκατασκευή, η οποία έχει δύο κάθετους παράλληλους φορείς στηριζόμενους, μαζί με κατάλληλες αντηρίδες, σε βαριά μεταλλική βάση ενσωματωμένη και αγκυρωμένη στο δάπεδο. Στο διάκενο μεταξύ των δύο κάθετων παράλληλων φορέων μετακινείται το φορείο του δυναμοδότη επάνω σε ειδικές γλίστρες ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή οριζόντιων φορτίσεων σε διάφορα ύψη. Η κατακόρυφη κίνηση του φορείου επιτυγχάνεται με τη βοήθεια υδραυλικού κυλίνδρου και συστήματος τροχαλιών-συρματόσχοινο.

Ο δυναμοδότης είναι ένας υδραυλικός κύλινδρος διπλής ενέργειας ο οποίος στερεώνεται αρθρωτά στο κινητό φορείο. Συγκρατείται οριζόντιος μέσω συρματόσχοινο, τροχαλιών και αντιβάρων από ειδική διάταξη ανάρτησης η οποία εδράζεται στην κορυφή των δύο φορέων του πύργου. Η συγκράτηση αυτή δεν επηρεάζει τη λειτουργία του δυναμοδότη κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Στο βύκτρο του κυλίνδρου και πριν από την επιφάνεια φόρτισης υπάρχει κατάλληλη δυναμοκυψέλη (load cell). Εμπρός από τη δυναμοκυψέλη είναι αρθρωτά στερεωμένη η άκαμπτη δοκός με την επιφάνεια φόρτισης. Οι άξονες των δύο αρθρώσεων του υδραυλικού κυλίνδρου σχηματίζουν σταυρό μεταξύ τους έτσι ώστε κατά τη φόρτιση να μην προξηνηθεί αλλαγή της διεύθυνσης φόρτισης. Στο εσωτερικό του υδραυλικού κυλίνδρου είναι τοποθετημένος ο δότης της διαδρομής, έτσι ώστε η μέτρηση να είναι ανεπηρέαστη από εξωτερικές επιδράσεις. Ο δυναμοδότης μπορεί να μετακινηθεί καθ' ύψος, με τη βοήθεια του φορείου στερέωσής του, από 1000-3000 mm. Η μέγιστη ταχύτητα μετακίνησης του φορείου είναι περίπου 40 mm/s. Η μέγιστη οριζόντια διαδρομή του δυναμοδότη είναι 1200 mm. Η ταχύτητα φόρτισής του είναι ρυθμιζόμενη από 0 έως 5 mm/s. Η επιστροφή του δυναμοδότη στο τμήμα της ελαστικής παραμόρφωσης γίνεται

από την ελαστική επαναφορά της δομής προστασίας του ελκυστήρα. Η υπόλοιπη διαδρομή γίνεται από την υδραυλική αντλία κατόπιν εντολής. Η μέγιστη δύναμη η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί από τον κινητό δυναμοδότη ανέρχεται σε 100000 N.

- **Διάταξη σύνθλιψης**

Η διάταξη σύνθλιψης αποτελείται από μια οριζόντια δοκό σύνθλιψης και δύο κατακόρυφους υδραυλικούς δυναμοδότες (υδραυλικούς κυλίνδρους) οι οποίοι τοποθετούνται δεξιά και αριστερά του ελκυστήρα, συνδέονται με τα άκρα της δοκού και στερεώνονται στο δάπεδο με ειδικές βάσεις. Οι δυναμοδότες φέρουν ειδικές αρθρώσεις άνω και κάτω. Στα βράκτρα των δύο υδραυλικών κυλίνδρων προσαρμίζονται δύο όμοιες δυναμοκυψέλες. Η μέγιστη διαδρομή των δυναμοδοτών είναι 1000 mm και η μέγιστη δύναμη την οποία μπορούν να εφαρμόσουν και οι δύο μαζί είναι 240000 N.

- **Υδραυλικό σύστημα κίνησης και εφαρμογής δυνάμεων**

Η μονάδα ισχύος αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα 3 kW, 1500 RPM, 380 V, στον οποίο είναι αξονικά προσαρμοσμένη η υδραυλική αντλία των κινήσεων του συστήματος. Το σύστημα ολοκληρώνεται με μια σειρά ειδικών βαλβίδων, κατάλληλη συνδεσμολογία και δεξαμενή λαδιού.

- **Ηλεκτρικός πίνακας χειρισμών και ελέγχου**

Όλοι οι χειρισμοί και οι εντολές γίνονται από ένα πίνακα εφοδιασμένο με προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC) που είναι εγκατεστημένος δίπλα στο υδραυλικό συγκρότημα έτσι ώστε ο χειριστής να έχει άμεση οπτική επαφή με τον ελκυστήρα και τα συστήματα φόρτισης. Οι χειρισμοί των κινήσεων των δυναμοδοτών πραγματοποιούνται, για μεγαλύτερη ασφάλεια, με τη βοήθεια δύο κινητών χειριστηρίων, ενός για την οριζόντια και ενός για την κατακόρυφη φόρτιση.

- **Σύστημα μέτρησης**

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα αισθητήρια των δυνάμεων όλων των υδραυλικών δυναμοδοτών, τις δυναμοκυψέλες, τον δότη της διαδρομής του κινητού δυναμοδότη, τους ενισχυτές των σημάτων, τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή του ηλεκτρικού πίνακα, τον Η/Υ με το ειδικό λογισμικό που αναπτύχθηκε και το καταγραφικό.

Για να πραγματοποιηθεί μια οριζόντια φόρτιση, στερεώνεται ο ελκυστήρας στην κατάλληλη θέση. Ηλεκτροδοτείται ο πίνακας χειρισμού και εκκινείται ο ηλεκτροκινητήρας του υδραυλικού συγκροτήματος. Ενεργοποιείται ο Η/Υ και επιλέγεται από τον ειδικό διακόπτη του πίνακα η μέτρηση της οριζόντιας φόρτισης. Στην οθόνη του Η/Υ αναγράφεται η ένδειξη "ΔΙΑΤΑΞΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ" και παρουσιάζεται η απεικόνιση της καμπύλης της ενέργειας. Τα στοιχεία της εφαρμοζόμενης δύναμης και της αντίστοιχης παραμόρφωσης, που συλλέγονται από τα αισθητήρια, επιτρέπουν τον αυτόματο υπολογισμό, από τον Η/Υ, της ενέργειας που έχει απορροφηθεί από την έναρξη της καταπόνησης. Στην οθόνη του Η/Υ αναγράφονται συνεχώς η διαδρομή της παραμόρφωσης σε mm, η δύναμη της φόρτισης σε N και το σύνολο της απορροφηθείσας ενέργειας σε KJ, ενώ παρουσιάζεται και η καμπύλη της δύναμης σε συνάρτηση με την παραμόρφωση, τόσο κατά τη διάρκεια της φόρτισης όσο και κατά τη διάρκεια της ελαστικής επαναφοράς. Το λογισμικό που έχει αναπτυχθεί επιτρέπει την αυτόματη εκτέλεση των δοκιμών.

Ο ελεγκτής δίνει στον Η/Υ αριθμητικά τη μέγιστη απορροφούμενη ενέργεια και προαιρετικά, τη μέγιστη επιτρεπτή διαδρομή παραμόρφωσης της δομής, που έχει προσδιορίσει προηγουμένως για τον ελεγχόμενο ελκυστήρα και τη συγκεκριμένη φάση δοκιμής. Οι τιμές παραμένουν γραμμικές στην οθόνη μέχρι το τέλος της δοκιμής. Ο χειριστής ενεργοποιεί μέσω του κινητού χειριστηρίου την έναρξη της δοκιμής. Ο υδραυλικός δυναμοδότης κινείται προς τα εμπρός και φορτίζει τη δομή προστασίας. Ο υπολογιστής αναγράφει κάθε στιγμή στην οθόνη την εκάστοτε δύναμη σε N, διαδρομή σε mm και απορροφηθείσα ενέργεια σε KJ και σχηματίζει την καμπύλη της δύναμης σε συνάρτηση με την παραμόρφωση. Όταν η απορροφηθείσα ενέργεια εξισωθεί με την προβλεπόμενη η κίνηση του δυναμοδότη σταματά και η προεπιλεγείσα τιμή της ενέργειας αρχίζει να αναβοσβήνει. Η δοκιμή σταματά επίσης, οποιαδήποτε στιγμή, αν ξεπεραστεί η μέγιστη επιτρεπτή διαδρομή παραμόρφωσης ή αν το θελήσει ο χειριστής. Από τα στοιχεία που έχει συγκεντρώσει ο υπολογιστής κρίνει, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τις Οδηγίες της Ε.Ε και τους κώδικες του OECD [1-4] αν είναι ή όχι απαραίτητη δοκιμή υπερφόρτισης. Αν δεν χρειάζεται υπερφόρτιση, η μέτρηση σταματά. Ο χειριστής πατά το κατάλληλο πλήκτρο στον Η/Υ για να γίνει η εκπίεση της μέτρησης. Αν χρειάζεται υπερφόρτιση, στην οθόνη του Η/Υ παρουσιάζονται οι λέξεις ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΥΠΕΡΦΟΡΤΙΣΗ. Ο χειριστής πατά το κατάλληλο πλήκτρο και ο Η/Υ δίνει την εντολή να αρχίσει η δοκιμή υπερφόρτισης. Οι διαδοχικές φάσεις της δοκιμής υπερφόρτισης πραγματοποιούνται όπως καθορίζουν οι [1-4] και ανάλογα με το αποτέλεσμα οδηγούν στην επαυχή έκβαση της συγκεκριμένης δοκιμής ή στην απόρριψη της ελεγχόμενης δομής προστασίας. Μετά το πέρας της εκτελούμενης δοκιμής ο χειριστής επιστρέφει τον υδραυλικό δυναμοδότη στην αρχική του θέση και ακολουθεί τη διαδικασία απενεργοποίησης του συστήματος.

Για να πραγματοποιηθεί η σύνθλιψη, αφού έχει στερεωθεί ο ελκυστήρας, μεταφέρεται επάνω στη δομή προστασίας η δοκός φόρτισης μαζί με τους δύο υδραυλικούς δυναμοδότες κρεμασμένους στα άκρα της. Αμέσως μετά συνδέονται, με τη βοήθεια ταχυσυνδέσμων, οι υδραυλικοί δυναμοδότες με το υδραυλικό συγκρότημα. Ηλεκτροδοτείται και εκκινείται ο ηλεκτροκινητήρας του υδραυλικού συγκροτήματος. Ενεργοποιείται ο Η/Υ και επιλέγεται από τον ειδικό διακόπτη του πίνακα η μέτρηση της κατακόρυφης φόρτισης. Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη "ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΝΘΛΙΨΗΣ" και παρουσιάζεται η σχηματική διάταξη της κατακόρυφης φόρτισης, οι δύο δυνάμεις δεξιά και αριστερά σε N, το άθροισμα των δυνάμεων, η επιλεγείσα μέγιστη δύναμη σύνθλιψης και ο χρόνος σε s. Μετά, με κατάλληλο χειρισμό, στερεώνονται τα κάτω άκρα των υδραυλικών δυναμοδοτών στα αυλάκια του δαπέδου με τη βοήθεια ειδικών βάσεων. Ο ελεγκτής δίνει στον Η/Υ, αριθμητικά, τη μέγιστη δύναμη φόρτισης που αντιστοιχεί στον ελεγχόμενο ελκυστήρα. Η τιμή αναγράφεται στην οθόνη και παραμένει ως το τέλος της μέτρησης. Ο ελεγκτής ενεργοποιεί, μέσω του αντίστοιχου πλήκτρου του κινητού χειριστηρίου, την έναρξη της δοκιμής. Οι υδραυλικοί κύλινδροι τείνουν να συμπιχθούν και πιέζουν προς τα κάτω τη δομή προστασίας. Ο ελεγκτής περιστρέφοντας αργά προς τα δεξιά τον περιστροφικό διακόπτη του κινητού χειριστηρίου, αυξάνει την κατακόρυφη φόρτιση και παρακολουθεί στην οθόνη του Η/Υ τη μεταβολή. Όταν η φόρτιση φθάσει στην προεπιλεγείσα μέγιστη τιμή, ο Η/Υ επεμβαίνει και τη διατηρεί σταθερή, ανεξαρτήτως χειρισμών. Τότε η προεπιλεγείσα τιμή, που έχει αναγραφεί στην οθόνη, αρχίζει να αναβοσβήνει. Η δομή προστασίας έχει αρχίσει ενδεχομένως να συνθλίβεται. Όταν η δομή προστασίας, υπό το βάρος της μέγιστης φόρτισης, σταματήσει να παραμορφώνεται, ο ελεγκτής πατά ένα συγκεκριμένο πλήκτρο του Η/Υ και αρχίζει η μέτρηση του χρόνου. Μετά παρέλευσης 5 sec ηχεί ένα σήμα στον πίνακα χειρισμού και σταματά αυτόματα η φόρτιση. Η μέτρη-

ση έχει τελειώσει. Ο ελεγκτής ελέγχει τη δομή και αν έχουν παρουσιασθεί μη αμελητέες ρωγμές ή σχισμές, σε ορισμένες περιπτώσεις, πραγματοποιεί μια δεύτερη δοκιμή σύνθλιψης με δύναμη αυξημένη κατά 20%. Μετά το τέλος της δοκιμής ο ελεγκτής επιστρέφει τους υδραυλικούς κυλίνδρους στην αρχική τους θέση. Οι υδραυλικοί κύλινδροι ελευθερώνονται από τις στερεώσεις τους στο δάπεδο και μαζί με τη δοκό σύνθλιψης επαναφέρονται στην ειδική βάση στήριξης. Ο ελεγκτής ακολουθεί τη διαδικασία απενεργοποίησης του συστήματος.

- Συσσκευή μέτρησης ελαστικών παραμορφώσεων

Η συσκευή αυτή επιτρέπει τη μέτρηση της ελαστικής παραμόρφωσης που παρουσιάζει η δομή, κατά τη δοκιμή, σε σημείο οριζόμενο από τις [1-4]. Το σχήμα και η χρήση της συσκευής καθορίσθηκε από τις προτάσεις των [1-4].

- Συσσκευή καθορισμού του σημείου αναφοράς του καθίσματος

Η συσκευή αυτή επιτρέπει τον καθορισμό του σημείου αναφοράς του καθίσματος το οποίο είναι απαραίτητο για τον εν συνεχεία προσδιορισμό της ζώνης απελευθέρωσης. Το σχήμα, οι διαστάσεις και η χρησιμοποίηση της είναι σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στις [1-4].

- Συσσκευή προσδιορισμού της ζώνης απελευθέρωσης

Η ζώνη απελευθέρωσης αναπτύσσεται με βάση το σημείο αναφοράς του καθίσματος σε διαστάσεις και σχήματα που καθορίζονται από τις [1-4] ανάλογα με τη μορφή της δομής. Δεν προτείνεται συσκευή για τον προσδιορισμό της ζώνης απελευθέρωσης. Σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν δύο ξύλινες ιδιοσυσκευές οι οποίες επιτρέπουν τον καθορισμό της εξωτερικής επιφάνειας της ζώνης απελευθέρωσης για όλους τους τύπους των δομών προστασίας.

- Περιφράξη του δοκιμαστήριου

Ο χώρος του δοκιμαστήριου περιφράσσεται με δίχρωμη πλαστική αλυσίδα υποβαστάζομενη από μια σειρά από κινητά κολονάκια ύψους περίπου 1 m.

- Σύστημα φωτογράφισης

Το δοκιμαστήριο εφοδιάσθηκε με φωτογραφική μηχανή η οποία έχει ενσωματωμένο φλας, μπορεί να αυξομειώνει το μέγεθος του ειδώλου χωρίς να μετακινείται και εστιάζει αυτόματα την απόσταση από το προς φωτογράφιση αντικείμενο. Η μηχανή συνοδεύεται από τρίποδα στερέωσης και ειδικό πανό με μηχανισμό στερέωσης.

Σύστημα ελέγχου πλευρικής σταθερότητας

Το σύστημα αυτό, το οποίο απεικονίζεται στο Σχήμα 2, αποτελείται από τα εξής κύρια μέρη:

- Εξέδρα διπλής χρήσεως

Η εξέδρα διαστάσεων 4,0x2,5 m συγκροτείται από ένα στιβαρό μεταλλικό σκελετό και επικάλυψη με ισχυρό αντιολιθητικό χαλυβδοέλασμα. Για να μην προεξέχει η εξέδρα από το δάπεδο έχει δημιουργηθεί αντίστοιχο σκάμμα με επιφάνειες από οπλισμένο σκυρόδεμα και ισχυρό μεταλλικό πλαίσιο στην περίμετρο, όπου, σε ειδικά ενισχυμένες θέσεις, στηρίζονται τα πλαίσια και οι στυλοβάτες που χρησιμεύουν για την ανάρτηση της εξέδρας. Στη μία διαμήκη πλευρά η εξέ-

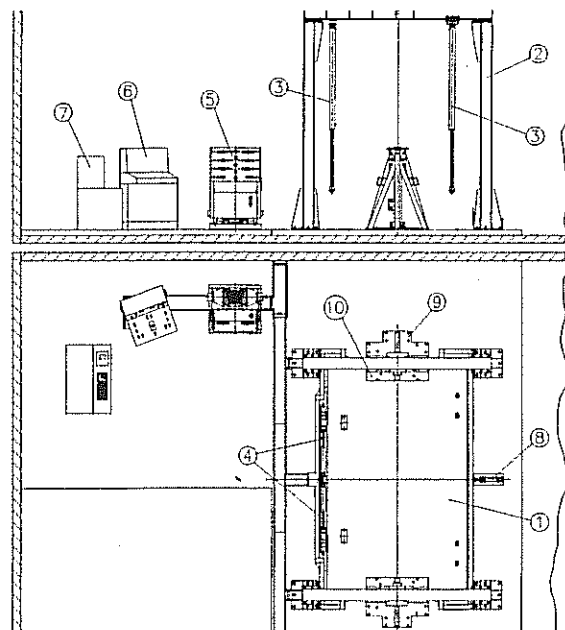
δρα φέρει τα σημεία περιστροφής (μντεσέδες) που επιτρέπουν την πλάγια ανύψωσή της με τη συνεργασία δύο υδραυλικών κυλίνδρων. Στις δύο εγκάρσιες πλευρές έχουν στερεωθεί τα σημεία σύνδεσης των βράχιων των κυλίνδρων ανύψωσης της εξέδρας. Στα άκρα του διαμήκους άξονα επί της εξέδρας έχουν διαμορφωθεί οι θέσεις στερέωσης των κινητών στυλοβατών ανάρτησης της εξέδρας. Απέναντι ακριβώς στο σταθερό δάπεδο, σε θέσεις που έχουν διαμορφωθεί στο μεταλλικό πλαίσιο του σκάμματος, στηρίζονται οι αντίστοιχοι σταθεροί στυλοβάτες.

- Φορείς-πλαίσια ανάρτησης εξέδρας

Οι φορείς αυτοί, σχήματος Π, είναι χαλύβδινα πλαίσια ισχυρής κατασκευής στερεωμένα στο μεταλλικό πλαίσιο του σκάμματος του δαπέδου, εκατέρωθεν της εξέδρας, πίσω από τις εγκάρσιες πλευρές.

- Υδραυλικοί κύλινδροι ανύψωσης εξέδρας

Οι κύλινδροι στερεώνονται, ανά δύο, στους μεταλλικούς φορείς σε αντιστοιχία των άκρων της εξέδρας. Στη θέση αυτή χρησιμεύουν για την παράλληλη προς το έδαφος ανύψωση της εξέδρας και την ανάρτησή της για να λειτουργήσει ως εκκρεμές. Δύο από τους κυλίνδρους μετακινούνται προς το κέντρο των πλαισίων, για λόγους κατασκευαστικούς, χρησιμεύουν για την πλάγια ανύψωση της εξέδρας. Η μετακίνηση αυτή πραγματοποιείται με ειδικά φορεία, τα οποία ολισθαίνουν κατά μήκος της άνω δοκού του κάθε πλαισίου Π, με τη βοήθεια ειδικών μικρών υδραυλικών κυλίνδρων.



ΣΧΗΜΑ 2

Σύστημα ελέγχου πλευριζικής σταθερότητας

1. Εξέδρα
2. Φορέας-πλαίσιο
3. Κατακόρυφος κύλινδρος
4. Υδραυλικοί πείροι περιστροφής
5. Υδραυλικό συγκρότημα
6. Ηλεκτρικός πίνακας
7. Τραπέζι Η/Υ και καταγραφικού
8. Πνευματικός κύλινδρος
9. Στυλοβάτης εκκρεμούς σταθερός
10. Στυλοβάτης εκκρεμούς κινητός.

- Υδραυλικό σύστημα κίνησης

Η μονάδα ισχύος αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα 2 KW, 1500 RPM, 380 V, στον οποίο είναι αξονικά προσαρμοσμένες οι υδραυλικές αντλίες όλων των κινήσεων του συστήματος. Το υδραυλικό σύστημα ολοκληρώνεται με μια σειρά ειδικών βαλβίδων κατάλληλη συνδεσμολογία και δεξαμενή λαδιού.

- Ηλεκτρικός πίνακας χειρισμών και ελέγχου

Ένας ηλεκτρικός πίνακας τοποθετημένος κοντά στο υδραυλικό συγκρότημα και εφοδιασμένος με προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή, επιτρέπει να γίνονται οι απαιτούμενοι χειρισμοί. Οι χειρισμοί γίνονται με τη βοήθεια τριών κινητών χειριστηρίων.

- Σύστημα μέτρησης

Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα ειδικό κλισιόμετρο το οποίο τοποθετείται επί της εξέδρας, τον αντίστοιχο ενισχυτή, τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή του ηλεκτρικού πίνακα, τον Η/Υ με το ειδικό λογισμικό και το καταγραφικό. Για τη μέτρηση της γωνίας κλίσης χρησιμοποιείται συμπληρωματικά, ένα απλό γωνιόμετρο αυτόματης ένδειξης, το οποίο τοποθετείται επί της εξέδρας.

Για να ελεγχθεί η πλευρική ευστάθεια, ο ελκυστήρας τοποθετείται επί της εξέδρας και ασφαλίεται έναντι πρόωρης ανατροπής με αλυσίδα συγκράτησης και με ειδικό ηλεκτρικό διακόπτη της πλάγιας ανύψωσης της εξέδρας με την εμφάνιση της ανατροπής. Ο ελεγκτής, αφού έχει θέσει σε κίνηση το υδραυλικό συγκρότημα, επιλέγει από ειδικό διακόπτη του ηλεκτρικού πίνακα τον έλεγχο της πλευρικής σταθερότητας. Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη "ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ" και παρουσιάζεται η γωνία κλίσης της εξέδρας και η μέγιστη γωνία κλίσης 38°. Ο ελεγκτής πατά το πλήκτρο έναρξης δοκιμής στον πίνακα. Τότε αυτόματα ενεργοποιείται το κινητό χειριστήριο και οι υδραυλικοί πείροι μανδαλώνουν τους μεντεσέδες. Ο ελεγκτής, με το κινητό χειριστήριο, μετακινεί τους δύο υδραυλικούς κυλίνδρους της πλευρικής σταθερότητας στη θέση πλάγιας ανύψωσης, κατεβάζει τα βάρη τους και τα συνδέει με τη βοήθεια ναυτικών κλειδίων με την εξέδρα. Το σύστημα είναι έτοιμο για την μέτρηση της πλευρικής ευστάθειας. Ο ελεγκτής, με το κινητό χειριστήριο, ανυψώνει πλάγια την εξέδρα. Η κίνηση της εξέδρας συνεχίζεται όσο πιέζεται το πλήκτρο και σταματά αυτόματα όταν το αφήσουμε. Η αύξηση της γωνίας κλίσης δείχνεται στην οθόνη και παραστατικά και ψηφιακά και αναγιγνώσκεται στο μοιρογνωμόνιο. Όταν η γωνία κλίσης φθάσει στο μέγιστο η κίνηση της εξέδρας σταματά παρ' ότι μπορεί να υπάρχει αντίθετη εντολή. Η κίνηση της εξέδρας σταματά επίσης όταν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης ανατροπής. Μετά το πέρας της μέτρησης ο χειριστής επαναφέρει την εξέδρα στην αρχική της θέση, ενεργοποιεί τον εκτυπωτή και εκτυπώνει την εικόνα της οθόνης, κλείνει τον πίνακα και τον Η/Υ και απελευθερώνει τον ελκυστήρα από το διακόπτη ασφαλείας και τις αλυσίδες.

Ο προσδιορισμός της ροπής αδράνειας του ελκυστήρα πραγματοποιείται με τη λειτουργία της εξέδρας ως εκκρεμούς. Ο ελκυστήρας τοποθετείται με το διαμήκη άξονά του επάνω από τον αντίστοιχο άξονα της εξέδρας. Τοποθετούνται οι κινητοί και σταθεροί στυλοβάτες στην εξέδρα και στο δάπεδο. Μετά την προετοιμασία αυτή ηλεκτροδοτείται ο πίνακας χειρισμού, ενεργοποιείται ο Η/Υ και επιλέγεται, με το διακόπτη επιλογής του πίνακα, η λειτουργία του εκκρεμούς. Στην οθόνη του Η/Υ εμφανίζεται η ένδειξη "ΕΚΚΡΕΜΕΣ" και παρουσιάζεται το σκαρίφημα του εκκρεμούς και η γωνία κλίσης εν ηρεμία. Ο ελεγκτής πιέζει το πλήκτρο έναρξης δοκιμής στον

πίνακα και αυτόματα ενεργοποιείται το κινητό χειριστήριο και απομακρύνονται οι μεντεσέδες. Με το κινητό χειριστήριο, μετακινεί τους δύο κυλίνδρους πλάγας ανύψωσης στη θέση του εκκρεμούς, εφόσον δεν βρίσκονται εκεί, κατεβάζει τα βάρη και των τεσσάρων κυλίνδρων και τα συνδέει με τη βοήθεια ναιπικών κλειδιών στη εξέδρα. Ο ελεγκτής ανυψώνει την εξέδρα και μέσω των κινητών και σταθερών στυλοβατών την αναρτά σαν εκκρεμές και απομακρύνει τους τέσσερις υδραυλικούς κυλίνδρους. Απομακρύνεται η εξέδρα από τη θέση ισορροπίας, ενδεχομένως με τη βοήθεια ενός πνευματικού κυλίνδρου, και δίνεται εντολή στον Η/Υ να μετρήσει τις ταλαντώσεις του εκκρεμούς. Με το λογισμικό που έχει αναπτυχθεί ο Η/Υ αρχίζει να μετρά τις αιωρήσεις του εκκρεμούς όταν η μέγιστη απόκλιση της εξέδρας μειωθεί σε $2^{\circ}30'$ και για ένα λεπτό. Οι ταλαντώσεις παρουσιάζονται αριθμητικά και γραφικά στην οθόνη. Πραγματοποιούνται μετρήσεις με δύο διαφορετικές ακτίνες του εκκρεμούς, τόσο με τον ελκυστήρα επί της εξέδρας όσο και με την εξέδρα κενή. Ο ελεγκτής εκτυπώνει τα αποτελέσματα και μετά το τέλος των μετρήσεων επαναφέρει, με τους αντίστροφους χειρισμούς, την εξέδρα στην αρχική θέση ισορροπίας και απομακρύνει τον ελκυστήρα.

- Περιγραφή του δοκιμαστηρίου

Είναι όμοια με εκείνη του δοκιμαστηρίου δομών προστασίας.

- Σύστημα φωτογράφισης

Το δοκιμαστήριο εξοπλίζεται με το ίδιο σύστημα φωτογράφισης του κύριου δοκιμαστηρίου.

Όλα τα όργανα και των δύο δοκιμαστηρίων είναι διακριβωμένα και η ακρίβειά τους μεγαλύτερη από τις ανοχές που επιβάλλουν οι Οδηγίες της Ε.Ε. και οι Κώδικες του OECD [1-4].

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σύστημα δοκιμών διατάξεων προστασίας σε περίπτωση ανατροπής ελκυστήρων, το οποίο έχει εγκατασταθεί στο ΙΓΕΜΚ, επιτρέπει τις στατικές δοκιμές δομών προστασίας σε γεωργικούς ελκυστήρες με βάρος μέχρι 10000 Κρ περίπου. Καλύπτονται επομένως σχεδόν όλοι οι τύποι των κυκλοφορούντων ελκυστήρων. Οι δοκιμές, οι οποίες εκτελούνται, πραγματοποιούνται σύμφωνα με όσα προβλέπουν οι Οδηγίες της Ε.Ε. και οι κώδικες του OECD.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Οδηγία 79/622/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 1979, περί προσεγγίσεως των νομοθεσιών των κρατών μελών των αναφερομένων στις διατάξεις προστασίας σε περίπτωση ανατροπής των γεωργικών ή δασικών ελκυστήρων με τροχούς (στατικές δοκιμές), ΕΕ αριθ. L 179 της 17.07.1979, σ. 1.
2. Οδηγία 86/298/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 26ης Μαΐου 1986, για τις διατάξεις προστασίας, που είναι προσαρμοσμένες στο πίσω μέρος, σε περίπτωση ανατροπής των τροχοφόρων γεωργικών και δασικών ελκυστήρων με μικρό μετατόξιο, ΕΕ αριθ. L 186 της 08.07.1986, σ. 26.
3. Οδηγία 87/402/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 1987, σχετικά με τα συστήματα προστασίας σε περίπτωση ανατροπής, τα οποία προσαρμόζονται στο εμπρόσθιο μέρος των τροχοφόρων γεωργικών και δασικών ελκυστήρων με μικρό μετατόξιο, ΕΕ αριθ. L 220 της 08.08.1987, σ. 1.
4. OECD Standard Codes for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractors, Codes 1 to 8, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris 1995.

ΜΗΧΑΝΟΣΥΛΛΟΓΗ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΣΕ ΣΤΕΝΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΠΟΡΑΣ

Δ. Μπαριζιάλης και Σ. Γαλανοπούλου-Σενδουκά

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το βαμβάκι στην Ελλάδα αποτελεί σήμερα τη δυναμικότερη εκτατική καλλιέργεια. Για την εκμηχανισμένη συγκομιδή του καλλιεργείται σε απόσταση περίπου 1m μεταξύ των γραμμών σποράς, γιατί μέχρι σήμερα οι χρησιμοποιούμενες στη χώρα μας συλλεκτικές μηχανές Picker είναι προσαρμοσμένες να συγκομίζουν μόνο σε αυτή την απόσταση. Πολυάριθμα πειράματα απέδειξαν ότι οι στενές αποστάσεις οι οποίες επιτρέπουν αυξημένο πληθυσμό φυτών υπερέχουν έναντι των παραδοσιακών συστημάτων. Τελευταία, η τάση διεθνώς για μετάβαση από την εντατική γεωργία στην εναλλακτική με μείωση των εισροών, θα έχει ως αποτέλεσμα τα βαμβακόφυτα να είναι πιο βραχύσωμα με συνέπεια η φυτοκάλυψη του εδάφους να μην είναι πλήρης στις γραμμές του 1m. Στις περιπτώσεις αυτές η υπεροχή των στενών γραμμών και πυκνών πληθυσμών αναμένεται να είναι πιο εμφανής. Πρόσφατα διερευνώνται και εφαρμόζονται στην πράξη καλλιεργητικά συστήματα με στενές αποστάσεις γραμμών που μπορούν να συγκομισθούν με τροποποιημένες ή νέες μηχανές συλλογής τύπου Picker. Στην παρούσα εργασία μελετάται η εκμηχανισμένη καλλιέργεια και συγκομιδή του βαμβακιού σε στενές αποστάσεις (0,75 m) μεταξύ των γραμμών σποράς. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απόδοσης δύο Ελληνικών ποικιλιών (Κορίνα και Ζέτα-2) που σπάρθηκαν σε πειραματικούς αγρούς στη Θεσσαλία (Καρδίτσα και Μαγνησία) σε αποστάσεις γραμμών 0.75 m και 1.0 m το 1997. Γίνεται επίσης αναφορά στην προοπτική χρησιμοποίησης τροποποιημένων ή νέων βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών τύπου Picker προσαρμοσμένων στο νέο καλλιεργητικό σύστημα. Το νέο σύστημα μηχανοσυλλογής βαμβακιού σε στενές αποστάσεις, διερευνάται σε σχέση με το λόγο κόστους-οφέλους που συνδέεται με τα δύο συστήματα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παραδοσιακό σύστημα της καλλιέργειας του βαμβακιού σε γραμμές που απέχουν μεταξύ τους 1 m επιβλήθηκε κυρίως γιατί υιοθετήθηκαν οι μηχανές συγκομιδής τύπου Picker που είναι προσαρμοσμένες σε αυτή την απόσταση. Πολλά όμως πειράματα στην Ελλάδα και το εξωτερικό έδειξαν ότι οι στενότερες του μέτρου γραμμές υπερέχουν, συγκριτικά με το παραδοσιακό σύστημα γιατί εξασφαλίζουν καλύτερη κατανομή φυτών στο χώρο, με αποτέλεσμα η φυτοκάλυψη του εδάφους να είναι ταχύτερη και επομένως καλύτερη η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, του εδάφους και των εισροών (Γαλανοπούλου, 1977). Η υπεροχή των στενών γραμμών γίνεται πιο φανερή όταν οι συνθήκες μιας περιοχής δεν επιτρέπουν την ικανοποιητική ανάπτυξη των φυτών και την πλήρη φυτοκάλυψη του εδάφους στα μέσα Ιουλίου και μετά. Τέτοιες περιπτώσεις αναμένεται να αυξηθούν γιατί η επιτακτική ανάγκη για μείωση των εισροών στη γεωργία θα κάνει τα φυτά πιο βραχύσωμα και θα αυξήσει τον άριστο πληθυσμό τους, στοιχεία που προσδίδουν αυξημένη σημασία στο νέο καλλιεργητικό σύστημα. Εξάλλου ο αυξημένος πληθυσμός φυτών που επιδέχεται το νέο σύστημα, συνδέεται με μείωση της προσβολής από βερτισιλίωση (ανδρομί-

κωση) και με πρωίμηση της παραγωγής (Λευκοπούλου κ.ά., 1980, Γαλανόπουλος και Γαλανοπούλου, 1992). Έρευνες που έγιναν στις ΗΠΑ τη δεκαετία του '80 έδειξαν αύξηση της παραγωγής για αποστάσεις γραμμών 0.75 m έναντι των αποστάσεων του 1 m σε ποσοστό μέχρι και 12-14% όπως αναφέρει ο Williford (1992), ενώ σε άλλη έρευνα του ίδιου στην περιοχή του Δέλτα του Μισισσιππή διαπιστώθηκε αύξηση της απόδοσης από 6.5% ως και 9% στις στενές γραμμές (Williford, 1992). Όπως αναφέρεται από τον Weir (1996), στην Καλιφόρνια έρευνες κατέγραψαν ως πλεονεκτήματα της απόστασης του 0.75 m την πρωιμότερη ωρίμανση, την οικονομία νερού, φυτοφαρμάκων και ενέργειας και την καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η συγκομιδή στην αρχή της δεκαετίας του '80 γινόταν με τις παραδοσιακές μηχανές Picker του 1 m ειδικά τροποποιημένες να συγκομίζουν σε 0.75 m. Αργότερα οι δύο μεγάλες κατασκευάστριες εταιρείες John Deere και Case IH αντιλαμβανόμενες το έντονο ενδιαφέρον για βαμβάκοσυλλεκτικές μηχανές κατάλληλες να συγκομίζουν στην απόσταση αυτή (0.75 m), κατασκεύασαν η καθεμιά το αντίστοιχο μοντέλο τους 9960 (JD) και 2055 (Case IH), οι οποίες ήταν τεσσάρων σειρών και με απλή διαδικασία (υδραυλικά για την Case IH και χειροκίνητα για την John Deere) μπορούσαν να μετατρέπονται για συλλογή σε στενές (0.75 m) ή κανονικές (1m) γραμμές. Βέβαια γίνεται αντιληπτό ότι το κόστος συγκομιδής των στενών γραμμών είναι μεγαλύτερο λόγω του μεγαλύτερου χρόνου που απαιτείται για να συγκομισθεί μια έκταση με γραμμές 0.75 m σε σχέση με το χρόνο που θα απαιτούνταν αν η ίδια έκταση ήταν με κανονικές γραμμές. Συνεπώς περισσότερος χρόνος συγκομιδής σημαίνει περισσότερα λειτουργικά έξοδα για τη μηχανή. Αυτό το πρόβλημα του αυξημένου κόστους ξεπεράστηκε στη συνέχεια με την προσθήκη μιας ακόμη μονάδας συλλογής για στενές αποστάσεις μετατρέποντας τη βαμβάκοσυλλεκτική μηχανή σε 5σειρη. Στη συνέχεια και οι δύο εταιρείες βελτίωσαν τα μοντέλα αυτά τεχνολογικά φθάνοντας σήμερα στα τελευταία μοντέλα τους που είναι για την John Deere τα 9970 και 9976 (4 και 6 σειρών αντίστοιχα) και για την Case IH το 2555 (4 και 5 σειρών), με δυνατούς συγκομιδής διαφόρων καλλιεργητικών συστημάτων. Σημειώνεται ότι το κόστος συγκομιδής των στενών γραμμών (0.75 m) σε σχέση με τις κανονικές (1 m) μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο της μηχανής. Έτσι αν η μηχανή είναι δύο σειρών του 1 m τροποποιημένη για συγκομιδή στενών γραμμών, είτε οι νέες 2555 Case IH και 9976 John Deere το κόστος συγκομιδής των στενών γραμμών είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των κανονικών γραμμών. Μόνο στη νέα 9970 John Deere το κόστος παραμένει το ίδιο αν προστεθεί μια ακόμη μονάδα συλλογής και από τεσσάρων κανονικών γραμμών η μηχανή μετατραπεί σε πέντε στενών γραμμών.

Μεγάλο και συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον υπάρχει τα τελευταία χρόνια στις ΗΠΑ για σπορά βαμβάκιου σε στενές γραμμές, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις φτωχών εδαφών όπου, για διάφορους λόγους, η ανάπτυξη των φυτών είναι περιορισμένη. Με βάση πρόσφατα δεδομένα (προσωπική επικοινωνία με Dr. Weir) το σύστημα της απόστασης 0.75 m σε ορισμένες περιοχές της Καλιφόρνιας έχει πλέον γενικευθεί στην πράξη. Σήμερα η έρευνα και η πρακτική εφαρμογή στις περιοχές αυτές στρέφεται στην υιοθέτηση ακόμη στενότερων αποστάσεων γραμμών σποράς, οι οποίες όμως δεν μπορούν να συλλεχθούν με μηχανές Picker και απαιτείται η χρησιμοποίηση μηχανών Stripper (Perkins and Atwell, 1996, Edmisten et al., 1988, Fernandez, 1998). Οι μηχανές όμως Stripper που έχουν δοκιμαστεί και παλαιότερα στην Ελλάδα (Γαλανοπούλου, 1977), υποβαθμίζουν την ποιότητα του προϊόντος γεγονός που με βάση τα σημερινά δεδομένα τις καθιστούν ακατάλληλες για τη χώρα μας, η οποία φημίζεται για την υψηλή ποιότητα και τυποποίηση του βαμβάκιου.

Το σύστημα των στενών γραμμών, με μηχανοσυλλογή τύπου Picker, άρχισε το 1997 να διερευνάται, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Εργαστήριο Γεωργίας)

στα πλαίσια εγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας, με την εκπόνηση και μιας διδακτορικής διατριβής (ΠΕΝΕΔ 95 Α/Α 1598).

Έτσι το νέο καλλιεργητικό σύστημα, εφόσον αποδειχθεί ότι πλεονεκτεί και στις συνθήκες της χώρας μας, θα μπορεί εύκολα να υιοθετηθεί από τους παραγωγούς εφόσον πλέον υπάρχουν οι κατάλληλες μηχανές. Αρκετοί παραγωγοί άρχισαν ήδη να ενδιαφέρονται σε πολλές περιοχές της χώρας όπως Γιαννιτσά, Λάρισα, Καρδίτσα και αλλού (προσωπική επικοινωνία).

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ένα πείραμα αγρού εγκαταστάθηκε σε δύο περιοχές της Θεσσαλίας το 1997. Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως κύριες για την παραγωγή βαμβακιού στην Ελλάδα είναι η πρώτη το Στεφανοβίκειο Μαγνησίας (αγρός παραγωγού) και η δεύτερη στον Παλαμά Καρδίτσας (αγρόκτημα Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικών Ερευνών). Το πείραμα ήταν πολυπαραγοντικό 2x2x3, με τεμάχια, υποτεμάχια και υπό-υποτεμάχια σε πέντε επαναλήψεις για την πρώτη περιοχή και τέσσερις για τη δεύτερη περιοχή. Κύρια τεμάχια ήταν οι δύο αποστάσεις γραμμών (1 m και 0,75 m), υποτεμάχια ήταν οι δύο ποικιλίες (Ζέτα2 και Κορίνα) και υπό-υποτεμάχια ήταν οι πληθυσμοί (10, 20 και 30 φυτά/m²).

Για την καλλιέργεια των αγρών εφαρμόστηκε η συνήθης καλλιεργητική τεχνική. Στο Στεφανοβίκειο έγινε εφαρμογή βασικής (35 kg 16-30-10) και επιφανειακής λίπανσης (12 Kg 46,5-0-0, 2 kg 12-48-8 και 2 kg 9-15-27), ενώ στον Παλαμά μόνο βασική (70 kg 20-10-10). Η σπορά έγινε το τρίτο δεκαήμερο του Απριλίου, με σπαρτική μηχανή ακριβείας (Gaspardo 520). Η άρδευση έγινε με σύστημα στάγδην.

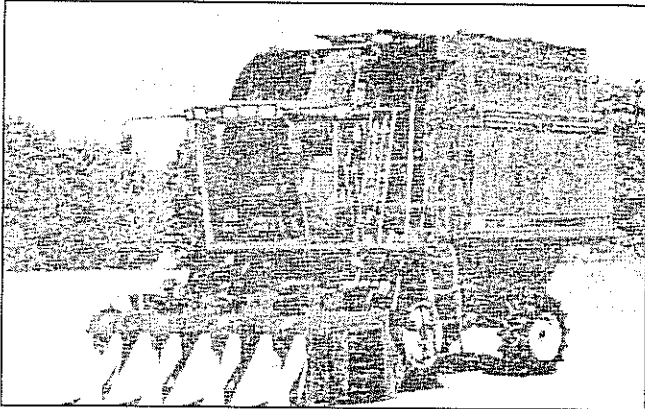
Η συγκομιδή των πειραματικών τεμαχίων στο Στεφανοβίκειο περιελάμβανε τρεις συλλογές με το χέρι (στις 22-9-97, 1-10-97 και 20-10-97) στο 10μετρο της γραμμής απόδοσης του κάθε τεμαχίου και μία συλλογή στο υπόλοιπο τεμάχιο (2-10-97) με βαμβακοσυλλεκτική μηχανή τύπου picker (Case International 2055, κατασκευής 1990, Εικ.1) κατάλληλη να συγκομίζει και σε στενές αποστάσεις μεταξύ των γραμμών σποράς.

Στον Παλαμά έγιναν δύο συγκομιδές με το χέρι (24-9-97 και 14-10-97) στο 10μετρο της γραμμής απόδοσης. Στο υπόλοιπο τεμάχιο η συλλογή δε στάθηκε δυνατό να γίνει με κατάλληλη μηχανή για στενές αποστάσεις, λόγω έλλειψης τέτοιας μηχανής στον ευρύτερο χώρο της περιοχής αυτής. Έτσι η συλλογή έγινε με μηχανή δύο σειρών του 1 m τύπου picker (John Deere 9920, κατασκευής 1980). Σε αυτή την περίπτωση στα τεμάχια της στενής απόστασης (0,75 m) οι γραμμές συλλέγονταν ανά μία με προσοχή (15-10-97).

Έγιναν πέντε δειγματοληψίες φυτών για ανάλυση της αύξησης και ανάπτυξης τους (growth analysis) καθώς και για τη μελέτη των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων επεξεργάστηκαν με τα στατιστικά πακέτα, Microsoft Excel και MSTAT.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς δεν φάνηκε να επηρεάζει στατιστικώς σημαντικά τη συνολική παραγωγή όπως αυτή προέκυψε είτε από τη χειροσυλλογή είτε από τη μηχανοσυλλογή. Ωστόσο στην απόσταση του 0,75 m στον Παλαμά και οι δύο ποικιλίες έδωσαν μεγαλύτερες αποδόσεις, ενώ στο Στεφανοβίκειο μόνο η Κορίνα έδωσε μεγαλύτερη απόδοση στις στενές γραμμές, η οποία είναι πιο μικρόσωμη από τη ΖΕΤΑ2. Σ' αυτή την περιοχή η ΖΕΤΑ2 έδωσε μεγαλύτερη απόδοση στην απόσταση του 1 m, ως πιο εύσωμη ποικιλία που είναι (Πίν. 1).



Εικόνα 1. Βαμβασυλλεκτική μηχανή τυπού Picker Case IH 2055 μεταβαλλόμενων αποστάσεων συγκομιδής

Επίσης στον Παλαμά και οι δύο ποικιλίες έδειξαν προσιμότητα στην απόσταση του 0.75 m σε σχέση με την απόσταση του 1 m, όπως φαίνεται από το ποσοστό απόδοσης της πρώτης συγκομιδής σε σχέση με τη συνολική απόδοση. Αυτή η τάση δεν επιβεβαιώνεται στο Στεφανοβίγειο (Πίν. 1).

Το βάρος των καρυδιών στο Στεφανοβίγειο δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά σε καμιά περίπτωση, ενώ στον Παλαμά η Κορίνα έδωσε ελαφρύτερα καρύδια στις στενές αποστάσεις σε σχέση με τις παραδοσιακές λόγω πιθανώς του μεγαλύτερου αριθμού καρυδιών (Πίν. 1).

Η ανάλυση της αύξησης και ανάπτυξης του βαμβακιού έδειξε ότι τα φυτά στην απόσταση 0.75 m είναι μικρότερα από εκείνα στην απόσταση του 1 m (Πίν. 1). Το ξηρό βάρος ανά τετραγωνικό μέτρο των βαμβακόφυτων ήταν μεγαλύτερο τον Ιούλιο στις στενές γραμμές από αυτό στις κανονικές, αλλά αυτή η διαφορά εξαλείφθηκε στα επόμενα στάδια ανάπτυξης. Αυτό δείχνει ότι η βλαστική ανάπτυξη των φυτών επιταχύνθηκε στις στενές γραμμές σε σχέση με τις κανονικές.

Στο Στεφανοβίγειο στην απόσταση του 1 m οι αραιοί πληθυσμοί και των δύο ποικιλιών έδωσαν υψηλότερο Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (ΔΦΕ) και υψηλότερη απόδοση από τους πυκνούς πληθυσμούς του 1 m πιθανόν λόγω του μικρότερου ανταγωνισμού των φυτών (Σχ. 1).

Στην απόσταση του 0.75 m οι πυκνοί πληθυσμοί έδωσαν υψηλότερο ΔΦΕ, αλλά μικρότερες αποδόσεις, ίσως γιατί η βλαστική ανάπτυξη έδρασε ανταγωνιστικά στην αναπαραγωγική.

Αναφορικά με το κόστος μηχανοσυλλογής σημειώνεται ότι η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Στεφανοβίγειο ήταν τεσσάρων σειρών μεταβαλλόμενων αποστάσεων συγκομιδής και επομένως στην περίπτωση του 1 m συγκόμιζε με ένα πέρασμα λωρίδα πλάτους 4 m, ενώ στην περίπτωση του 0.75 m συγκόμιζε λωρίδα 3 m. Επομένως το κόστος ήταν υψηλότερο στη δεύτερη περίπτωση. Σημειώνεται όμως όταν αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούνται στην κοινή καλλιέργεια, μπορεί να προστεθεί και πέμπτη μονάδα συλλογής και να εξαλειφθεί το μειονέκτημα αυτό.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

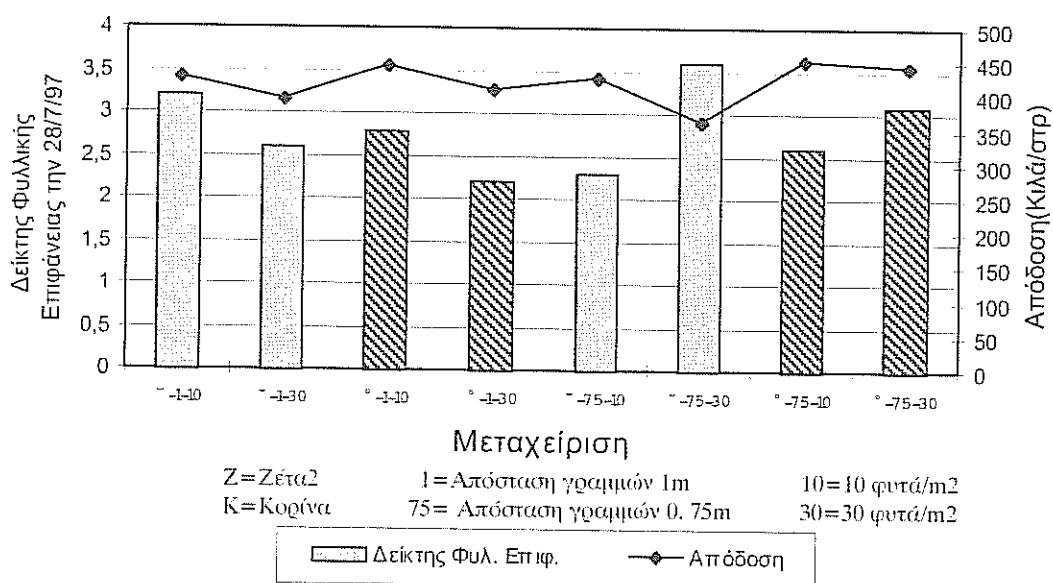
Η μείωση των εισροών όπως αναφέρεται και από άλλους ερευνητές αναμένεται να αυξήσει την αποτελεσματικότητα των στενών αποστάσεων και να μειώσει το κόστος παραγωγής με παράλληλη προστασία του περιβάλλοντος στα πλαίσια της αειφόρου γεωργίας. Τα στοιχεία της έρευνας δείχνουν ότι είναι δυνατή η μείωση των εισροών στο σύστημα των στενών αποστάσεων.

Πίνακας 1. Επίδραση της απόστασης μεταξύ γραμμών σποράς στην απόδοση, την προσιμότητα, το βάρος καρυδιών και το ύψος φυτών δύο ποικιλιών βαμβακιού, σε δύο περιοχές της Θεσσαλίας, το 1997.

Ποικιλία	Απόσταση γραμμών (m)	απόδοση		Βάρος καρυδιών		Τελικό ύψος φυτών (cm)
		Σύσπορο βαμβ (g/m ²)	1η Συγχομιδή (%)	1η Συγχομιδή (g)	1η Συγχομιδή (%)	
Στεφανοβίκειο						
ZETA2	1	415	81	7,5	40,1	85
ZETA2	0.75	403	80	7,6	40,4	78
Κορίνα	1	409	88	5,9	42,3	84
Κορίνα	0.75	438	88	5,9	42,6	79
LSD(0.05)		ns	6.7	ns	ns	
Παλαμάς						
ZETA2	1	385	65	7,7	39,3	102
ZETA2	0.75	409	76	7,6	39,8	92
Κορίνα	1	399	85	6,2	40,4	102
Κορίνα	0.75	413	91	5,7	40,3	94
LSD(0.05)		ns	ns	ns	ns	

(ns μη στατιστικώς σημαντική διαφορά σε $p=0.05$)

Σχήμα 1. Απόδοση και Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας των ποικιλιών ZETA2 και Κορίνα για πληθυσμούς 10 και 30 φυτών/m² σε κανονικές (1 m) και στενές (0.75 m) γραμμές στο Στεφανοβίκειο το 1997.



Η συγκομιδή του βαμβακιού στο σύστημα των στενών γραμμών μπορεί να γίνει και με τις παραδοσιακές μηχανές Picker ύστερα από εύκολη τροποποίηση. Η διαφανόμενη όμως προοπτική, όπως συμβαίνει και στο εξωτερικό, είναι η χρήση των νέων μηχανών Picker που με το υδραυλικό σύστημα που διαθέτουν μπορούν άνετα να συγκομίσουν τόσο στην απόσταση του 1 m, όσο και σε απόσταση 0.75 m. Οι νέες αυτές μηχανές άρχισαν ήδη να εισάγονται και στη χώρα μας και αναμένεται να αυξηθεί σύντομα ο αριθμός τους στα πλαίσια της αντικατάστασης παλαιότερων. Επομένως το νέο σύστημα δεν θα αντιμετωπίζει πρόβλημα μηχανοσυλλογής, γεγονός που θα συμβάλλει και στην επέκτασή του.

Με βάση τα προκαταρκτικά δεδομένα δεν φαίνεται να υπάρχει ουσιαστική διαφορά ως προς την αποτελεσματικότητα της χρήσης αυτών των μηχανών όταν χρησιμοποιηθούν σε καλλιεργητικά συστήματα της κοινής καλλιέργειας με αποστάσεις γραμμών 1 m ή 0.75 m

Η αποτελεσματικότητα των στενών γραμμών και των πυκνών πληθυσμών ως προς την απόδοση και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του βαμβακιού αναμένεται να βελτιωθεί με την εφαρμογή της ειδικής καλλιεργητικής τεχνικής που απαιτεί το νέο σύστημα (άρδευση, λίπανση, κτλ).

Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα θα εμπεδωθούν με την ολοκλήρωση της μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γαλανόπουλος Ν., Σ. Γαλανοπούλου-Σενδουκά. 1992. Σχέση πυκνότητας μολύσματος *Verticillium dahliae* στο έδαφος, πυκνότητας φυτείας, ποσοστού προσβολής και απόδοσης ποικιλιών βαμβακιού. Γεωργική Έρευνα: Τεύχος 16: 73-78.
2. Γαλανοπούλου-Σενδουκά Σ. 1977. Αύξηση και ανάπτυξη βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L) με διάφορο πληθυσμό φυτών και εποχή σορής. Διδακτορική διατριβή, Γεωπονική Σχολή, Πανεπ. Θεσσαλονίκης σελ. 1-83.
3. Edmisten K.L., N.M. Cawley, A.M. Stewart, and R. Wells. 1998. Ultra narrow row cotton production in North Carolina. World Cotton Research Conference-2, Athens 6-12 September. Abstract Book, p. 125.
4. Fernandez C.J., 1998. Performance of two stripper cotton cultivars planted at three ultra-narrow row spacings. World Cotton Research Conference-2, Athens 6-12 September. Abstract Book, p. 139.
5. Λευκοπούλου Σ., Σ. Γαλανοπούλου και Α. Χλίλιας. 1980. Το βαμβάκι σε δίδυμες γραμμές σορής. Γεωργική Έρευνα IV: 257-276.
6. Perkins W.R., S.D. Atwell. 1996. Ultra narrow row harvesting approaches. Proceedings Beltwide Cotton Conferences, Nashville, TN, January 9-12, p. 69.
7. Weir B., 1996. Narrow row cotton distribution and rationale. 1996 Beltwide Cotton Conferences: 65-66.
8. Williford J., 1992. Production of cotton on narrow-row spacing. Transaction of the ASAE: 35(4) 1109-1111.

ABSTRACT

Cotton comprises one of the most important extensively cultivated crops in Greece. The traditional cotton cultivation system with row distances of 1 meter was imposed by the early machines "Picker", adjusted to collect at such distances. Subsequent experimental results proved the superiority of narrower row distances in many cases. The recent trends internationally towards an agriculture with low inputs will reduce plant growth resulting to a less effective plant canopy and productivity. Under such conditions, cultivation in narrower rows which permit higher plant densities is expected to be superior as compared to traditional system. Recently, modified and new Picker machines have been used successfully for harvesting cotton grown in narrow rows of 0.75 m.

In this work, the mechanizable cultivation and harvesting of cotton sown in narrow rows of 0.75 m was studied for two Greek cultivars (Zeta-2 and Corina) grown in Thessaly (Magnessia and Karditsa) in 1997 in comparison to the traditional cultivation at a row distance of 1 m. The possibility of using modified old cotton pickers or new pickers adapted to the narrower row cultivation system is also investigated considering the cost-benefit ratio.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΜΕ ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

Κ. Ακριτίδης¹, Π. Καλοκάσης²

^{1,2}Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η δυνατότητα βελτίωσης του βαθμού απόδοσης αντλίας με μεταβολή της γεωμετρίας της περρωτής. Τα άκρα των περρυγίων, μιάς περρωτής ημίγλειστου τύπου, προεκτάθηκαν προς το μάτι σε διάφορα μήκη και μετρήθηκαν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της αντλίας (παροχή, μανομετρικό ύψος, αριθμός στροφών), καθώς και η εισερχόμενη ισχύς, σε εργαστηριακή μονάδα δοκιμών. Από τα δεδομένα των μετρήσεων υπολογίστηκε ο βαθμός αποδόσεως της αντλίας για κάθε μήκος προέκτασης των περρυγίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας, χωρίς να τον επανασχεδιασμό της περρωτής.

IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF AN IMPELLER BY PROJECTING THE VANE TO THE EYE

C.B. Akritidis, P. Kalokasis

ABSTRACT

The reduction of the hydraulic losses at the inlet of an impeller has been investigated in this work. The edge of the vanes were projected to the eye at different lengths and the pump characteristics (pressure, capacity, rpm), as well as the input energy, were measured in each case. Then the efficiency of the pump was calculated using the data collected. The tests run in a pump test ring. The results shown that a noticeable amount of the input energy may be saved by projecting the vanes at the inlet without altering the desining parameters of the impeller.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βασική σχέση που περιγράφει τη ροή του ρευστού μέσα σε μια φυγόκεντρη αντλία είναι το θεώρημα της στροφορμής [5], [10], του οποίου η γενική μορφή είναι:

$$\frac{d\dot{\Sigma}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_V \rho(\vec{r}_x \vec{c}) dv = \Sigma \dot{M} \quad (1)$$

Εξειδικεύοντας την εξίσωση (1) στη ροή ιδανικής περρωτής προκύπτει η εξίσωση Euler [1]:

$$\Delta W = \frac{T_W}{m} = u_2 C u_2 - u_1 C u_1 \quad (2)$$

Η εξίσωση (2) εκφράζει το παραγώμενο έργο από ιδανική περρωτή, το οποίο είναι συνάρτηση της παροχής (Q) και του μανομετρικού ύψους (H).

Η γενική μορφή τη χαρακτηριστικής καμπύλης του μανομετρικού ύψους συναρτήσει της παροχής, για σταθερό αριθμό στροφών, δίνεται [5], [6], [10] από τη σχέση:

$$H = An^2 + BnQ + CQ^2 \quad (3)$$

Οι τιμές των σταθερών A, B, C μιάς πραγματικής περρωτής εξαρτώνται από τον αριθμό των περρυγίων της περρωτής, τη γεωμετρία των περρυγίων, το πάχος των περρυγίων, τις ολικές απώλειες τριβής κατά τη ροή του υγρού μέσα στην αντλία και τις απώλειες λόγω τυρβώδους ροής, ο οποίος οφείλονται στη μη εφραπτομενική ροή του ρευστού στην είσοδο της περρωτής.

Η επίτευξη του μέγιστου μανομετρικού ύψους κατά το σχεδιασμό μιας περρωτής ορισμένης διαμέτρου, εξαρτάται από τον αριθμό στροφών και τον βέλτιστο συνδυασμό των υπεισερχόμενων παραμέτρων.

Οι κρίσιμες περιοχές των περρυγίων, που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για επίτευξη των μέγιστων τιμών των σταθερών A, B, C είναι οι περιοχές προσβολής στην ακμή εισόδου του περρυγίου, η διαφορά πίεσης στην ακμή λόγω μεταβολής της πυκνότητας των γραμμών ροής και το σχήμα της ακμής φυγής.

Για εφραπτομενική είσοδο του ρευστού στο περρυγίο, το σημείο ανακοπής πρέπει να βρίσκεται πάνω στη μέση γραμμή της περιοχής προσβολής στην ακμή. Εάν η γωνία εισόδου αυξηθεί πέρα από ένα ορισμένο όριο τότε δημιουργείται αποκόλληση της ροής, με συνέπεια τη διαστρέβλωση του οριακού στρώματος στην περιοχή του σημείου ανακοπής και στη συνέχεια μετάβαση σε τυρβώδες οριακό στρώμα. Οι συνέπειες μιας τέτοιας αποκόλλησης δεν είναι τόσο σημαντικές, όσον αφορά την εναλλαγή των ταχυτήτων ροής μέσα στην αντλία, γιατί επηρεάζουν μόνο τη μεταβολή της σχετικής ταχύτητας που είναι μικρή σε σχέση με τη μεταβολή της περιφερειακής ταχύτητας, επηρεάζουν όμως την εναλλαγή έργου που εκδηλώνεται στο βαθμό απόδοσης και την ευστάθεια της χαρακτηριστικής καμπύλης. Υπάρχουν επίσης ενδείξεις ότι η γενική συστροφή, που εμφανίζεται στις αντλίες κάτω από συνθήκες λειτουργίας μερικής παροχής, είναι αποτέλεσμα της αποκόλλησης στην περιοχή της ακμής προσβολής.

Η διαφορά πίεσης στις δύο πλευρές του περρυγίου διαφοροποιεί τις ταχύτητες στο κοίλο μέρος και στο κυρτό μέρος του. Η περιοχή μέγιστης ταχύτητας ελαχιστοποιεί τη στατική πίεση και επομένως δημιουργεί περιοχή εμφάνισης της σπηλαίωσης στο ρευστό, το οποίο κινείται στους αγωγούς που σχηματίζουν τα διαδοχικά περρυγία. Τα χαρακτηριστικά της ροής επηρεάζονται από το σχήμα των αγωγών αυτών. Εάν το μήκος των περρυγίων και επομένως των αγωγών είναι πολύ μικρό, υπάρχει κίνδυνος διαχωρισμού και ασυνέχειας της ροής, ενώ εάν το μήκος είναι μεγάλο αυξάνονται οι απώλειες. Για τη μεγιστοποίηση του βαθμού απόδοσης, πρέπει να επιλεγεί το βέλτιστο μήκος των περρυγίων, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι υδραυλικές απώλειες.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για τη διερεύνηση των βέλτιστων συνθηκών ροής σε μία συγκεκριμένη περρωτή μελετήθηκε η ροή στην περιοχή της ακμής προσβολής καθώς και στους αγωγούς μεταξύ δύο διαδοχικών περρυγίων. Τροποποιήθηκε η γεωμετρία των περρυγίων της περρωτής, διαμέτρου 200 mm, και μετρήθηκε η επίπτωση της μεταβολής της γεωμετρίας της περρωτής στον ολικό βαθμό απόδοσής της, σε εργαστηριακή πειραματική διάταξη. Οι μετρήσεις έγιναν σύμφωνα με τις προδιαγραφές της British Standards [2], [3] και [10].

Οι βασικές αρχές και μέθοδοι μέτρησης αντλιών δίδονται από το B.S. 599:1939 PUMP TESTS [9], B.S. 725:1937 [7] SEWAGE PUMP TESTS, B.S. 724:1937 [10] VAPOURING LIQUID

PUMP TESTS. Όλες οι μετρήσεις των αντλιών βασίζονται στη μέτρηση των υδροδυναμικών ποσοτήτων της ροής δια μέσου της αντλίας.

Πειραματική διάταξη

Η συσκευή των πειραματικών μετρήσεων είναι μονάδα κλειστού κύκλου ροής με τον άξονα της αντλίας σε κατακόρυφη θέση, ομοαξονικά συνδεδεμένη με δυναμόμετρο, το οποίο είναι βαθμονομημένος κινητήρας με δυνατότητα ταχύτητας περιστροφής από 300 RPM έως 1000 RPM. Το κύκλωμα κλείνει με σωληνώσεις P.V.C. και ρυθμιστικές βάνες. Η μέτρηση της παροχής γίνεται με παροχόμετρο τύπου Venturi [2] και οι μετρήσεις των πιέσεων με διαφορικό υδραγωγικό μανόμετρο. Οι οπές λήψης της πίεσης πληρούν τις προϋποθέσεις του B.S. 599:1966 [9].

Προέκταση των πτερυγίων

Από τη θεμελιώδη εξίσωση των φυγόκεντρων αντλιών [1] προκύπτει ότι το ολικό ύψος που αναπτύσσει μια αντλία και επομένως ο βαθμός απόδοσής της εξαρτάται από παραμέτρους που καθορίζουν τη γεωμετρική της κατασκευή, όπως η γωνία εξόδου των πτερυγίων, ο αριθμός των πτερυγίων, η μορφή του περιβλήματος της αντλίας και το μέγεθος των πτερυγίων. Για τη μελέτη της επίπτωσης της γεωμετρίας των πτερυγίων στα χαρακτηριστικά της αντλίας, χρησιμοποιήθηκε πτερωτή ημίκλειστου τύπου, διαμέτρων: εισόδου $D1 = 100$ mm και εξόδου $D2 = 200$ mm, στην οποία προεκτάθηκαν τα πτερύγια προς το μάτι.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι πειραματικές μετρήσεις αφορούσαν τον προσδιορισμό του μανομετρικού ύψους και της ροπής για διάφορες παροχές σε 1000 RPM και 800 RPM.

Οι πίνακες 1 έως 4 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων με αριθμό στροφών $n = 1000$ RPM, ενώ οι πίνακες 5-8 τα αποτελέσματα των μετρήσεων με αριθμό στροφών $n = 800$ RPM.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Διάμετρος ματιού $\Phi = 100$ mm.

a/a	Δh cmHg	Δh mH ₂ O	m Kg/sec	M Nm	$P_{μη.}$ Watt	$P_{δαν.}$ Watt	η
1	31,0	4,2	8,0	4,45	329,62	468,90	0,708
2	33,8	4,6	7,0	4,25	315,88	447,80	0,705
3	36,2	4,9	6,0	4,00	288,41	418,70	0,689
4	38,2	5,2	5,0	3,70	255,10	387,26	0,659
5	40,5	5,5	4,0	3,50	215,82	366,33	0,589
6	42,0	5,4	3,0	3,10	158,92	334,93	0,474
7	42,2	5,7	2,0	3,00	111,83	314,00	0,356
8	42,6	5,8	1,0	2,60	56,90	261,67	0,209

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Διάμετρος ματιού $\Phi = 95$ m.

α/α	Δh cmHg	Δh mH ₂ O	m Kg/sec	M Nm	$P_{\text{ωφ.}}$ Watt	$P_{\text{δυσ.}}$ Watt	η
1	32,5	4,42	8,0	4,70	346,88	481,47	0,700
2	36,7	4,99	6,9	4,50	337,17	471,00	0,714
3	40,0	5,44	6,0	4,30	320,20	450,10	0,711
4	42,0	5,71	5,0	4,20	279,59	442,57	0,632
5	43,5	5,93	4,1	3,90	238,36	410,96	0,580
6	47,6	6,47	2,1	3,35	133,29	353,00	0,318
7	49,2	6,69	1,1	3,15	72,19	331,92	0,217

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Διάμετρος ματιού $\Phi = 90$ mm.

α/α	Δh cmHg	Δh mH ₂ O	m Kg/sec	M Nm	$P_{\text{ωφ.}}$ Watt	$P_{\text{δυσ.}}$ Watt	η
1	33,8	4,59	8,1	4,59	364,73	512,87	0,711
2	37,5	5,10	6,9	5,10	345,21	481,47	0,717
3	41,2	5,60	6,0	5,60	329,62	474,18	0,695
4	43,4	5,90	5,0	5,90	289,34	439,60	0,658
5	45,7	6,21	4,1	6,21	249,77	432,03	0,578
6	48,0	6,53	2,5	6,53	160,15	366,33	0,437
7	50,8	6,90	1,0	6,90	67,69	294,30	0,230

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Διάμετρος ματιού $\Phi = 80$ mm.

α/α	Δh cmHg	Δh mH ₂ O	m Kg/sec	M Nm	$P_{\text{ωφ.}}$ Watt	$P_{\text{δυσ.}}$ Watt	η
1	34,5	4,7	8,1	5,00	373,47	523,30	0,714
2	37,5	5,1	7,1	4,70	355,22	491,93	0,722
3	41,5	5,6	6,0	4,50	329,61	471,00	0,699
4	47,3	6,4	4,0	4,10	251,14	429,13	0,585
5	49,5	6,7	2,5	3,60	167,32	379,80	0,444
6	51,4	6,9	1,0	2,81	67,69	294,30	0,230

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Διάμετρος ματιού $\Phi = 100$ mm.

α/α	Δh cmHg	Δh mH ₂ O	m Kg/sec	M Nm	$P_{\text{ωφ.}}$ Watt	$P_{\text{δυσ.}}$ Watt	η
1	20,0	2,72	6,3	3,05	168,10	255,39	0,658
2	23,0	3,13	5,0	2,75	153,53	230,27	0,667
3	26,5	3,60	4,0	2,55	141,26	213,52	0,662
4	27,5	3,75	3,0	2,20	110,36	184,21	0,559
5	31,0	4,22	1,0	1,70	41,40	125,6	0,32

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Διάμετρος ματιού $\Phi = 95$ m.

a/a	Δh cmHg	Δh mH ₂ O	m Kg/sec	M Nm	P _{ωφ.} Watt	P _{δαν.} Watt	η
1	21,0	2,86	6,2	3,10	173,95	259,57	0,670
2	24,0	3,26	5,1	2,90	163,10	242,83	0,672
3	26,9	3,66	4,0	2,60	143,69	217,71	0,660
4	28,0	3,81	3,0	2,30	112,13	192,59	0,580
5	28,5	3,88	2,0	1,80	76,13	150,72	0,500
6	29,4	4,00	1,1	1,50	43,16	125,60	0,340

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Διάμετρος ματιού $\Phi = 90$ mm.

a/a	Δh cmHg	Δh mH ₂ O	m Kg/sec	M Nm	P _{ωφ.} Watt	P _{δαν.} Watt	η
1	20,5	2,80	6,5	3,2	178,54	267,95	0,661
2	21,3	2,90	6,0	3,1	170,69	259,57	0,658
3	24,5	3,33	5,0	2,9	163,34	242,83	0,672
4	27,9	3,80	4,0	2,7	149,11	226,08	0,660
5	31,2	4,20	2,9	2,3	119,49	192,59	0,620
6	33,5	4,60	1,0	1,6	45,13	133,97	0,337

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Διάμετρος ματιού $\Phi = 80$ mm.

a/a	Δh cmHg	Δh mH ₂ O	m Kg/sec	M Nm	P _{ωφ.} Watt	P _{δαν.} Watt	η
1	20,4	2,77	6,9	3,30	187,90	276,32	0,680
2	27,0	3,67	5,0	3,10	180,01	259,57	0,693
3	29,5	4,01	4,1	2,85	161,29	238,64	0,676
4	31,1	4,23	3,3	2,60	136,94	217,71	0,629
5	34,0	4,60	1,5	1,90	67,69	159,10	0,425

Τα σχεδιαστικά μεγέθη της περωτής ήταν: Ύψος περυγίου 15 mm, πάχος περυγίου 0,3 mm, αριθμός περυγίων 8, γωνία εισόδου ακτινικής διεύθυνσης α , γωνία εξόδου ακτινικής διεύθυνσης β 50, καμπυλότητα περυγίου κυκλική και ακτίνα περυγίου κεντρικής γραμμής 82,5 mm.

Η επιμήκυνση των περυγίων έγινε με επαναχύτευση της περωτής προσθέτοντας σε κάθε περυγίο μήκος 20 mm, ίδιου πάχους. Στην καινούργια περωτή, αφαιρέθηκαν, σε εργαλειομηχανή, τμήματα της προέκτασης κατά 10 mm και 5 mm, δηλαδή προέκυψαν περωτές με διάμετρο ματιού 80 mm, 90 mm, 95 mm και 100 mm.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Στον πίνακα 9 φαίνονται οι τιμές του μέγιστου μανομετρικού ύψους και του μέγιστου βαθμού αποδόσεως της αντλίας για κάθε μήκος προέκτασης των περυγίων σε 1000 RPM.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Μέγιστες τιμές των H, η σε 1000 RPM.

Μήκος επιμήκυνσης (cm)	H _{max} (m _{H2O})	η _{max}
0,0	5,80	0,708
0,5	6,69	0,714
1,0	6,90	0,717
2,0	6,90	0,722

Υπολογίζοντας τις μεταβολές του μανομετρικού ύψους και του βαθμού απόδοσης, με τη μέση παροχή (8 kg/sec), προέκυψε αύξηση των χαρακτηριστικών μεγεθών ως εξής:

$$H_{0,5} - H_0 = 4,42 - 4,20 = 0,22 \text{ m}_{\text{H}_2\text{O}},$$

$$H_{1,0} - H_0 = 4,59 - 4,20 = 0,39 \text{ m}_{\text{H}_2\text{O}},$$

$$H_{2,0} - H_0 = 4,70 - 4,20 = 0,50 \text{ m}_{\text{H}_2\text{O}}.$$

$$\eta_{0,5} - \eta_0 = 0,714 - 0,708 = 0,006$$

$$\eta_{1,0} - \eta_0 = 0,717 - 0,708 = 0,009$$

$$\eta_{2,0} - \eta_0 = 0,722 - 0,708 = 0,014$$

Η αύξηση του μανομετρικού ύψους με επιμήκυνση του περυγίου κατά 0,5 cm, 1,0 cm και 2,0 cm ήταν 5%, 9% και 12%, αντιστοίχως.

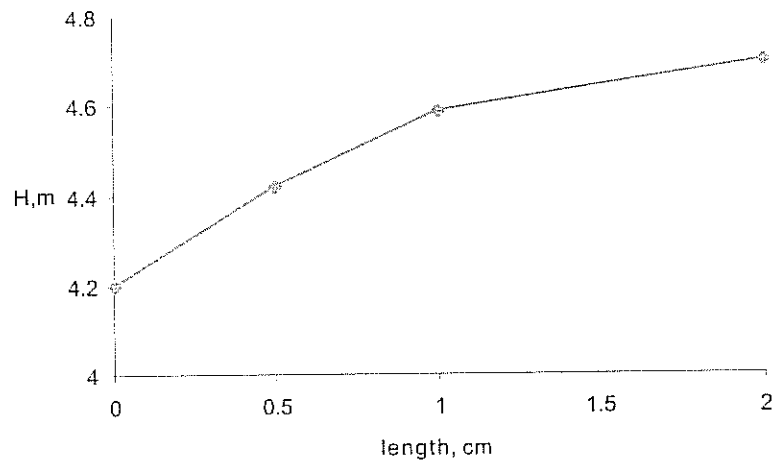
Η αύξηση του μέγιστου βαθμού απόδοσης για τα ίδια μήκη περυγίου ήταν 0,85%, 1,30% και 2,00%, αντιστοίχως.

Στον πίνακα 10 φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές του πίνακα 9 σε 800 RPM.

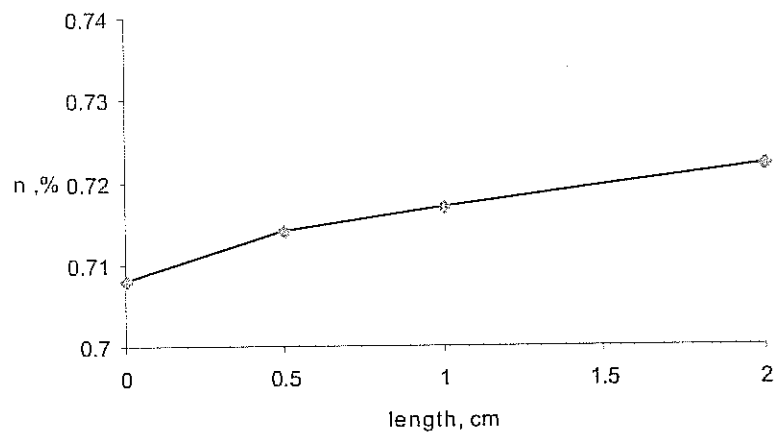
ΠΙΝΑΚΑΣ 10. Μέγιστες τιμές H, η σε 800 RPM.

Μήκος επιμήκυνσης (cm)	H _{max} (m _{H2O})	η _{max}
0,0	4,22	0,667
0,5	4,00	0,672
1,0	4,60	0,672
2,0	4,60	0,693

Συγκρίνοντας τους πίνακες 9 και 10 γίνεται φανερό ότι, με μείωση του αριθμού στροφών από 1000 RPM σε 800 RPM, η μεταβολή του μανομετρικού ύψους και του βαθμού απόδοσης είναι πολύ μικρότερη για κάθε περίπτωση επιμήκυνσης των περυγίων. Οι καμπύλες των σχημάτων 1 και 2 δείχνουν τις μεταβολές του μανομετρικού ύψους και του βαθμού απόδοσης συναρτήσει του μήκους επιμήκυνσης των περυγίων για παροχή 8 kg/sec. Η αύξηση του μανομετρικού ύψους και του βαθμού απόδοσης θα ήταν πολύ μεγαλύτερη, για τις αντίστοιχες επιμηκύνσεις, εάν ο αριθμός στροφών ήταν μεγαλύτερος των 1000 RPM. Η πειραματική διάταξη όμως δεν παρείχε τέτοια δυνατότητα για να διαπιστωθεί το συμπέρασμα και πειραματικά.



Σχ. 1. Μεταβολή του μανομετρικού ύψους συναρτήσει της επιμήκυνσης για παροχή 8 kg/sec.



Σχ. 2. Μεταβολή του βαθμού απόδοσης συναρτήσει της επιμήκυνσης για παροχή 8 kg/sec.

Εφαρμόζοντας τις σχέσεις ομοιότητας, αποδείχτηκε ότι το σφάλμα μέτρησης στις τιμές, που έχουν ληφθεί, είναι της τάξεως του 1% έως 6%. Επομένως οι μετρήσεις μας είναι αξιόπιστες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης αυξάνει με την προέκταση του μήκους του περυγίου έως και 2% για τις συνθήκες του πειράματος.
2. Αύξηση του μήκους του περυγίου προς το μάτι έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μέγιστου μανομετρικού ύψους έως και 12% για τις ίδιες πειραματικές συνθήκες.

3. Με την επιμήκυνση των πτερυγίων αναμένεται περαιτέρω βελτίωση του μανομετρικού ύψους και του βαθμού απόδοσης σε αντλίες με μεγάλο αριθμό στροφών.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

A	Σταθερά
B	Σταθερά
C	Σταθερά
	Διάνυσμα ταχυτήτων
C_{u1}	Εφαπτομενική ταχύτητα στην είσοδο της πτερωτής
C_{u2}	Εφαπτομενική ταχύτητα στην έξοδο της πτερωτής
η	Βαθμός απόδοσης
H	Μανομετρικό ύψος
m	Μάζα
n	Αριθμός στροφών
$P_{\omega\eta}$	Ωφέλιμη ισχύς
$P_{\omega\alpha\pi}$	Δαπανώμενη ισχύς
Q	Παροχή
q	Πυκνότητα ρευστού
	Διάνυσμα απόστασης
	Στροφορμή
t	Χρόνος
T	Ροπή στον άξονα περιστροφής
u_2	Περιστροφική ταχύτητα στην έξοδο της πτερωτής
W	Ενέργεια ανά μονάδα μάζας
ω	Γωνιακή ταχύτητα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αζριτίδης, Κ. 1988. Αντλίες, Θεσσαλονίκη.
2. British Standards Specifications. No 1042. Methods of measurement of fluid flow in Closed conduits, G.B.
3. British Standards Specifications. No 559. Pump tests.
4. Γούλας Α., 1988. Βασικές αρχές στροβιλοκινητήρων, Θεσσαλονίκη.
5. Church, A.1972. Centrifugal pumps and blowers. John Willes & sons inc., U.S.A.
6. Dixon, S.I.1975. Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery, Pergamon Press, G.B.
7. Karassik, I.J. 1967. Pump Handbook, Mc Graw Hill Book Company, U.S.A.
8. Lazarkiewicz, S.1965. Impeller pumps, Pergamon Press, G.B.
9. Pumping Data, volume II, 1967. Trade and Technical press L.t.d.
10. Stepanoff, A.1957. Centrifugal and axial flow pumps, John Willey & sons Inc., U.S.A.

ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑΣ (ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΣΑΜΠΡΗ)

Θ.Ι. Τσιρικόγλου¹, Θ.Α. Γέμτος²

¹Δρ Μηχ/γος Μηχ/κός, Καθηγητής ΤΕΙ/Α, 41110 Λάρισα.

²Δρ Γεωπόνος Αναπλ. Καθηγητής Παν. Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αναφέρεται στον επανασχεδιασμό μιας δισκοσβάρνας με σκοπό την κατάργηση των συστημάτων ρύθμισης της κλίσης των δίσκων και συνεπώς τη μείωση του κόστους παραγωγής της. Σκοπός ήταν η εύρεση της καλύτερης γωνίας κλίσης των δίσκων, για τα Ελληνικά εδάφη. Οι μετρήσεις έγιναν με τη χρησιμοποίηση δισκοσβάρνας Εργοστασίου Σάμπρη. Προσδιορίστηκε η κλίση των πρόσθιων και οπίσθιων δίσκων της δισκοσβάρνας που επιτυγχάνει την ελάχιστη δύναμη έλξης με ικανοποιητικό βάθος κατεργασίας και ψιλοχωματισμού του εδάφους για διάφορους τύπους εδαφών. Αποδείχθηκε ότι οι πρόσθιοι δίσκοι πρέπει να έχουν κλίση γύρω στις 18 μοίρες και οι οπίσθιοι περί τις 16 μοίρες. Η έρευνα έγινε στο ΤΕΙ Λάρισας στα πλαίσια του Προγράμματος Συγχρηματοδότησης της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας.

REDESIGN OF A DISK HARROW TO REDUCE PRODUCTION COSTS (SABRIS Co)

Th. Tsiricoglou, *Dr Mechanical Engineer, TEI of Larissa, 41110 Larissa, Greece*

T.A. Gemtos, *Dr Agricultural Engineer, University of Thessaly, Greece*

ABSTRACT

The redesign of a disk harrow in order to omit the disk angle adjustment system such that the production cost will be minimized is presented in this work. The aim was to define the optimum disk angle for Greek conditions. Measurements were carried out using a disk harrow manufactured by SABRIS Co. The optimum front and back disk gang angle was determined which achieved the minimum pulling force and satisfactory working depth and soil pulverization for different soil types. It was proved that the optimum work was achieved when front disk angle was 18 degrees and the back about 16 degrees. The research was carried out in the farm of TEI of Larissa and funded by the General Secretary of Research and Technology and SABRIS Co.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μηχανήματα κατεργασίας εδάφους που χρησιμοποιούν δίσκους για την ενέργεια τους έχουν μια ιδιαίτερα μεγάλη εξάπλωση τόσο στη χώρα μας όσο και παγκόσμια. Τα μηχανήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. Τα δισκάροτρα. Τα μηχανήματα αυτά κάνουν αντίστοιχες ενέργειες με το υνάροτρο με την διαφορά ότι υποκαθιστούν το υνί και τον αναστρεπτήρα με ένα δίσκο.
2. Το πολύδισκο που είναι ένα μηχανήμα που έχει μια σειρά από δίσκους σε κοινό άξονα λειτουργεί σε γωνίες κλίσεως ως προς την κατεύθυνση κινήσεως γύρω στις 450 και χρησιμο-

ποιείται για πρωτογενή κατεργασία του εδάφους και ταυτόχρονα προετοιμασία της σποροκλίνης για κατευθείαν σπορά σιτηρών.

3. Η τρίτη κατηγορία (δισκοσβάρνες) είναι και η περισσότερο χρησιμοποιούμενη τόσο στην χώρα μας όσο και παγκόσμια. Οι δισκοσβάρνες έχουν τους δίσκους σε κοινό άξονα και όλο το μηχάνημα μπορεί να αποτελείται από δύο ή από τέσσερες άξονες. Οι δισκοσβάρνες κατασκευάζονται με δίσκους διαμέτρου από 300 μέχρι και μεγαλύτερους από 650 mm και επομένως υπάρχουν διάφοροι τύποι σβαρών (ελαφρότεροι ή βαρύτεροι). Οι ελαφρότεροι τύποι χρησιμοποιούνται κυρίως για προετοιμασία της σποροκλίνης δηλαδή για ψιλοχωμάτισμα του εδάφους μετά από όργωμα ή από πέρασμα με κάποιο βαρύτερο μηχάνημα όπως π.χ. με βαρύ καλλιεργητή. Οι βαρύτερες δισκοσβάρνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πρωτογενείς αβαθείς κατεργασίες. Οι δισκοσβάρνες αυτές έχουν αρκετό βάρος ανά μέτρο πλάτους εργασίας και έχουν την δυνατότητα να διεισδύουν σε βάθος μέχρι 8 έως 10 εκ. προκαλώντας μια αναμιόχλευση του εδάφους, ψιλοχωμάτισμα του, καταστροφή των ζιζανίων αλλά και μια επιφανειακή ενσωμάτωση τυχόν φυτικών υπολειμμάτων από την προηγούμενη καλλιέργεια.

Οι δισκοσβάρνες μπορούν επίσης να χωριστούν σε τρεις τύπους:

1. Δισκοσβάρνες απλής ενέργειας. Οι δισκοσβάρνες αυτές έχουν τους δίσκους σε μια σειρά, σε δύο άξονες με τους δίσκους να έχουν διαφορετική κατεύθυνση κλίσης στους δύο άξονες. Με τον τρόπο αυτό το χώμα μεταφέρεται από το σημείο δράσεως δισκοσβάρνας προς τα έξω και αυτό βεβαίως δημιουργεί προβλήματα ισοπέδωσης των χωραφιών. Η δισκοσβάρνα αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε δενδροκομικές καλλιέργειες, για καταστροφή ζιζανίων και για μεταφορά χώματος κοντά στα δέντρα.
2. Ο τύπος με τέσσερις άξονες οι οποίοι μπορεί να έχουν διαφορετικές κλίσεις. Η δισκοσβάρνα αυτή όταν οι άξονες έχουν κλίση μοιάζει με ένα Χ. Οι δίσκοι σε κάθε άξονα έχουν διαφορετική κατεύθυνση κλίσεως και ουσιαστικά, η μπροστά ομάδα των δίσκων μεταφέρει το χώμα προς μια κατεύθυνση και η αμέσως από πίσω το επαναφέρει στη θέση του διατηρώντας το επίπεδο του εδάφους.
3. Ο τρίτος τύπος έχει τους δίσκους σε δύο άξονες οι οποίοι σχηματίζουν μεταξύ τους ένα σχήμα σαν το γράμμα σαν Α. Οι δίσκοι στον μπροστά και στον πίσω άξονα έχουν διαφορετική φορά κλίσης και επομένως μεταφέρουν το χώμα μια προς την μια πλευρά και μια προς την άλλη διατηρώντας την επιπεδότητα του εδάφους. Οι δίσκοι της δισκοσβάρνας μπορεί να είναι πλήρεις ή να έχουν αφαιρεθεί τμήματα και η εξωτερική πλευρά τους να είναι μαιανδρική. Οι πρώτοι επιτυγχάνουν καλύτερο ψιλοχωμάτισμα του εδάφους, ενώ οι δεύτεροι βαθύτερη διείσδυση. Επίσης οι δίσκοι μπορεί να είναι απλοί σφαιρικοί (μέρος σφαίρας) με διάφορες ακτίνες καμπυλότητας, σύνθετοι, σφαιρικοί με δύο τμήματα σφαίρας διαφορετικής ακτίνας καμπυλότητας ή με το άκρο τους κωνικό.

Η δισκοσβάρνα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για προετοιμασία της σποροκλίνης μετά από μια πρωτογενή κατεργασία. Τα τελευταία έτη με την συμπίεση των τιμών των γεωργικών προϊόντων που προήλθε από την αναμόρφωση της κοινής αγροτικής πολιτικής και από την συμφωνία του Παγκόσμιου Οργανισμού Εμπορίου άρχισαν να διερευνώνται δυνατότητες συμπίεσης του κόστους παραγωγής. Στις μη αρδευόμενες περιοχές της Θεσσαλίας η συνήθης καλλιέργεια είναι χειμερινά σιτηρά ή ψυχανθή. Οι καλλιέργειες αυτές δεν απαιτούν ιδιαίτερα βαθιές κατεργασίες του εδάφους για να αναπτυχθούν όπως π.χ. το βαμβάκι και τα τεύτλα. Πειραματι-

κά δεδομένα ([3]Gemtos et Al, 1997) δείχνουν ότι στα σιτηρά μπορεί να γίνει σπορά ακόμα και με διανομή στην επιφάνεια του εδάφους και μικρή ενσωμάτωση χωρίς καμιά κατεργασία του εδάφους και χωρίς να έχουμε ουσιαστική μείωση των αποδόσεων. Γι αυτό τα τελευταία χρόνια πολλοί παραγωγοί άρχισαν να χρησιμοποιούν δισκοσβάρνες για μια επιφανειακή μικρή αναμόχλευση του εδάφους και ενσωμάτωση των υπολειμμάτων του αγύρου που υπάρχουν στην επιφάνεια και κατευθείαν σπορά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούν δισκοσβάρνες οι οποίες είναι μάλλον "βαρέως" τύπου δηλαδή δισκοσβάρνες οι οποίες έχουν δίσκους με διάμετρο της τάξεως των 50 εκ. και πάνω και σχετικά υψηλό βάρος ανά μονάδα πλάτους του μηχανήματος. Στα πλαίσια αυτά η συνεργαζόμενη εταιρεία Υιοί Αναστασίου Σάμπρη και Σια ομόρρυθμος εταιρεία κατασκεύασαν μια δισκοσβάρνα η οποία θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες των περιοχών αυτών για πρωτογενή και δευτερογενή κατεργασία και κατευθείαν σπορά των σιτηρών. Το μηχανήμα έχει δυνατότητα ρυθμίσεως της γωνίας κλίσεως των δίσκων μεταξύ 12 και 220. Οι ρυθμίσεις αυτές είναι οι συνήθεις ρυθμίσεις για δισκοσβάρνες όπως αναφέρονται και στην διεθνή βιβλιογραφία (Kerper et al 1978). Πολλές μελέτες ([1],[2],[8],[9],[10],[11],[12]) έχουν γίνει στη βιβλιογραφία για την μελέτη της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στην λειτουργία της δισκοσβάρνας. Τα στοιχεία που μελετήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Αναπτυσσόμενες δυνάμεις,
- επίδραση της ταχύτητας εργασίας,
- επίδραση λειτουργίας των δίσκων,
- επίδραση της διαμέτρου των δίσκων,
- επίδραση της καμπυλότητας των δίσκων,
- επίδραση της επιφάνειας που έρχεται σε επαφή με το έδαφος από το πίσω μέρος των δίσκων

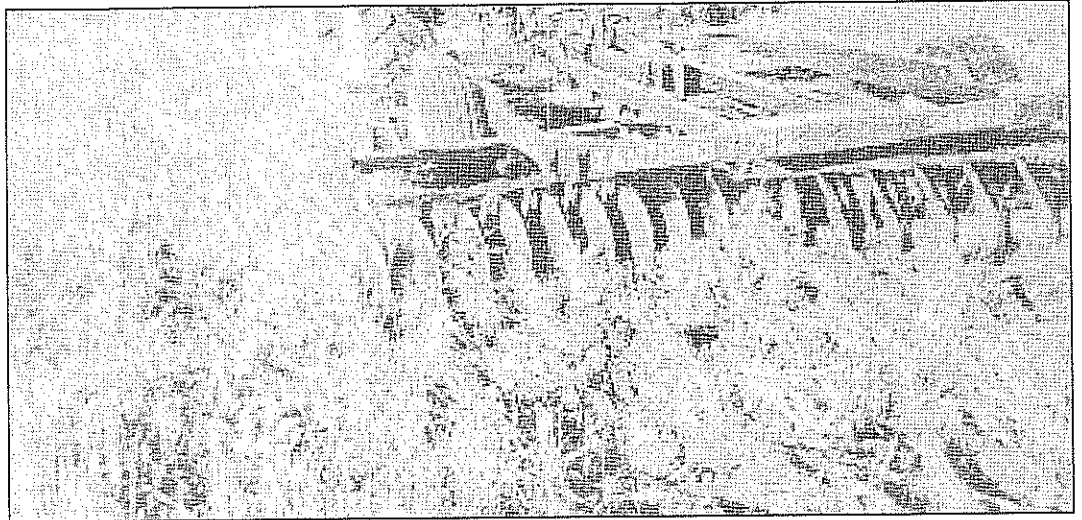
Εργασία που έγινε στην πρώην Σοβιετική Ένωση όπως αναφέρεται από τους ([4]Gill et al 1980) προτείνει δύο συντελεστές οι οποίοι δίνουν μια εικόνα της εργασίας της δισκοσβάρνας. Οι συντελεστές αυτοί είναι ο n ο οποίος είναι το πηλίκο της πλάγιας δύναμης προς την ελκτική δύναμη και ο m που είναι το πηλίκο της κατακόρυφης δύναμης προς την ελκτική. Οι εργασίες αυτές έδειξαν επίσης ότι οι δύο αυτοί συντελεστές επηρεάζονται από την ταχύτητα εργασίας. Αντίθετα τα πειράματα του Gill et al. 1980 έδειξαν ότι το n επηρεάζεται πολύ λίγο από την ταχύτητα όταν αυτή ανεβαίνει από τα 1,6 στα 3 μέτρα το δευτερόλεπτο ενώ αυξάνεται με την γωνία κλίσεως των δίσκων. Το m έχει μια μείωση κατά 10 έως 35 % για αύξηση ταχύτητας από 1,6 στα 3,6 μέτρα το δευτερόλεπτο. Βρέθηκε επίσης με πειράματα σε εδαφολεκάνη ότι για δίσκους με διάμετρο μεγαλύτερη από 610 χιλιοστά, η ελάχιστη ελκτική δύναμη παρουσιάζεται για γωνίες κλίσεως των δίσκων 24 μέχρι 32 0 και με ταχύτητα 1,3 μέτρα το δευτερόλεπτο. Η ελκτική δύναμη αυξάνεται με την ταχύτητα και οι τιμές του n και του m ακολουθούν τις τάσεις που αναφέρονται στην εργασία του NATO στην Σοβιετική Ένωση. Οι [7]Harrison et al. 1976 μελέτησαν την αλληλεπίδραση δίσκων - εδάφους. Για δίσκους διαμέτρου 50 εκ. η ελάχιστη επιφάνεια επαφής του πίσω μέρος των δίσκων με το έδαφος επιτυγχάνεται σε γωνία κλίσεως 170 και για βάθος εργασίας 7,5 εκ. ενώ για βάθος εργασίας 10 εκ. η γωνία αυτή είναι 19 0. Διετύπωσαν την άποψη ότι η ελάχιστη ελκτική δύναμη θα υπάρχει όταν το βάθος εργασίας είναι 125 χιλιοστά, η γωνία κλίσεως είναι 30 0 , ενώ η γωνία κλίσεως 150 δίνει την μεγαλύτερη ελκτική δύναμη εξαιτίας της

μεγάλης επιφάνειας επαφής του πίσω μέρους του δίσκου με το έδαφος. Δεν δίνονται στην εργασία αυτή στοιχεία για το έδαφος και για την υγρασία του καθώς και το πως επετεύχθη το βάθος εργασίας. Δεν μελετήθηκε η επίδραση της ταχύτητας στην ανάπτυξη των δυνάμεων. Οι [5]Gill et al 1980 μελέτησαν την επίδραση κάποιου συντελεστού λ (περιφερειακή ταχύτητα του δίσκου προς την ταχύτητα εργασίας). θεώρησαν ότι ο συντελεστής αυτός έχει μια σοβαρή συσχέτιση με τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις, δεδομένου ότι είναι μια εκδήλωση της τριβής που δημιουργείται ανάμεσα στο δίσκο και στο έδαφος. Οι Sink et Al 1978 μελέτησαν την επίδραση των παραμέτρων του δίσκου (διάμετρος, γωνία κλίσεως), των παραμέτρων λειτουργίας (ταχύτητα εργασίας, βάρος μηχανήματος) και των παραμέτρων του εδάφους στο βάθος εργασίας μιας δισκοσβάρνας. Βρήκαν μια αύξηση του βάθους με την ταχύτητα, την γωνία κλίσεως των δίσκων και το βάρος του μηχανήματος. Παρουσίασαν εξισώσεις χρησιμοποιώντας μεθόδους εξομοίωσης για να προβλέψουν το βάθος με ικανοποιητική συμφωνία του υπολογιζόμενου βάθους με τις πειραματικές τιμές. Οι [6]Gill et al 1982 βρήκαν ότι με γωνίες κλίσης του δίσκου 07 έως 08 radians επιτυγχάνεται το μέγιστο βάθος διείσδυσης του δίσκου. Δίσκοι μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας επηρεάζονται λιγότερο από την γωνία από όσο δίσκοι με μικρή γωνία καμπυλότητας.

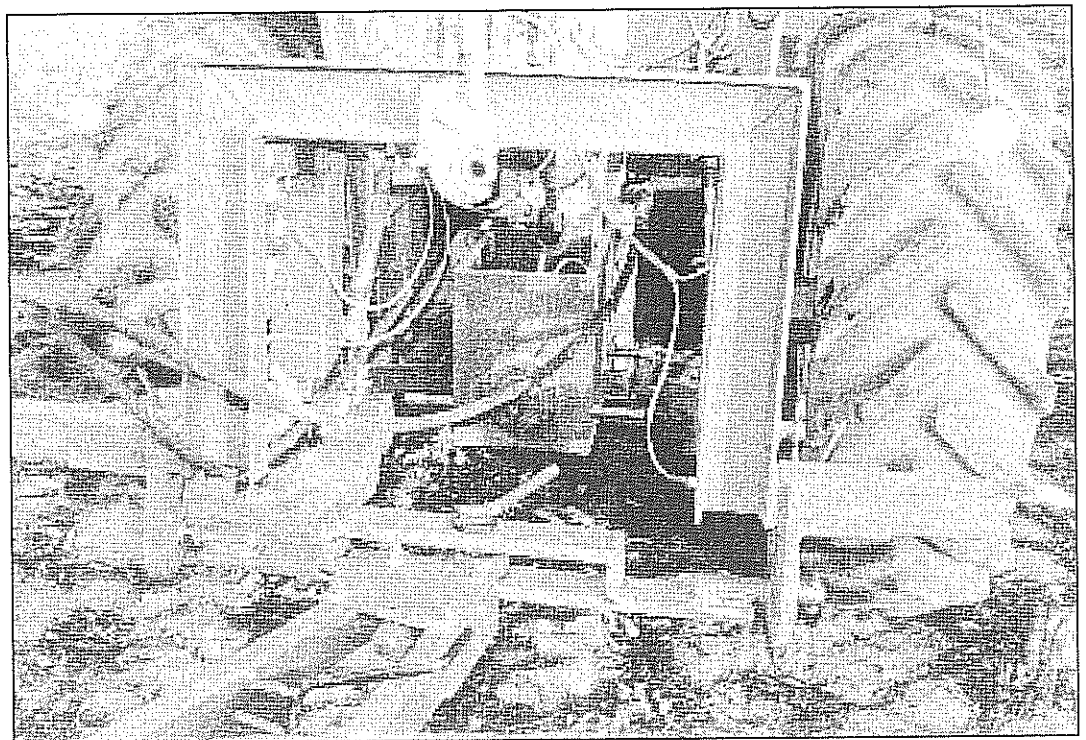
2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το έργο υλοποιήθηκε κατά τα χρονικά διαστήματα 15-9-1994/15-9-1995 και 6-5-1997/30-6-1998. Αναλυτικά, έγινε η προμήθεια της υπό δοκιμή δισκοσβάρνας (Φωτ. 1), η καταγραφή του εύρους ρύθμισης των συστημάτων μεταβολής της κλίσης των δίσκων της δισκοσβάρνας και η δοκιμή των οργάνων μέτρησης της κλίσης αυτής. Το εύρος ρύθμισης της κλίσης των δίσκων του μηχανήματος είναι 12-22 μοίρες. Για τον έλεγχο, δοκιμαστικά της συμπεριφοράς του μηχανήματος στο χωράφι χρησιμοποιήθηκαν γεωργικοί ελκυστήρες από τους οποίους οι δύο ανήκουν στο τμήμα Γεωργικών Μηχανημάτων και Αρδεύσεων του ΤΕΙ Λάρισας και είναι εξοπλισμένοι με σύγχρονα μέσα καταγραφής παραμέτρων που συνδέονται με την συμπεριφορά των παρελκομένων γεωργικών μηχανημάτων (δυνάμεις, ροπή, ισχύς, κατανάλωση καυσίμου κλπ) Φωτ.2,3. Για τη μέτρηση του βάθους κατεργασίας και του "προφίλ" του εδάφους μετά το πέρασμα του μηχανήματος κατασκευάστηκε στο ερασιόστηριο του ΤΕΙ ειδικό πρωτότυπο όργανο (Φωτ. 4) και δοκιμάστηκε με επιτυχία η χρηστική αξία του σε μετρήσεις αγρού. Κατασκευάστηκε επίσης για τις ανάγκες μέτρησης της ποιότητας κατεργασίας του εδάφους πρωτότυπο όργανο διαχωρισμού κατά μέγεθος των σβώλων του κατεργασμένου εδάφους. Έγινε η προετοιμασία των οργάνων και συσκευών μέτρησης της υγρασίας και άλλων παραμέτρων του εδάφους, κατά τη δοκιμή της δισκοσβάρνας.

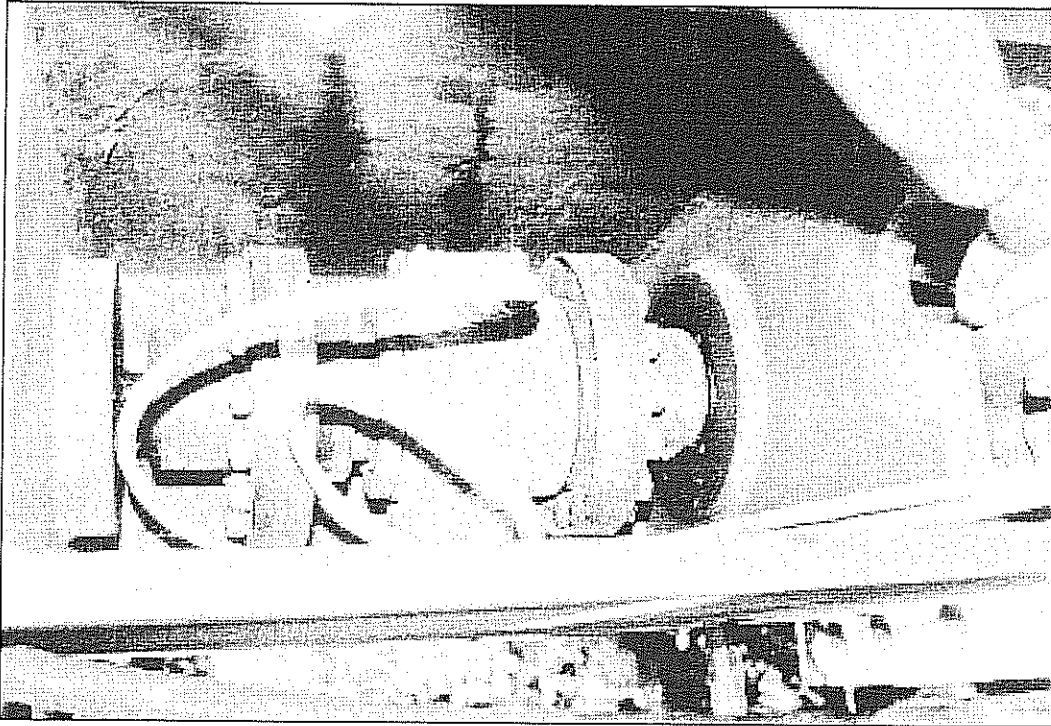
Εγκαταστάθηκε, βαθμονομήθηκε και δοκιμάστηκε ο εξοπλισμός ηλεκτρονικής καταγραφής της διακύμανσης της ελκτικής δύναμης που ασκεί ο γεωργικός ελκυστήρας στο μηχανήμα κατά την εργασία του στο χωράφι. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελείται από αισθητήρια δύναμης, το αναλογικό σήμα εξόδου των οποίων, αφού μετατραπεί σε ψηφιακό με τη χρήση μετατροπέα A/D, αποθηκεύεται στη μνήμη ηλεκτρονικού υπολογιστή PC 386 που είναι τοποθετημένος στο γεωργικό ελκυστήρα. Ο υπολογιστής μπορεί να δειγματοληπτει ταυτόχρονα 16 διόδους. Η σειρά και η συχνότητα δειγματοληψίας προγραμματίζονται. Η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να φθάσει τα 100 Hz. Τα στοιχεία οδηγούνται κατ' ευθείαν στη μνήμη H/Y (DMA). Τα στοιχεία μπορούν να αποθηκευτούν από εκεί στο σκληρό δίσκο, έτοιμα για οποιαδήποτε επεξεργασία. Μια σχηματική παράσταση του όλου συστήματος φαίνεται στα σχήματα 1,2. Αναλυτική περιγραφή του ελέγχου της γραμμικότητας και της βαθμονόμησης των οργάνων φαίνεται στο σχήμα 3.



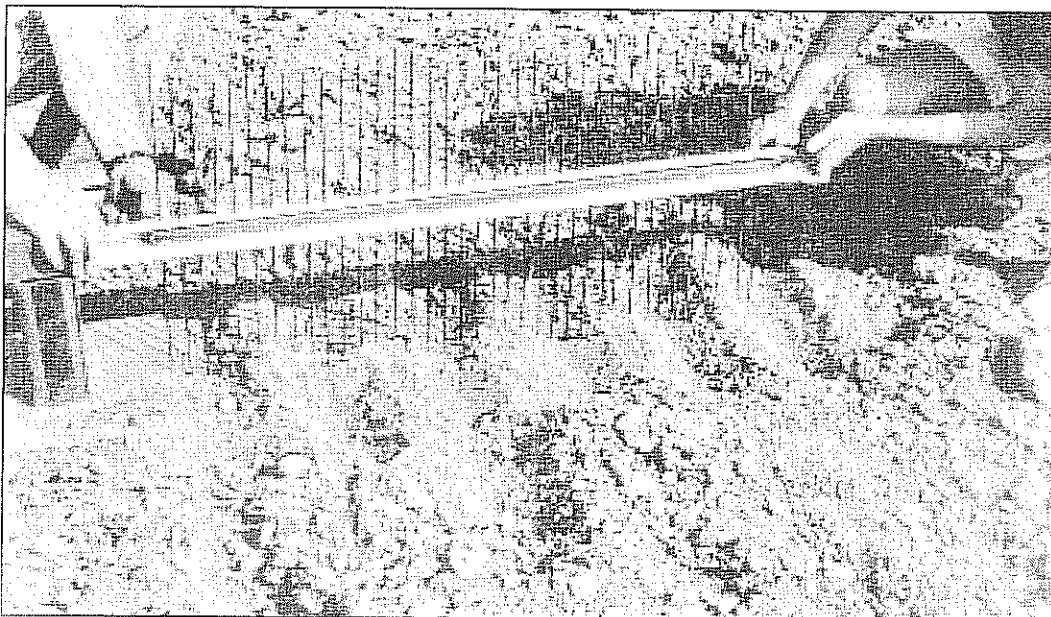
Φωτογραφία 1. Δισσοβάνα Εργοστασίου ΣΑΜΠΡΗ.



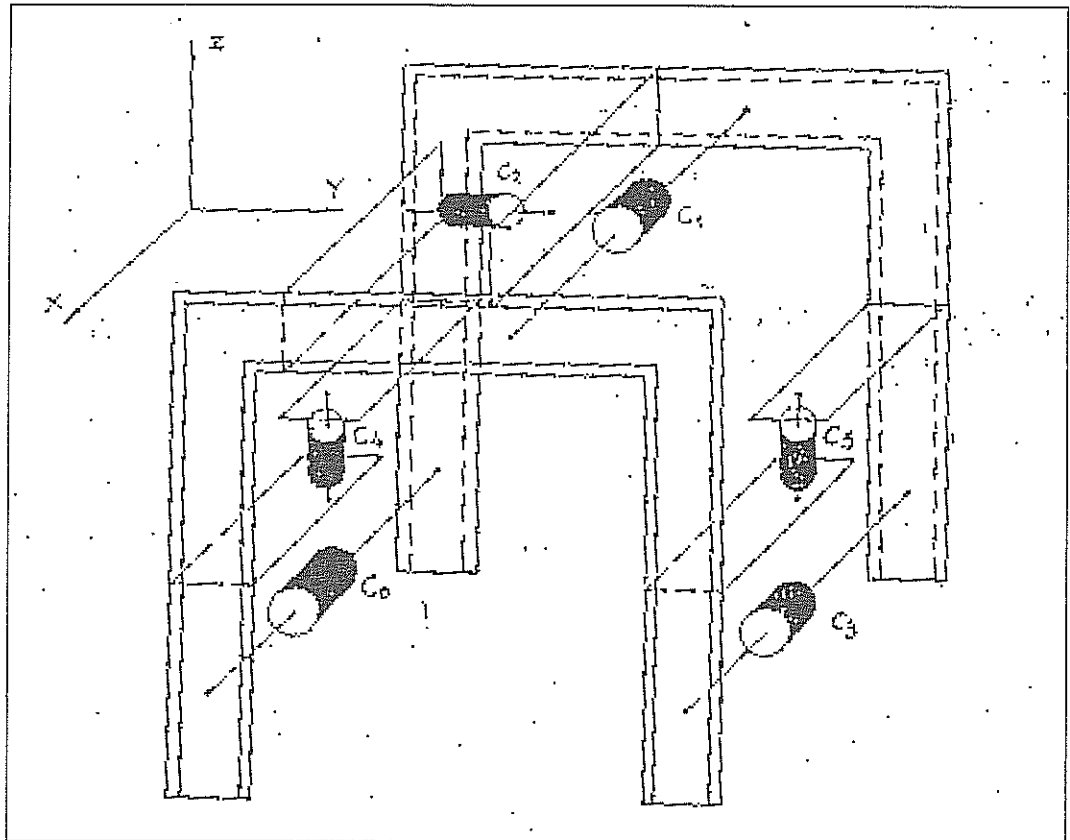
Φωτογραφία 2. Μετρητικό Σύστημα Δυνάμεων.



Φωτογραφία 3. Μετρητικό Σύστημα Ροπών.



Φωτογραφία 4. Όργανο Μέτρηση Βάθους Κατεργασίας Εδάφους.

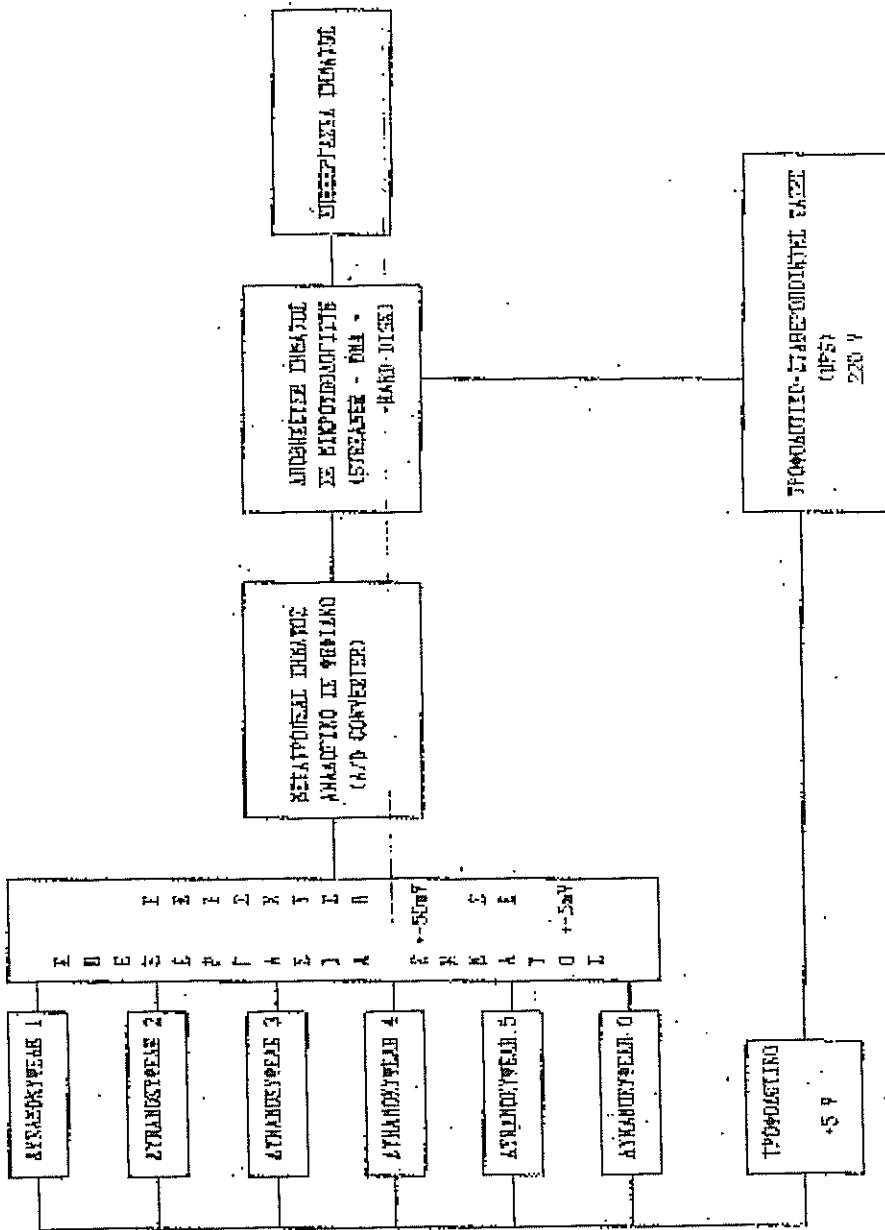


Σχήμα 1. Διάταξη των πλαισίων σχήματος Π και των Δυναμοκυβελών για τη Μέτρηση Οριζοντίων, Παραλλήλων προς την κίνηση του Ελαστήρα Δυνάμεων (c_1 , c_3 , c_6), Πλαγίων Δυνάμεων (c_2) και Κατακορύφων Δυνάμεων (c_4 , c_5).

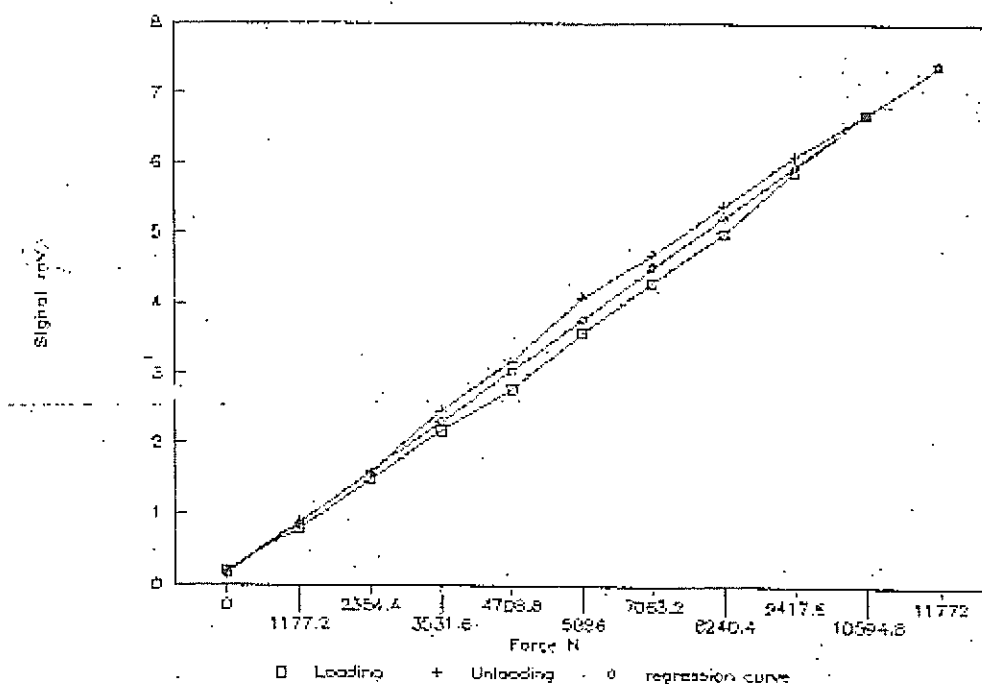
Μετά την ολοκλήρωση των ρυθμίσεων και της βαθμονόμησης όλου του μηχανικού εξοπλισμού και των ηλεκτρονικών συστημάτων καταγραφής των μετρήσεων ελαστικής δύναμης, ταχύτητας κλπ, άρχισαν οι μετρήσεις αγρού με την υπό έλεγχο δισκοσβάρα. Η πρώτη σειρά μετρήσεων της διακύμανσης της ελαστικής δύναμης σε σχέση με την ταχύτητα εργασίας, το βάθος και την ποιότητα κατεργασίας του εδάφους, τη ρύθμιση της κλίσης των δίσκων και του πλαισίου της δισκοσβάρας, σε ένα χωράφι με ελαφρό (ξηρό) έδαφος και σε ένα βαρύ (υγρό) έδαφος, παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Στον Πίνακα 1 φαίνεται η μέση δύναμη έλξης σε διάφορες γωνίες ρύθμισης των δίσκων, η ειδική αντίσταση κοπής του χώματος, η ταχύτητα κίνησης του ελαστήρα και το μέσο βάθος κατεργασίας για εργασία σε υγρό και ξηρό έδαφος.

Από τα αποτελέσματα αυτά συμπεραίνεται ότι απαιτείται ειδικά για το ξηρό έδαφος, αρκετά μεγάλη γωνία για τους μπροστινούς δίσκους, για να υπάρξει το επιθυμητό βάθος κατεργασίας του εδάφους που είναι περί τα 10 cm. Τα καλύτερα αποτελέσματα δίδονται για γωνίες 18 μοιρών στους μπροστινούς δίσκους και 15 μοιρών στους οπίσθιους. Το προφίλ του εδάφους γι' αν-



Σχήμα 2. Σχηματικό Διάγραμμα Μέτρησης και Κατεύθυνσης του Σήματος που αντιπροσωπεύει στη Διαμόρφωση της Δύναμης με την οποία καταπονείται κάθε Δυναμιομηχανία.

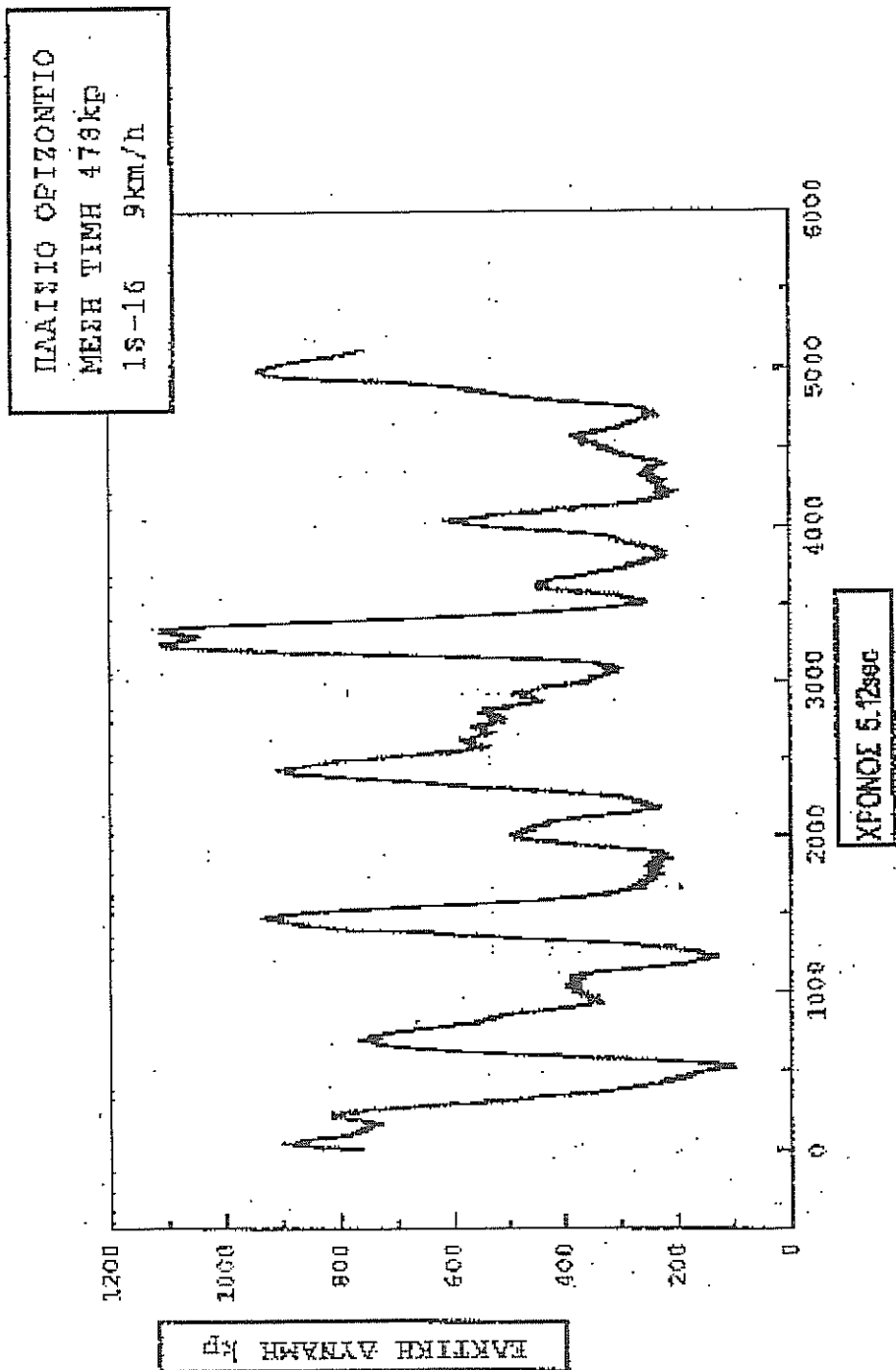


Σχήμα 3. Βρόγχος Φόρτισης - Αποφόρτισης και Γραμμική Προσαρμογή των Μετρήσεων Δυναμοκυψέλης.

τές τις γωνίες παρουσιάζεται επίσης αρκετά ομοιόμορφο. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και για τον τύπο του εδάφους (ιγρασία - σύνθεση) που χρησιμοποιήθηκε κατά την δεύτερη σειρά μετρήσεων. Η βέλτιστη ρύθμιση της γωνίας των δίσκων και εδώ είναι 18 μοίρες για τους πρόσθιους δίσκους και 16 μοίρες για τους οπίσθιους (στο σχήμα 4 φαίνεται η διακύμανση της ελκτικής δύναμης που μετρήθηκε για τη ρύθμιση αυτή).

Κατά τον πρώτο χρόνο υλοποίησης του έργου ολοκληρώθηκε και τρίτη σειρά μετρήσεων αγρού. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν σε ένα δύσκολο ξηρό έδαφος (λειμώνας) και εδώ παρουσιάζεται και η πρώτη μέτρηση ψιλοχωματισμού του εδάφους που έγινε με τη χρήση του πρωτότυπου οργάνου που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες του έργου. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο γεγονός ότι ο ψιλοχωματισμός του εδάφους για τις γωνίες που εντοπίζεται το ενδιαφέρον της έρευνας (18-16) είναι αρκετά ικανοποιητικός αφού το μεγαλύτερο κλάσμα του κατεργασμένου χώματος παρουσιάζει διάμετρο σβώλων μικρότερη των δύο(2) cm.

Κατά τον δεύτερο χρόνο υλοποίησης του προγράμματος έγινε επανάληψη των μετρήσεων αγρού μετά από πότισμα και μετά από βροχή. Το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε κοντά στις γωνίες ρύθμισης της κλίσης των δίσκων που οδήγησε η έρευνα του πρώτου χρόνου. Χρησιμοποιήθηκε ελκυστήρας εξοπλισμένος με όργανα που μπορούν να μετρούν με μεγάλη ακρίβεια τις διακυμάνσεις των ελκτικών, των κατακόρυφων και των πλαγίων δυνάμεων, την ταχύτητα και την κατανάλωση καυσίμου. Έγινε ενδελεχής έλεγχος του ψιλοχωματισμού του εδάφους. Ερευνήθηκε η ύπαρξη χαρακτηριστικών συχνοτήτων, με τη μελέτη του φάσματος ισχύος των διακυμάνσεων της ελκτικής δύναμης.



Σχήμα 4. Διακύμανση της Ελεγκτικής Αντάμης για τη Βέλτιστη ρύθμιση

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μέση τιμή της Δύναμης Ελξης, η Ειδική Αντίσταση Κοπής του Εδάφους και το Βάθος Κατεργασίας για δύο Ταχύτητες Κίνησης του Ελκυστήρα σε διάφορες Γωνίες Ρύθμισης των δίσκων.

ΥΠΡΟ ΕΛΔΑΦΟΣ					
ΒΑΘΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ (mm)	ΚΛΙΣΗ ΠΡΟΣΘΙΩΝ ΔΙΣΚΩΝ (μοίρες)	ΚΛΙΣΗ ΟΠΙΣΘΙΩΝ ΔΙΣΚΩΝ (μοίρες)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Km/h)	ΕΛΚΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (Kp)	ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΟΠΗΣ (Pa)
101.4	12	10	9.5	359	12404.16
78.6	12	12	9.7	635	28304.93
85.8	12	12	7.7	460	18783.72
89.5	14.5	13	7.8	469	18359.5
94.8	14.5	13	9.6	570	21065.78
42.6	17	15.5	9.6	680	55925.55
100.2	17	15.5	7.4	727	25420.12
102.8	19	17.5	7.5	658	22425.58
90.3	19	17.5	9.3	847	32862.96
82.2	20	19	9.2	919	39170.1
66.7	20	19	7.5	910	47799.85
ΞΗΡΟ ΕΛΔΑΦΟΣ					
ΒΑΘΟΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ (mm)	ΚΛΙΣΗ ΠΡΟΣΘΙΩΝ ΔΙΣΚΩΝ (μοίρες)	ΚΛΙΣΗ ΟΠΙΣΘΙΩΝ ΔΙΣΚΩΝ (μοίρες)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Km/h)	ΕΛΚΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (Kp)	ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΟΠΗΣ (Pa)
4.6	16	16	10	325	247534.9
92.6	16	16	7	374	14150.49
33.6	14	13	7	199	20750.32
59.6	14	13	9.5	171	10052.19
26.8	18	14	10	276	36081.56
59.7	18	14	7	201	11795.94
33.3	20	17	10	271	28512.55
52.7	20	17	7	252	16753.32
77.8	21	17	10	318	14320.51
67.5	21	17	7	288	14948.57
43.6	18	15	7	227	18241.07
90.2	18	15	10	247	9594.037

3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σε μετρήσεις αγρού δεν περιμένει φυσικά κανείς να έχει απόλυτα επαναλήξιμα φαινόμενα λόγω της ανομοιογένειας και της απρόβλεπτης συμπεριφοράς του χώματος. Στη διεθνή βιβλιογραφία δύσκολα βρίσκει κανείς πειράματα σε πραγματικές συνθήκες και όλες σχεδόν οι γνωστές εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί σε εδαφολεκάνες με κατάλληλη επεξεργασία του χώματος. Η εργασία αυτή υλοποιήθηκε σε διάφορα αγροτεμάχια και σε πραγματικές συνθήκες, αυτές δηλαδή που καλείται να αντιμετωπίσει το γεωργικό μηχάνημα κατά την εργασία του στο χωράφι. Η δυσκοιλόβρα του εργο-

στασίου ΣΑΜΠΡΗ παρουσιάζει πολύ καλή συμπεριφορά σε ότι αφορά στο σχεδιασμό της. Δεν επάγει στον ελκυστήρα σημαντικές πλάγιες δυνάμεις και όπως φαίνεται από τις μετρήσεις του φάσματος ισχύος των διακυμάνσεων της ελκτικής δύναμης δεν μεταφέρει την ισχύ σε καμία ιδιαίτερη (χαρακτηριστική) συχνότητα, που θα είχε σαν αποτέλεσμα ανεπιθύμητες ταλαντώσεις. Η μελέτη επικεντρώνεται στο σύστημα ρύθμισης της κλίσης των δίσκων και εξετάζεται το ενδεχόμενο κατασκευής της δισκοσβάρνας με σταθερή κλίση των δίσκων. Το μηχάνημα κατασκευάζεται έτσι ώστε η διαφορά κλίσης για οποιαδήποτε ρύθμιση μεταξύ των πρόσθιων και των οπισθίων δίσκων να είναι δύο (2) μοίρες. Το μηχανικό σύστημα ρύθμισης που χρησιμοποιείται πολλές φορές παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις από τη διαφορά αυτή. Παρατηρήθηκε ότι για να υπάρχει, για οποιοδήποτε έδαφος, εισχώρηση της δισκοσβάρνας στο επιθυμητό (περί τα 10 cm) βάθος πρέπει οι πρόσθιοι δίσκοι να είναι ρυθμιζόμενοι γύρω στις 18 μοίρες. Για μικρότερες γωνίες τις περισσότερες φορές παρατηρείται μικρό βάθος εισχώρησης. Για τη ρύθμιση αυτή επί πλέον σημειώνεται καλός ψιλοχωματισμός του εδάφους, με μέση διάμετρο σβόλων κάτω από 2 cm τις περισσότερες φορές. Η ελκτική δύναμη που καθορίζει και την οικονομικότητα της κατασκευής, για τις γωνίες κλίσης των δίσκων 18ο - 16ο (μπρος-πίσω) ευρίσκεται μεταξύ των ακραίων τιμών όλου του εύρους ρύθμισης που δοκιμάστηκε.

Προτείνεται στη βιομηχανία η πιλοτική κατασκευή μικρού αριθμού δισκοσβαρών με σταθερούς δίσκους με κλίση 18 μοιρών στην πρόσθια σειρά και 16 μοιρών στην οπίσθια. Τα μηχανήματα αυτά πρέπει να δοκιμαστούν περισσότερο στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις έτσι ώστε πριν τη μαζική παραγωγή να γίνουν οι κατάλληλες βελτιστοποιήσεις.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bukhari S. J.M.Baloch,A.N.Mirani,(1992) Comparative Performance of Disk Harrow and Sat Haree, Agricultural Mechanisation in Asia, Africa and Latin America,Vol.23 No.3 p.9.
2. Chapman M.L.,C.E.Johnson,R.L.Schafer,W.R.Gill,(1988),Some Performance Characteristics of Disk Gangs, The British Society for Research in Agricultural Engineering, p.1-7.
3. T.A. Gemtos, St. Galanopoulou, Chr. Kavalaris (1997) Wheat Establishment after Cotton with Minimal Tillage. European Agronomy Journal (8) 137-147.
4. Gill W. R.,C.A.Reaves,A.C.Bailey (1980),The Effect of Geometric Parameters on Disk Forces. Transactions of the Asae.p.266.
5. Gill W. R.,Carl.A.Reaves,A.Bailey, (1980),The Influence of Velocity and Disk Angle on the Kinematic Parameter λ of Disks, Transactions of the Asae,p.1344.
6. Gill W.R. ,A.C.Bailey,C.A.Reaves,(1982),Harrow Disk Curvature-Influence on Soil Penetration, Transactions of the Asae.p.1173.
7. Harrison H.P. ,T.Thivavarnvongs (1976),Soil Reacting From Laboratory Measurements With Disks, Canadian Agricultural Engineering,Vol.18 NO.1,JUNE p.49.
8. Harrison H.P.,(1977),Soil Reacting Forces for Disks from Field Measurements, Transactions of the Asae,p.836.
9. Reaves C.A.,W.R.Gill,A.C.Bailey,(1981),Influence of Width and Depth of Cut on Disk Forces, Transactions of the Asae.p.572.
10. Sheikh G.S.,J.Sial,M.Afzal,(1980), Disk Harrow-An Appropriate Tillage Implement, Agricultural Mechanisation in Asia, p.41.
11. Schafer R.L.C.E. Johnson, M.L. Chapman. W.R. Gill,(1991) Disk Spacing Model for Optimising Gang Performance,Vol34(3):May-June,p.711.
12. Wiedemann H.T,B.T. Cross,(1985),Influence of Pulling Configuration on Draft of Disk-Chains, Transactions of the ASAE. p.79.

Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΑΡΟΤΡΟΥ TERRA 2000

Αθ. Κούγκουλος¹, Σ. Μπαλουκτής¹, Χρ. Κατσιής¹, Θ.Α.Γέμτος²

¹TERRA ΑΕ, Νέα Εθνική Οδός Λάρισας - Θεσσαλονίκης, Λάρισα

²Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Πεδίο Άρεως, Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εταιρεία TERRA Α.Ε. είναι ο μεγαλύτερος κατασκευαστής αρότρων της χώρας. Τα τελευταία 5 έτη η εταιρεία ασχολήθηκε με το σχεδιασμό, ανάπτυξη, κατασκευή και προώθηση στην αγορά ενός νέου αρότρου του TERRA 2000 που θα αντικαταστήσει τον πετυχημένο τύπο "Γλαβάνης". Βασικός στόχος της TERRA κατά την σχεδίαση και κατασκευή της νέας σειράς αρότρων, ήταν να επιτύχει την ικανοποίηση όσο δυνατόν περισσότερων απαιτήσεων του χρήστη με το ίδιο μηχάνημα καθώς επίσης και την ικανοποίηση πολλαπλών αναγκών σε διαφορετικές συνθήκες και διαφορετικές περιοχές. Αυτό εξυπηρετούσε δύο σκοπούς: την δυνατότητα του γεωργού να χρησιμοποιεί το ίδιο άροτρο σε μεγαλύτερο εύρος ιπποδυνάμεων σε διαφορετικές καλλιέργειες και εδαφικές συνθήκες και σε διαφορετικές εποχές (καλοκαιρινά-χειμερινά οργώματα). Αφ' ετέρου το πλεονέκτημα στην Εταιρεία να τυποποιήσει την παραγωγή της, παράγοντας λιγότερους τύπους με κοινά εξαρτήματα και επομένως μικρότερο κόστος αποθέματος. Ο σχεδιασμός του νέου αρότρου στηρίχθηκε σε έρευνα της αγοράς και των αναγκών των χρηστών καθώς και σε μετρήσεις σύγκρισης του αρότρου "Γλαβάνης" με εισαγόμενα άροτρα. Τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά. Εδώ και δυο χρόνια το άροτρο TERRA-2000 έχει μια θαυμάσια πορεία στην αγορά τόσο από τεχνικής όσο και από εμπορικής πλευράς.

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE NEW PLOUGH TERRA 2000

Ath. Kougoulos, S. Balouktis, Chr. Katsiw, Th. Gemtos

ABSTRACT

TERRA SA is the largest Greek plough manufacturing company. The last five years the company was engaged in the design and development of a new plough the TERRA 2000 which will replace the highly successful "GLAVANIS" type. The target in the design of the new plough was to satisfy as many as possible of the requirements of the consumer - user, such that the new equipment to be able to cover the requirements of a variety of conditions and locations. These principles will enable the farmer to use the same plough with a wide range of tractor power in different conditions. Additionally the company will standardize its plough production with smaller range of types. The new design was based on a market research as well in comparison of the work of the previous model with the imported ploughs. The results were spectacular. The new plough TERRA 2000 has a very good technical attitude and market response.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το άροτρο είναι από τα πρώτα γεωργικά μηχανήματα που κατασκεύασε ο άνθρωπος. Από το πρώτο ξύλινο ραβδί με το οποίο σκάλιζε το έδαφος μέχρι το Ησιόδειο (ξύλινο) άροτρο και από

εκεί στο πρώτο χυτό άροτρο (mouldboard plough), το μηχάνημα εξελίχθηκε με τη μέθοδο της δοκιμής και αποδοχής ή απόρριψης. Η μελέτη της λειτουργίας του αρότρου, όπως και γενικότερα των εργαλείων κατεργασίας του εδάφους άρχισε στις αρχές του αιώνα στις Η.Π.Α.

Στην Ελληνική αγορά εδώ και τριάντα χρόνια κυριαρχεί το άροτρο "ΓΚΛΑΒΑΝΗΣ", ένας πολύ πετυχημένος τύπος αρότρου που από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 κατασκευάζεται αποκλειστικά από την TERRA A. E.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του αρότρου "ΓΚΛΑΒΑΝΗΣ" που το οδήγησαν στην κορυφή των πωλήσεων για τις τελευταίες τρεις δεκαετίες είναι τα εξής :

- 1) Στιβαρή κατασκευή
- 2) Απλό στην χρήση
- 3) Εύκολο στο όργωμα
- 4) Μεγάλη διάρκεια ζωής
- 5) Μικρές φθορές κατά την χρήση
- 6) Χαμηλή τιμή πώλησης

Παρ' όλες τις βελτιώσεις που επιδέχθηκε το άροτρο ΓΚΛΑΒΑΝΗΣ μέσα στην τελευταία δεκαετία, όπως το μέγλωμα και η αλλαγή της μορφής του φτερού (αναστρεπτήρας), τα μεγαλύτερα σε ύψος σταβύρια για το όργωμα χωραφιού με υπολείμματα βαμβακιάς, νέα υνιά και προϋνιά διπλής κοπής κ.α., δεν κατάφεραν παρά μόνο να παρατείνουν τον κύκλο ζωής του μερικά χρόνια ακόμη. Έτσι γεννήθηκε η επιτακτική ανάγκη σχεδιασμού, κατασκευής και προώθησης στην αγορά ενός νέου τύπου αρότρου, που θα κάλυπτε όλα τα βασικά πλεονεκτήματα του "ΓΚΛΑΒΑΝΗΣ", τις αυξημένες ανάγκες των τρωινών αγροτών και θα κέρδιζε το μερίδιο της αγοράς που έχασε το άροτρο ΓΚΛΑΒΑΝΗΣ την τελευταία δεκαετία από τα εισαγόμενα άροτρα (KVERNELAND, NARDI, κλπ).

Η εταιρία TERRA A.E. είναι ο μεγαλύτερος κατασκευαστής γεωργικών μηχανημάτων της χώρας. Την τελευταία πενταετία η εταιρία ασχολήθηκε με τον σχεδιασμό, ανάπτυξη, κατασκευή και προώθηση στην αγορά ενός νέου αρότρου του "TERRA-2000". Το νέο άροτρο δημιουργήθηκε για να αντικαταστήσει τον πλέον πετυχημένο αλλά γηρασμένο τύπο αρότρου "ΓΚΛΑΒΑΝΗΣ" και να καλύψει επίσης τις αυξημένες ανάγκες των αγροτών σε διαφορετικές συνθήκες και περιοχές.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει την διαδικασία ανάπτυξης του νέου αρότρου που παρουσίασε ιδιαίτερα επιτυχημένα αποτελέσματα στην Ελληνική αγορά.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η διαδικασία ξεκίνησε από την έρευνα αγοράς όπου διερευνήθηκαν και διατυπώθηκαν οι ανάγκες και οι απαιτήσεις των αγροτών-χρηστών. Η έρευνα αγοράς έγινε με την μέθοδο του ερωτηματολογίου. Το ερωτηματολόγιο διαμορφώθηκε από το Τμήμα Πωλήσεων της εταιρίας και απευθύνθηκε στο δίκτυο αντιπροσώπων της εταιρίας σε όλη την επικράτεια. Μια αντίστοιχη έρευνα έγινε και σε αγρότες-χρήστες του τελικού προϊόντος στα πλαίσια της ΑΓΡΟΤΙΚΑ. Το ερωτηματολόγιο ζητήθηκε να συμπληρωθεί από τους επισκέπτες του περιπτέρου της εταιρίας.

Βασικός στόχος της TERRA κατά την σχεδίαση και κατασκευή της νέας σειράς αρότρων, ήταν να ικανοποιήσει όσο δυνατόν περισσότερες απαιτήσεις του χρήστη με το ίδιο μηχάνημα, σε διαφορετικές συνθήκες εργασίας και σε διαφορετικές περιοχές. Επί πλέον το τελικό προϊόν να έχει σχετικά χαμηλή τιμή πώλησης. Οι βασικές απαιτήσεις που έπρεπε να καλυφθούν ήταν ότι το

νέο άροτρο θα έπρεπε να δίνει την δυνατότητα στον γεωργό να χρησιμοποιεί το ίδιο μηχάνημα με μεγαλύτερου εύρους ιπποδυνάμεων γεωργικούς ελκυστήρες, σε διαφορετικές καλλιέργειες και εδαφικές συνθήκες και σε διαφορετικές εποχές (καλοκαιρινά-χειμερινά οργώματα). Επί πλέον επιδίωξη της εταιρείας ήταν ο περιορισμός και η τυποποίηση των παραγόμενων τύπων ώστε να περιοριστεί το κόστος παραγωγής αλλά και αποθήκευσης ανταλλακτικών.

Παράλληλα έγινε σύγκριση του αρότρου ΓΚΛΑΒΑΝΗΣ με το εισαγόμενο από την εταιρεία KVERNELAND, σε συνεργασία με το ΤΕΙ Λάρισας για να διαπιστωθούν ομοιότητες, ιδιαιτερότητες, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του εισαγόμενου αρότρου σε σχέση με το ΓΚΛΑΒΑΝΗΣ, έτσι ώστε να συμπεριληφθούν κατά τον σχεδιασμό του νέου αρότρου (Γέμτος και Τσιρίκογλου 1996).

Η σύγκριση των αρότρων βασίστηκε στα ακόλουθα :

- α) Σύγκριση των αρότρων από πλευράς σχεδιασμού των σωμάτων.
- β) Σύγκριση των υλικών κατασκευής των δύο αρότρων.
- γ) Σύγκριση των δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά το όργωμα με τα δύο άροτρα, και τελικά,
- δ) Παρατηρήθηκε και καταγράφηκε η ροή του χώματος κατά το όργωμα.

Με βάση τα πιο πάνω στοιχεία της έρευνας της αγοράς και των δοκιμών έγινε ο αρχικός σχεδιασμός των πρωτοτύπων αρότρων της νέας γενιάς. Από τις συγκριτικές δοκιμές του πρωτοτύπου με αντίστοιχο εισαγόμενο KVERNELAND προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα :

- α) Σχεδιαστικές διαφορές των αρότρων όσον αφορά τον αναστρεπτήρα ο οποίος στο νέο άροτρο είναι μικρότερος με εντονότερες καμπύλες (κλίσεις) από το εισαγωγής που έχει ομαλότερες κλίσεις. Ο αναστρεπτήρας με τις έντονες κλίσεις δεν επιτρέπει την ομαλή ροή του εδάφους που πιθανόν να προκαλεί συσσώρευση και αύξηση της αντίστασης. Αντίθετα το άροτρο εισαγωγής με τις ομαλές κλίσεις του επιτρέπει ομαλή ροή του εδάφους και αναστροφή χωρίς συσσώρευση.
- β) Οι ιδιότητες των υλικών κατασκευής στο εισαγόμενο είναι καλύτερες με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μικρότερη αντίσταση στη ροή του εδάφους από το Ελληνικό άροτρο.
- γ) Οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις κατά την λειτουργία των αρότρων έδειξαν ότι το άροτρο εισαγωγής έχει σχετικά ισόρροπη ανάπτυξη των κατακόρυφων δυνάμεων (σχετικά μικρή διαφορά) με πλάγιες δυνάμεις περίπου μηδενικές. Στο Ελληνικό άροτρο η διαφορά είναι μεγαλύτερη και αποδεικνύει ανάπτυξη στρεπτικής ροπής.
- δ) Η ποιότητα εργασίας οπτικά είναι καλύτερη στο εισαγόμενο άροτρο επειδή δημιουργεί φιλοτεμαχισμό του εδάφους σε σχέση με το Ελληνικό. Αυτό βέβαια μπορεί να θεωρηθεί ως μειονέκτημα διότι στα φθινοπωρινά οργώματα για τις ανοιξιάτικες καλλιέργειες, ο θρυμματισμός των βόλων δεν είναι επιθυμητός αφ' ενός διότι το φιλοτεμαχισμένο έδαφος συμπίεζεται ευκολότερα στην διάρκεια του χειμώνα από ραγδαίες βροχές ή χιόνι, αφ' ετέρου οι βόλοι θρυμματίζονται από την δράση των κλιματικών στοιχείων (ύγραση - ξήρανση - πάγος, κλπ) χωρίς επιπλέον κατανάλωση ενέργειας. Είναι όμως προφανές ότι το φιλοτεμαχισμα του εδάφους δίνει καλύτερη οπτική εικόνα στον παραγωγό.

Από τα στοιχεία που προέκυψαν από την σύγκριση των δύο αρότρων αντλήθηκαν τα ακόλουθα συμπεράσματα - προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας του αρότρου:

1. Βελτίωση της κατεργασίας των υλικών κατασκευής του σώματος. Η κατεργασία πρέπει να σκοπεί στην σκλήρυνση της επιφάνειας του μετάλλου. Κριτήριο της βελτίωσης είναι η μείωση της γωνίας τριβής του μετάλλου - εδάφους.

2. Μεταβολή του σχεδιασμού του αναστρεπτήρα ώστε να επιτρέπει την ομαλότερη ροή του εδάφους στην επιφάνεια και αναστροφή.
3. Βελτίωση του σχεδιασμού της βάσης για καλύτερη συναρμογή εξαρτημάτων και βάσης ώστε να βελτιωθεί η σταθερότητα της κατασκευής και να μειωθούν οι ανωμαλίες στην συναρμογή των εξαρτημάτων. Επανασχεδιασμός του καλουπιού διαμόρφωσης της βάσης του αρότρου.
4. Βελτίωση του πλαισίου του νέου αρότρου διότι δεν "στρώνει" ικανοποιητικά πίσω από τον γεωργικό ελκυστήρα επειδή αναπτύσσονται κατακόρυφες δυνάμεις. Αύξηση του μήκους των στρώσεων ώστε να ισορροπούνται καλύτερα οι πλάγιες τάσεις του.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση τα στοιχεία που αποκομίσθηκαν από την έρευνα αγοράς και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τις δοκιμές-συγκρίσεις που έγιναν στο χωράφι σε συνεργασία με το ΤΕΙ Λάρισας, έγινε ο σχεδιασμός και η κατασκευή των πρωτότυπων αρότρων. Τα πρωτότυπα δοκιμάσθηκαν εκτεταμένα σε χωράφια της περιοχής, σε διαφορετικές συνθήκες και με διάφορους τύπους-ιπποδυνάμεις γεωργικούς ελκυστήρες, επίσης έγιναν συγκριτικές δοκιμές του νέου αρότρου με εισαγόμενα μοντέλα KVERNELAND.

Στα αρχικά στάδια των δοκιμών εντοπίσθηκαν κάποιες τεχνικές αδυναμίες των νέων αρότρων όπως ισορροπία των δυνάμεων, πρόβλημα στο σύστημα σύνδεσης - ανάρτησης στον γεωργικό ελκυστήρα (ιδιαίτερα στο αναστρεφόμενο άροτρο). Τα προβλήματα διορθώθηκαν και τα τελικά πρωτότυπα δόθηκαν σε αγρότες για εκτεταμένες δοκιμές σε συνθήκες χωραφιού. Ιδιαίτερο πρόβλημα παρουσιάστηκε μετά από βίαιες προσκρούσεις σε σταθερά ισχυρά εμπόδια κατά την διάρκεια του οργώματος. Παρ' όλο που το νέο άροτρο ήταν εφοδιασμένο με ειδικό κοχλία (μπουλόνι) ασφαλείας που επέτρεπε την υποχώρηση του σώματος όταν η αναπτυσσόμενη αντίσταση υπερέβαινε τα όρια αντοχής των υλικών, μετά από βίαιες προσκρούσεις σε σταθερά εμπόδια και ιδιαίτερα σε οριακές ιπποδυνάμεις, εκτός από την διάτμηση των μπουλονιών ασφαλείας παραμορφώνονταν οι έδρες των μπουλονιών στις πλαϊνές πλάκες στήριξης, στις πλάκες ρύθμισης του πλάτους κοπής καθώς και στα σταβάρια του αρότρου. Αυτό το πρόβλημα ξεπεράστηκε με την εφαρμογή δακτυλιδιών πιο σκληρών στις έδρες των μπουλονιών.

Όλες οι παραπάνω βελτιώσεις συμπεριλήφθηκαν στον τελικό σχεδιασμό του νέου αρότρου και στην συνέχεια άρχισε η παραγωγή της νέας σειράς αρότρων TERRA-2000. Η σειρά αυτή καλύπτει ιπποδυνάμεις γεωργικών ελκυστήρων από (35-160) HP με 3 βασικές κατηγορίες αρότρων:

- | | | |
|---|------------------|------------------------------------|
| 1. Μεσαίου τύπου ρυθμιζόμενο : | 2υνο, 3υνο, 4υνο | - (MV)Medium Variomatic |
| 2. Βαρέως τύπου ρυθμιζόμενο : | " " " | - (HV)Heavy Variomatic |
| 3. Αναστρεφόμενο βαρέως τύπου ρυθμιζόμενο : | " " " | - (RHV)Reversible Heavy Variomatic |

4. ΤΕΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά τις διάφορες βελτιώσεις και την λειτουργία των αρότρων σε πραγματικές συνθήκες αγρού διορθώθηκαν όλα τα τεχνικά προβλήματα που παρουσιάστηκαν. Μετά την διαπίστωση ότι δεν υπήρχαν άλλα τεχνικά προβλήματα το νέο άροτρο άρχισε να παράγεται.

Σε γενικές γραμμές οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν στα στάδια εντοπισμού και αποκατάστασης των τεχνικών προβλημάτων μετά την είσοδο του νέου αρότρου στην αγορά ήταν οι εξής:

- Συνεχής και άμεση ενημέρωση του τεχνικού τμήματος από το τμήμα δοκιμών και πωλήσεων για την συμπεριφορά των αρότρων.
- Καταγραφή των δεδομένων όπως: τύπος, μοντέλο και ιπποδύναμη γεωργικού ελκυστήρα, εδαφικές συνθήκες, γεωγραφική περιοχή, κ.ά.
- Εξέταση του φθαρμένου-ελλατωματικού εξαρτήματος στο εργοστάσιο. Επεξεργασία των πληροφοριών και συμπερασμάτων και επανασχεδίαση του εξαρτήματος.
- Μελέτη τυχών παρενεργειών στην συνολική γεωμετρία και συμπεριφορά του αρότρου.
- Κατασκευή νέου πρωτοτύπου και εντατικές δοκιμές σε συνθήκες όμοιες με αυτές που διαπιστώθηκε το πρόβλημα.
- Οριστικοποίηση των αλλαγών σχεδιαστικά και εφαρμογή στην παραγωγή των νέων εξαρτημάτων.
- Απόσυρση των παλαιών εξαρτημάτων και αντικατάστασή τους από νέα βελτιωμένα ακόμη και στις περιπτώσεις που δεν είχαν εμφανισθεί ακόμη τα προβλήματα.

Όλες οι παραπάνω ενέργειες έγιναν ταχύτατα προκειμένου να μην επηρεασθεί αρνητικά η πορεία του αρότρου στην αγορά. Τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά. Εδώ και δύο χρόνια το άροτρο TERRA-2000 έχει μία θαυμάσια πορεία στην αγορά τόσο από τεχνικής όσο και από εμπορικής πλευράς.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Θ.Α.Γέμιος, Θ. Τσιρίκογλου 1996 Σύγκριση Ποιοτικών Στοιχείων ενός Εισαγόμενου και Ενός Ελληνικής Κατασκευής (της Εταιρείας Terra A.E.) Αρότρου Εργασία που παρουσιάστηκε στο συνέδριο "Εγχειοβελτιωτικά Έργα: Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Εκμηχάνιση της Γεωργίας" του ΓΕΩΤΕΕ, Λάρισα από 24/4/96.

ΣΗΜΑΝΣΗ CE ΓΙΑ ΤΑ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ - ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΦΑΚΕΛΟΥ

Α. Μ. Παπαγιαννοπούλου, Γ. Α. Παρισόπουλος

*Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας
Ινστιτούτο Γεωργικών Μηχανών και Κατασκευών
Δημοκρατίας 61, 135 61 Άγιοι Ανάργυροι Αττικής*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι οδηγίες νέας προσέγγισης 89/392, 91/368 και 93/44 ΕΟΚ που αφορούν την ασφάλεια και την υγιεινή των προσώπων έναντι των κινδύνων που προέρχονται από τη χρήση μηχανών με τις οποίες οφείλουν να συμμορφώνονται όλα τα γεωργικά μηχανήματα (παρελκόμενα γεωργικού ελκυστήρα και λοιπές μηχανές που χρησιμοποιούνται στη γεωργία). Αναφέρεται η κατηγορο-ποίηση των μηχανών σε δύο κατηγορίες (μηχανές Παραρτήματος IV - Λοιπές μηχανές) και καταγράφονται οι ενέργειες κατά περίπτωση στις οποίες οφείλει να προβεί ο κατασκευαστής για τη σήμανση των μηχανών ή των εξαρτημάτων ασφαλείας με το σήμα CE.

ABSTRACT

In the present study the EC Directives 89/372, 91/368 and 93/44 (the new approach) concerning protection against one or more health and safety hazards which may be caused by the normal use of a machine are presented. All agricultural machines must conform to the above directives except agricultural and forestry tractors.

The modules for the various phases of the conformity assessment procedures which must be undertaken by manufacturers (including or not a third inspection body) and the rules for the affixing and use of the EC conformity marking before the products are placed on the Community market are given in details.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι οδηγίες νέας προσέγγισης αφορούν διάφορες οικογένειες βιομηχανικών προϊόντων, προβλέπουν την επίθεση σήματος CE επί των προϊόντων και στοχεύουν στην ελεύθερη διακίνηση αυτών εντός των κρατών μελών.

Οι μηχανές είναι ένας τομέας μεγάλου οικονομικού ενδιαφέροντος και για το λόγο αυτό στην παρούσα εργασία γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις εναρμονισμένες οδηγίες 89/392, 91/368 και 93/44 ΕΟΚ που αφορούν την ασφάλεια και την υγιεινή των προσώπων έναντι των κινδύνων που προέρχονται από τη χρήση των μηχανών.

Με το προεδρικό διάταγμα 377/15-9-93 ΦΕΚ 160 Τεύχος πρώτο έγινε η εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας προς τις παραπάνω οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΟΔΗΓΙΩΝ

Οι οδηγίες καθορίζουν τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας και υγιεινής για το χρήστη μιας μηχανής και για πρόσωπα που βρίσκονται πλησίον της. Εξαιρούνται εκ των προτέρων των οδηγιών

τα στοιχειώδη εξαρτήματα μιας μηχανής πλην εκείνων που θεωρούνται εξαρτήματα ασφαλείας (κατά δήλωση του κατασκευαστή), οι στατικές κατασκευές (ράφια, παλέτες κ.λ.π.), οι μηχανές που καλύπτονται από ειδική οδηγία, όσες δεν ενέχουν κατά τη χρήση τους κανένα κίνδυνο και όσες σαφώς αναφέρονται στο εδάφιο 4 του 1ου άρθρου του ΠΔ 377/15-9-93. Οι μηχανές που αναφέρονται στο συγκεκριμένο εδάφιο και εξαιρούνται συνεπώς από το πεδίο εφαρμογής των εν λόγω οδηγιών είναι:

- Οι μηχανές των οποίων η μοναδική πηγή ενέργειας είναι η άμεσα χρησιμοποιούμενη μυϊκή δύναμη, εκτός των μηχανημάτων ανύψωσης φορτίων,
- Τα ανυψωτικά μηχανήματα τα οποία έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί για την ανύψωση ή και τη μετακίνηση προσώπων με ή χωρίς φορτία, εκτός από τα βιομηχανικά οχήματα με ανυψούμενη θέση,
- Οι μηχανές για ιατρική χρήση που χρησιμοποιούνται σε άμεση επαφή με τον ασθενή,
- Ο ειδικός εξοπλισμός πανηγυριών και λούνα παρκ,
- Οι ατιολέβητες και τα δοχεία πίεσης,
- Οι μηχανές που έχουν σχεδιαστεί ή λειτουργούν για χρήση σχετική με την πυρηνική ενέργεια, τυχόν βλάβη των οποίων μπορεί να προκαλέσει εκπομπή ραδιενέργειας,
- Οι πηγές ραδιενέργειας που είναι ενσωματωμένες σε μηχανές,
- Τα πυροβόλα όπλα,
- Οι δεξαμενές αποθήκευσης βενζίνης, νηίζελ, πετρελαίου, ευφλέκτων υγρών και επικινδύνων ουσιών και οι σχετικοί αγωγοί τροφοδοσίας,
- Τα μεταφορικά μέσα,
- Τα πλοία θαλάσσης και οι κινητές θαλάσσιες μονάδες καθώς και οι εξοπλισμοί τους,
- Οι εγκαταστάσεις με καλώδια για τη δημόσια ή όχι μεταφορά προσώπων,
- Οι γεωργικοί και δασικοί ελκυστήρες

Συμπεριλαμβάνονται στις οδηγίες οι μηχανές που πωλούνται αποσυναρμολογημένες, οι σύνθετες εγκαταστάσεις και οι εναλλάξιμοι εξοπλισμοί που τροποποιούν τη λειτουργία μιας μηχανής. Κλασική περίπτωση τέτοιου είδους εξοπλισμού είναι τα παρελκόμενα ενός ελκυστήρα τα οποία σαφώς και υπάγονται στις εν λόγω οδηγίες όπως και κάθε άλλη μηχανή που χρησιμοποιείται στη γεωργία πλην δασικών και γεωργικών ελκυστήρων.

Τα κράτη μέλη λαμβάνουν κάθε αναγκαίο μέτρο ώστε οι μηχανές και τα εξαρτήματα ασφαλείας να μπορούν να διατεθούν στην αγορά και να τεθούν στη λειτουργία μόνο αν δεν θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια και την υγιεινή των χρηστών.

Οι μηχανές και τα εξαρτήματα που εμπίπτουν στην παρούσα οδηγία πρέπει να πληρούν τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας και υγιεινής που αναφέρονται στις οδηγίες. Είναι απαραίτητη η μελέτη των βασικών απαιτήσεων καθώς και του προτύπου EN 292 (ή άλλου εναρμονισμένου γενικού ή ειδικού προτύπου που αφορά την ασφάλεια) για τον προσδιορισμό και την αντιμετώπιση των κινδύνων κάθε μηχανής.

Καθιερώνεται η ελεύθερη κυκλοφορία των μηχανών και των εξαρτημάτων ασφαλείας που συμμορφώνονται με την οδηγία σε όλα τα κράτη μέλη.

Κάθε μηχανή που φέρει σήμανση CE και συνοδεύεται από δήλωση EK πιστότητας θεωρείται ότι είναι σύμφωνη με τις οδηγίες. Κάθε εξάρτημα ασφαλείας που συνοδεύεται από δήλωση EK πιστότητας, θεωρείται σύμφωνο με τις οδηγίες. Κάθε μηχανή που κατασκευάζεται σύμφωνα με πρότυπο θεωρείται ότι συμμορφούται με τις αναφερόμενες σε αυτό απαιτήσεις.

Καθορίζονται δύο επιτροπές που διαχειρίζονται τα προβλήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της οδηγίας. Η μόνιμη επιτροπή που συνεστήθη βάσει της οδηγίας 83/189/ΕΟΚ του συμβουλίου και η μόνιμη επιτροπή συμβουλευτικού χαρακτήρα που γνωμοδοτεί επί αμφιλεγόμενων θεμάτων. Αρμόδιο όργανο για την ερμηνεία των άρθρων της οδηγίας είναι το Δικαστήριο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

Αν διαπιστωθεί ότι μηχανές που φέρουν το σήμα CE και συνοδεύονται από δήλωση EK πιστότητας ή εξαρτήματα ασφαλείας που συνοδεύονται από δήλωση EK πιστότητας και χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τον προορισμό τους θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των χρηστών, αποσύρονται από την αγορά. Το κράτος μέλος που προέβη στο μέτρο αυτό ενημερώνει την επιτροπή αναφέροντας τους λόγους απόφασής του. Η Επιτροπή διενεργεί διαβουλεύσεις και ενεργεί ανάλογα με τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Τα κράτη μέλη υποχρεούνται να λαμβάνουν μέτρα κατά οιοδήποτε έχει επιθέσει το σήμα CE χωρίς να υπάρχει συμμόρφωση.

Κατηγοροποίηση μηχανών. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι για τη σήμανση CE γίνεται κατηγοροποίηση των μηχανών σε δύο κατηγορίες. Η μία κατηγορία περιλαμβάνει τις μηχανές και τα εξαρτήματα ασφαλείας του Παραρτήματος IV της οδηγίας 89/392 και των τροποποιητικών της 91/368 και 93/44 ΕΟΚ και η άλλη τις υπόλοιπες που δεν αναγράφονται στο Παράρτημα IV. Σημειώνεται ότι υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ των άρθρων και των Παραρτημάτων των οδηγιών και του ΠΔ 377/15-9-93.

Στο Παράρτημα Α της εργασίας αναγράφονται οι τύποι των μηχανών και των εξαρτημάτων ασφαλείας που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα IV της οδηγίας.

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις διαδικασιών σήμανσης :

- α) Αν η μηχανή ή το εξάρτημα ασφαλείας δεν αναφέρονται στο Παράρτημα IV ο κατασκευαστής υποχρεούται να καταρτίσει τεχνικό φάκελο ο οποίος να είναι διαθέσιμος ή να μπορεί να διατεθεί γρήγορα οποτεδήποτε ζητηθεί αιτιολογημένα. Ο φάκελος διατίθεται μόνο κατόπιν επίσημης και αιτιολογημένης αίτησης από εθνική αρχή. Ο κατασκευαστής δεν είναι υποχρεωμένος να διαθέτει όλο το φάκελο αλλά μόνο το τμήμα εκείνο που αφορά η αίτηση που έχει υποβάλει προηγουμένως η αρμόδια αρχή. Μετά την κατάρτιση του τεχνικού φακέλου ο κατασκευαστής μπορεί να συντάξει τη δήλωση EK πιστότητας και να θέσει επί της μηχανής τη σήμανση CE (αυτοπιστοποίηση). Εφιστάται η προσοχή στις συνέπειες που μηχανήμα μη συμμορφούμενο με τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας και υγιεινής φέρει σήμανση CE.
- β) Αν η μηχανή ή το εξάρτημα ασφαλείας προβλέπεται στο Παράρτημα IV ο κατασκευαστής ή ο εγκαταστημένος στην κοινότητα εντολοδόχος του πρέπει να υποβάλλει μοντέλο της μηχανής για εξέταση EK τύπου σε κοινοποιηθέντα οργανισμό. Η εξέταση EK τύπου καθορίζεται με λεπτομέρεια στο Παράρτημα IV.

Ο κατασκευαστής απαλλάσσεται από την εξέταση EK τύπου αν η κατασκευή της μηχανής συμμορφώνεται πλήρως προς τα εναρμονισμένα πρότυπα και τα εναρμονισμένα πρότυπα καλύπτουν όλες τις βασικές απαιτήσεις που αφορούν την μηχανή. Στην περίπτωση αυτή ο κατασκευαστής πρέπει να απευθύνει σε κοινοποιημένο οργανισμό αντίγραφο του τεχνικού φακέλου και ο κοινοποιημένος οργανισμός βεβαιώνει την παραλαβή και αρχαιοθετεί το φάκελο χωρίς να διενεργήσει εξέταση. Αν ο κατασκευαστής το ζητήσει ο κοινοποιημένος οργανισμός οφείλει να επαληθεύσει με βάση το φάκελο αν έχουν τηρηθεί τα εναρμονισμένα πρότυπα και να αποστείλει στον κατασκευαστή βεβαίωση καταλληλότητας.

Είναι προφανές ότι ο κατασκευαστής έχει την πλήρη ευθύνη εκτός από την περίπτωση εκείνη που ο κοινοποιημένος οργανισμός θα έπρεπε να έχει εντοπίσει κατά την εξέταση του τεχνικού φακέλου ή την εξέταση ΕΚ τύπου συγκεκριμένα σφάλματα.

Το διάγραμμα διαδικασιών των οδηγιών 89/392 και 91/368 ΕΟΚ που αφορούν την ασφάλεια και την υγιεινή των προσώπων έναντι των κινδύνων από τη χρήση μηχανών δίνεται στο ΣΧΗΜΑ 1.

Κοινοποιημένος Οργανισμός. Ο κοινοποιημένος οργανισμός είναι ανεξάρτητος φορέας αρμόδιος για να διενεργεί εργασίες που αφορούν την εκτίμηση της συμμόρφωσης (Παράρτημα VII της οδηγίας). Ο οργανισμός αυτός επιλέγεται από το κράτος, πρέπει να πληροί συγκεκριμένα κριτήρια (EN 45000) και να έχει κοινοποιηθεί στην Επιτροπή. Η υποχρέωση διαπίστευσης του κοινοποιημένου οργανισμού συνάγεται εκ των ελεξηγήσεων που συνοδεύουν το κείμενο της οδηγίας.

Τα κράτη μέλη κοινοποιούν οργανισμούς μόνο για τις μηχανές ή τα εξαρτήματα ασφαλείας που αναφέρονται στο Παράρτημα IV. Αν το κράτος μέλος θεωρεί ότι δεν διαθέτει αρμόδιο οργανισμό, δεν προβαίνει σε κοινοποίηση. Είναι δυνατόν να κοινοποιηθεί οργανισμός για ένα μόνο τμήμα των μηχανών του Παραρτήματος IV π.χ. μόνο για τις ξυλουργικές μηχανές, αλλά θα είναι αρμόδιος για την εξέταση της συμμόρφωσης προς το σύνολο της οδηγίας. Για άλλες οδηγίες που ενδεχομένως ισχύουν για συγκεκριμένη μηχανή δύναται οι κοινοποιημένοι οργανισμοί να είναι διαφορετικοί. Ο κατασκευαστής δικαιούται να απευθυνθεί σε ένα μόνο κοινοποιημένο οργανισμό της επιλογής του για ένα συγκεκριμένο φάκελο.

Δεν επιτρέπεται η κοινοποίηση οργανισμού χώρας εκτός της κοινότητας. Ωστόσο επιτρέπονται ιδιωτικού χαρακτήρα συμφωνίες μεταξύ οργανισμού τρίτης χώρας, κοινοποιημένου οργανισμού και ειδικευμένων εργαστηρίων. Ο κοινοποιημένος οργανισμός φέρει πάντοτε την ευθύνη για την εκτίμηση της συμμόρφωσης.

Σύνθετες μηχανές. Μηχανές υπαγόμενες και σε άλλες, πλην της παρούσης, οδηγίες που προβλέπουν σήμανση, πρέπει να συμμορφούνται και προς τις οδηγίες αυτές χρησιμοποιώντας επί της μηχανής σήμανση διαφορετική από το CE.

Παρέχεται δυνατότητα κατασκευής συνθέτων συγκροτημάτων μηχανών από υπεύθυνο για τη συγκρότησή τους ο οποίος δεν είναι κατασκευαστής αλλά μπορεί να αναλάβει την ευθύνη για το σύνολο μηχανών όσον αφορά τις διατάξεις ασφαλείας και υγιεινής.

Σήμανση CE. Υπόδειγμα σήμανσης CE δίνεται στο Παράρτημα III της οδηγίας. Μετά το σήμα παρατίθενται τα δύο τελευταία ψηφία τους έτους κατά το οποίο τέθηκε το σήμα.

Ο εναλλάξιμος εξοπλισμός συνοδεύεται από τη δήλωση ΕΚ πιστότητας και φέρει το σήμα CE.

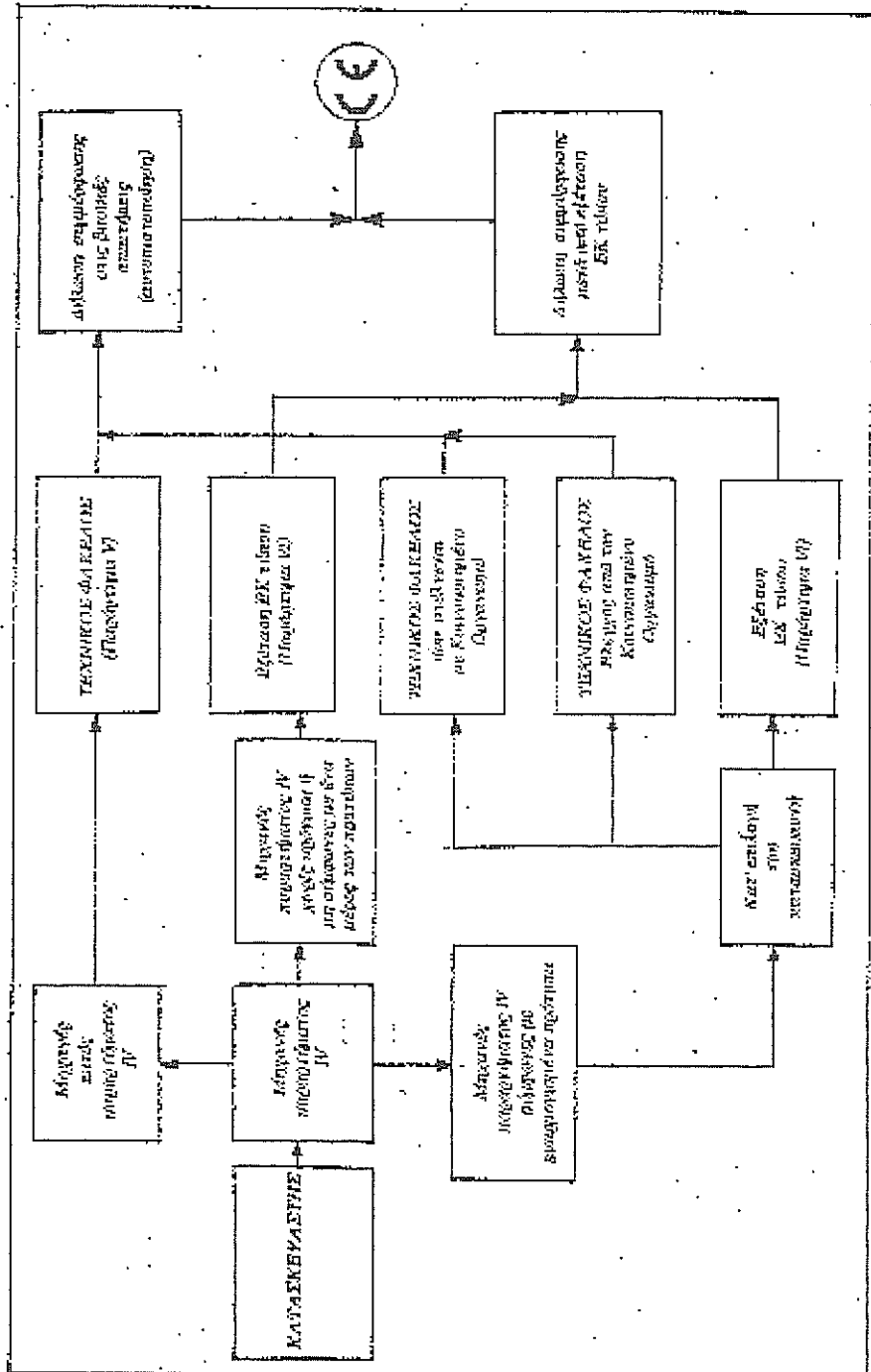
Σήμανση CE φέρουν οι μηχανές και όχι τα εξαρτήματα ασφαλείας. Απαγορεύεται η χρήση σημάτων ή επιγραφών που μπορεί να δημιουργήσουν σύγχυση με το σήμα CE.

Τεχνικός φάκελος. Οποιαδήποτε περίπτωση διαδικασιών συμμόρφωσης και αν ακολουθηθεί (αυτοπιστοποίηση ή μηχανές Παραρτήματος IV), απαραίτητη προϋπόθεση είναι η κατάρτιση τεχνικού φακέλου (Παράρτημα V της οδηγίας).

Ο τεχνικός φάκελος κατασκευής περιλαμβάνει :

- Το γενικό σχέδιο της μηχανής (όψεις, κάτοψη, τομή αν χρειάζεται) καθώς και τα σχέδια των κυκλωμάτων χειρισμού. Στο γενικό σχέδιο πρέπει να αναγράφονται οπωσδήποτε οι γενικές διαστάσεις της μηχανής. Η κλίμακα των σχεδίων δεν καθορίζεται αλλά εξυπακούεται ότι πρέπει να επιτρέπει την εύκολη ανάγνωσή τους.
- Τα λεπτομερή και πλήρη σχέδια των τμημάτων της μηχανής που εμπερικλύουν κινδύνους κατά τη χρήση, συνοδευόμενα ενδεχόμενα από σημειώσεις, υπολογισμούς, αποτελέσματα

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΔΟΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΜΒΟΡΦΩΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΒΑΛΙΣΤΑΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΟΔΗΓΙΕΣ Β9/392 ΚΑΙ Β1/368 ΕΟΚ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΕΣ



ΣΧΗΜΑ 1

δοκιμών κ.λ.π. που επιτρέπουν την εξακρίβωση της συμμόρφωσης της μηχανής προς τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας και υγιεινής. Στην περίπτωση ύπαρξης φακέλου πλήρων κατασκευαστικών σχεδίων επιλέγονται εκείνα που αφορούν τμήματα της μηχανής ή του εξαρτήματος ασφαλείας που κατά τη γνώμη του κατασκευαστή ενέχουν κινδύνους για το χρήστη. Ενδεχόμενα πρέπει να υπάρχουν η μελέτη ευστάθειας, αντοχής κ.λ.π..

- Τον κατάλογο των βασικών απαιτήσεων της παρούσας οδηγίας που αφορούν τη μηχανή. Στον κατάλογο των βασικών απαιτήσεων ασφαλείας και υγιεινής επισημαίνονται οι παράγραφοι που αφορούν τη συγκεκριμένη μηχανή.
- Τον κατάλογο των προτύπων και άλλων τεχνικών προδιαγραφών που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό της μηχανής.
- Την περιγραφή των λύσεων που έχουν επιλεγεί για την πρόληψη των κινδύνων που παρουσιάζει η μηχανή (μελέτη ασφαλείας). Αν η επιλεγείσα λύση αναφέρεται σε πρότυπο μπορεί να αναφερθεί ο αριθμός του προτύπου, αν όχι πρέπει να αποδεικνύεται ότι εξασφαλίζει επίπεδο ασφαλείας αντίστοιχο του εξασφαλιζόμενου υπό των προτύπων.
- Αν το επιθυμεί ο κατασκευαστής ή ο εντολοδόχος του κάθε τεχνική έκθεση και κάθε πιστοποιητικό που έχει χορηγήσει κάποιος αρμόδιος οργανισμός ή εργαστήριο.
- Αν δηλώνεται συμμόρφωση προς εναρμονισμένα πρότυπα που προβλέπουν δοκιμές, κάθε έκθεση με τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν είτε από τον ίδιο τον κατασκευαστή είτε από αρμόδιο οργανισμό ή εργαστήριο.
- Αντίγραφο των οδηγιών χρήσης της μηχανής με περιεχόμενο όπως σαφώς ορίζεται στην οδηγία.
- Σε περίπτωση κατασκευής σε σειρά τα εσωτερικά μέτρα που εφαρμόζονται για την εξασφάλιση της συμμόρφωσης των μηχανών προς τις διατάξεις της οδηγίας.

Ο τεχνικός φάκελος απαιτείται να διατηρείται επί δέκα έτη. Αν η μηχανή δεν προξενήσει κανένα πρόβλημα ασφαλείας επί μία δεκαετία μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής και είναι περιορισμένες οι πιθανότητες να ζητηθεί προς έλεγχο φάκελος από αρμόδια εθνική αρχή μετά την παρέλευση της δεκαετίας.

Δήλωση ΕΚ Πιστότητας. Στην περίπτωση των μηχανών και των εξαρτημάτων ασφαλείας που δεν συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα IV ο κατασκευαστής μετά την κατάρτιση του τεχνικού φακέλου προβαίνει στη σύνταξη και υπογραφή της δήλωσης ΕΚ πιστότητας (Παράρτημα V της οδηγίας) και μετέπειτα στη σήμανση τη μηχανής με το σήμα CE (Παράρτημα III της οδηγίας).

Στην περίπτωση των μηχανών και των εξαρτημάτων ασφαλείας που συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα IV ο κατασκευαστής μετά την κατάρτιση του τεχνικού φακέλου προβαίνει κατά πρώτο σε εξέταση ΕΚ τύπου (Παράρτημα VI της οδηγίας), κατά δεύτερο στη σύνταξη και υπογραφή της δήλωσης ΕΚ πιστότητας και κατά τρίτο στη σήμανση της μηχανής με το σήμα CE.

Με την δήλωση ΕΚ πιστότητας ο κατασκευαστής ή ο εγκατεστημένος στην Κοινότητα εντολοδόχος του δηλώνει ότι η μηχανή ή το εξάρτημα ασφαλείας που διατέθηκε στην αγορά πληροί όλες τις σχετικές βασικές προϋποθέσεις ασφαλείας και υγιεινής.

Εφιστάται η προσοχή στην υπογραφή της δήλωσης πιστότητας στην περίπτωση της αυτοπιστοποίησης γιατί έχει παρατηρηθεί η ύπαρξη σημασιμένων με το σήμα CE μηχανών που συνοδεύονται από δήλωση πιστότητας οι οποίες δεν συμμορφούνται προς τις βασικές απαιτήσεις της οδηγίας και των προτύπων. Στην περίπτωση που ο αρμόδιος οργανισμός (Υπουργείο Ανάπτυξης) διαπιστώσει παράτυπη σήμανση μηχανής με το σήμα CE υποχρεούται να επιβάλλει στον κατασκευαστή αυστηρές κυρώσεις.

Το περιεχόμενο της δήλωσης ΕΚ πιστότητας για τις μηχανές και για τα εξαρτήματα ασφαλείας που διατίθενται μεμονωμένα στην αγορά συντάσσεται στη γλώσσα του προτύπου των οδηγιών χρήσης, συνοδεύεται από μετάφραση σε μία από τις γλώσσες όπου θα χρησιμοποιηθεί η μηχανή και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία :

- Εταιρική επωνυμία και πλήρη διεύθυνση του κατασκευαστή. Στην περίπτωση εντολοδόχου πρέπει να αναφέρεται επίσης η εταιρική επωνυμία και η διεύθυνση του κατασκευαστή.
- Πλήρη περιγραφή της μηχανής (μάρκα, τύπος, αριθμός σειράς κ.λπ.).
- Όλες τις σχετικές διατάξεις στις οποίες ανταποκρίνεται η μηχανή.
- Όνομα και διεύθυνση του κοινοποιημένου οργανισμού και αριθμό του πιστοποιητικού ΕΚ τύπου (ενδεχόμενα).
- Όνομα και διεύθυνση του κοινοποιημένου οργανισμού που έχει διαβιβαστεί ο φάκελος για αρχειοθέτηση (ενδεχόμενα).
- Όνομα και διεύθυνση του κοινοποιημένου οργανισμού που έχει διαβιβαστεί ο φάκελος για επαλήθευση (ενδεχόμενα).
- Αναφορά στα εναρμονισμένα πρότυπα (ενδεχόμενα).
- Αναφορά στα εθνικά πρότυπα και προδιαγραφές που χρησιμοποιήθηκαν (ενδεχόμενα).
- Στοιχεία του υπογράφοντος για λογαριασμό του κατασκευαστή ή του εντολοδόχου του.

Εξέταση ΕΚ Τύπου. Εξέταση ΕΚ τύπου είναι η διαδικασία με την οποία κοινοποιημένος οργανισμός διαπιστώνει και βεβαιώνει ότι το μοντέλο μιας μηχανής είναι σύμφωνο με τις διατάξεις της παρούσας οδηγίας. Η αίτηση εξέτασης ΕΚ τύπου για ένα μοντέλο μηχανής υποβάλλεται από τον κατασκευαστή ή από τον εγκατεστημένο στην Κοινότητα εντολοδόχο του σε κοινοποιημένο οργανισμό και περιλαμβάνει :

- το όνομα και τη διεύθυνση του κατασκευαστή ή του εγκατεστημένου στην Κοινότητα εντολοδόχου του, καθώς και τον τόπο κατασκευής των μηχανών,
- τον τεχνικό φάκελο κατασκευής.

Η αίτηση συνοδεύεται από μηχανή αντιπροσωπευτική της προβλεπόμενης παραγωγής ή ενδεχομένως από ένδειξη του τόπου όπου μπορεί να εξεταστεί η μηχανή. Τα έγγραφα που αναφέρονται ανωτέρω δεν πρέπει να περιλαμβάνουν λεπτομερή σχέδια και άλλες ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τα επιμέρους στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μηχανών, εκτός εάν η γνώση τους είναι απαραίτητη για την επαλήθευση της συμμόρφωσης προς τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας.

Ο κοινοποιημένος οργανισμός πραγματοποιεί τόσο την εξέταση του τεχνικού φακέλου κατασκευής για να διαπιστώσει αν είναι πλήρης, όσο και την εξέταση της μηχανής η οποία είτε προσκομίζεται στον οργανισμό είτε τίθεται στη διάθεση του.

Κατά την εξέταση της μηχανής ο οργανισμός :

- α) επαληθεύει εάν κατασκευάστηκε σύμφωνα με τον τεχνικό φάκελο κατασκευής και μπορεί να χρησιμοποιείται με ασφάλεια υπό τις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας,
- β) επαληθεύει κατά πόσο χρησιμοποιήθηκαν ορθά τα πρότυπα, εφόσον χρησιμοποιήθηκαν,
- γ) πραγματοποιεί τους κατάλληλους ελέγχους και δοκιμές για την επαλήθευση της συμμόρφωσης της μηχανής προς τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας και υγιεινής.

Εάν η μηχανή ανταποκρίνεται στις σχετικές διατάξεις, ο οργανισμός συντάσσει πιστοποιητικό ΕΚ τύπου που κοινοποιείται στον αιτούντα. Στο πιστοποιητικό αυτό παραθέτει τα συμπεράσματα της εξέτασης, αναφέρει τους όρους που ενδεχομένως συνοδεύουν και περιλαμβάνει τις αναγκαίες περιγραφές και σχέδια για τον προσδιορισμό του εν λόγω εγκατεστημένου μοντέλου.

Η Επιτροπή, τα κράτη μέλη και οι άλλοι κοινοποιημένοι οργανισμοί μπορούν να λάβουν αντίτυπο της βεβαίωσης και μετά από αιτιολογημένη αίτηση, αντίγραφο του τεχνικού φακέλου και των πρακτικών εξετάσεων και δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν.

Ο κατασκευαστής ή ο εγκατεστημένος στην Κοινότητα εντολοδόχος του οφείλει να ενημερώνει τον κοινοποιημένο οργανισμό για όλες τις τροποποιήσεις, ακόμη και για τις ελάχιστους σημασίας, που έχει επιφέρει ή σκοπεύει να επιφέρει στη μηχανή την οποία αφορά το μοντέλο. Ο κοινοποιημένος οργανισμός εξετάζει τις εν λόγω τροποποιήσεις και πληροφορεί τον κατασκευαστή ή τον εγκατεστημένο στην Κοινότητα εντολοδόχο του εάν εξακολουθεί να ισχύει το πιστοποιητικό ΕΚ τύπου.

Ο οργανισμός που αρνείται να χορηγήσει πιστοποιητικό ΕΚ τύπου σε μια μηχανή ενημερώνει τους άλλους κοινοποιημένους οργανισμούς. Ο οργανισμός ο οποίος ανακαλεί πιστοποιητικό ΕΚ τύπου ενημερώνει σχετικά το κράτος μέλος που τον ενέκρινε. Το εν λόγω κράτος μέλος ενημερώνει τα άλλα κράτη μέλη και την Επιτροπή, εκθέτοντας τους λόγους της απόφασης αυτής.

Οι φάκελοι και η αλληλογραφία σχετικά με τις διαδικασίες εξέτασης ΕΚ τύπου συντάσσονται στην επίσημη γλώσσα τους κράτους μέλους όπου είναι εγκατεστημένος ο κοινοποιημένος οργανισμός ή σε γλώσσα που αποδέχεται ο εν λόγω οργανισμός.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας τα όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω είναι απόλυτα σαφές ότι η διαδικασία σήμανσης μηχανής ή εξαρτήματος ασφαλείας, που δεν συμπεριλαμβάνεται στο Παράρτημα IV της οδηγίας, με το σήμα CE δημιουργεί ευθύνες για τον κατασκευαστή και για το λόγο αυτό πρέπει να αντιμετωπίζεται με υπευθυνότητα και προσοχή για την πλήρη ικανοποίηση των απαιτήσεων της οδηγίας.

Ο τεχνικός φάκελος απαιτείται να έχει πληρότητα στοιχείων και τεχνική επάρκεια, οι δε συντάκτες οφείλουν να έχουν καλή γνώση των σχετικών διατάξεων (οδηγιών, προδιαγραφών κ.λ.π.). Είναι βέβαιο ότι κατά την πρώτη περίοδο θα υπάρξουν σημεία προς διευκρίνιση για την αντιμετώπιση των οποίων οι αρμόδιοι φορείς αλλά και τα συλλογικά όργανα θα πρέπει να αναλάβουν σχετικές πρωτοβουλίες.

Για τις μηχανές και τα εξαρτήματα ασφαλείας του Παραρτήματος IV της οδηγίας υπάρχει αναγκαιότητα ορισμού κοινοποιημένου οργανισμού για τους σχετικούς ελέγχους. Επί μέρους δοκιμές που προβλέπονται σε πρότυπα που αφορούν μηχανές του Παραρτήματος IV είναι δυνατόν να διενεργηθούν από αρμόδια εργαστήρια κατά περίπτωση.

Η γενική εκτίμηση είναι ότι η εφαρμογή των οδηγιών 89/392, 91/368 και 93/44 ΕΟΚ θα συμβάλει στην αύξηση του βαθμού προστασίας των χρηστών και στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Τύποι μηχανών και εξαρτημάτων ασφαλείας που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα IV των οδηγιών 89/392, 91/368 και 93/44 ΕΟΚ και για τα οποία πρέπει να εφαρμοστεί η διαδικασία που αναφέρεται στο άρθρο 8, παράγραφος 2, στοιχεία β) και γ)

A. Μηχανές

1. Κυκλικά πριόνια (με μία ή περισσότερες λεπίδες) για την κατεργασία του ξύλου και υλικών που μπορούν να εξομοιωθούν προς αυτό, ή του κρέατος και υλικών που μπορούν να εξομοιωθούν προς αυτό.

- 1.1. Μηχανές πριονίσματος με σταθερό κατά τη διάρκεια της εργασίας εργαλείο σε σταθερή τράπεζα, στις οποίες το υλικό προσάγεται προς το εργαλείο με το χέρι ή με αφαιρετό προωθητήρα.
- 1.2. Μηχανές πριονίσματος με σταθερό κατά τη διάρκεια της εργασίας εργαλείο σε σταθερή τράπεζα, με τραπέζι καβαλέτο ή φορείο με παλινδρομική κίνηση, στις οποίες το υλικό προσάγεται με το χέρι στο εργαλείο.
- 1.3. Μηχανές πριονίσματος με σταθερό κατά τη διάρκεια της εργασίας εργαλείο, οι οποίες διαθέτουν από την κατασκευή τους μηχανικό σύστημα προώθησης του υλικού για πριόνισμα, αλλά προϋποθέτουν ότι το υλικό τοποθετείται και αφαιρείται με το χέρι.
- 1.4. Μηχανές πριονίσματος με κινητό κατά τη διάρκεια της εργασίας εργαλείο, που κινείται μηχανικά αλλά προϋποθέτει ότι το υλικό τοποθετείται και /ή αφαιρείται με το χέρι.
2. Μηχανές ξεχονδρίσματος στις οποίες το υλικό προσάγεται με το χέρι στο εργαλείο για την κατεργασία του ξύλου.
3. Μηχανές πλανίσματος επιφανειών με τροφοδοσία δια χειρός για την κατεργασία του ξύλου.
4. Πριονοκορδέλες με σταθερή ή κινητή τράπεζα και πριονοκορδέλες με κινητό φορείο και με χειρική τροφοδοσία για την κατεργασία του ξύλου και υλικών που μπορούν να εξομοιωθούν με το ξύλο ή για την κατεργασία κρέατος και υλικών που μπορούν να εξομοιωθούν με αυτό.
5. Συνδυασμένα μηχανήματα των τύπων που προβλέπονται στα σημεία 1 ως 4 και στο σημείο 7 για την κατεργασία του ξύλου και υλικών που μπορούν να εξομοιωθούν με αυτό.
6. Μηχανές ξεμορσαδίστρων, εργαλειοφόρα στις οποίες το υλικό προσάγεται με το χέρι προς το εργαλείο για την κατεργασία του ξύλου.
7. Σβούρες με κάθετο άξονα στις οποίες το υλικό προσάγεται με το χέρι για την κατεργασία του ξύλου και των υλικών που μπορούν να προσομοιωθούν με αυτό.
8. Φορητά αλυσοπρίονα για την κατεργασία του ξύλου.
9. Πρέσες και στράντζες για την κατεργασία των μετάλλων εν ψυχρώ, με τροφοδοσία δια χειρός, των οποίων τα κινητά στοιχεία εργασίας μπορούν να έχουν διαδρομή άνω των 6 mm και ταχύτητα άνω των 30 min/s.
10. Μηχανές μορφοποίησης πλαστικού με εμφύσηση ή συμπίεση, με τροφοδοσία ή αφαίρεση επεξεργασμένου υλικού δια χειρός.
11. Μηχανές μορφοποίησης του καουτσούκ, με εμφύσηση ή συμπίεση, με τροφοδοσία ή αφαίρεση επεξεργασμένου υλικού δια χειρός.
12. Μηχανές για υπόγειες εργασίες των ακόλουθων τύπων :
 - μηχανές επί τροχιών : μηχανές έλξης και βαγονέτα πέδησης,
 - υδραυλικά κινητά συστήματα αντιστήριξης,
 - κινητήρες εσωτερικής καύσης που προορίζονται για τον εξοπλισμό μηχανών για υπόγειες εργασίες.
13. Κάδοι συλλογής οικιακών απορριμμάτων με χειροκίνητο σύστημα φόρτωσης και μηχανισμό συμπίεσης.
14. Συστήματα προστασίας και αφαιρετοί άξονες μετάδοσης με ομοκίνητους συνδέσμους όπως περιγραφόμενοι στο σημείο 3.4.7.
15. Αντιφωτικές γέφυρες για οχήματα.
16. Μηχανές ανέλκυσης ή μεταφοράς προσώπων που περικλείουν κίνδυνο κατακόρυφης πτώσης από ύψος άνω των 3 μέτρων.
17. Μηχανές για την κατασκευή πυροτεχνικών προϊόντων.

B. Εξαοτήματα ασφαλείας

1. Ηλεκτροευαίσθητα συστήματα σχεδιασμένα για την ανίχνευση της παρουσίας προσώπων, τ-δώς άυλα φράγματα, ευαίσθητοι τάπητες, ηλεκτρομαγνητικοί ανιχνευτές.
2. Λογικές ενότητες που επιτελούν λειτουργίες ασφαλείας για όργανα χειρισμού που απαιτούν χρησιμοποίηση και των δύο χεριών.
3. Κινητά διαφράγματα για την προστασία των προσώπων που αναφέρονται στα σημεία 9, 10 και 11.
4. Συστήματα προστασίας κατά των κινδύνων ανατροπής (ROPS).
5. Συστήματα προστασίας κατά των κινδύνων από πτώσεις αντικειμένων (FOPS).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Π.Δ. 377. Προσαρμογή της Ελληνικής Νομοθεσίας στις Οδηγίες 89/392/ΕΟΚ και 91/368/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σχετικά με τις μηχανές. ΦΕΚ 160, ΤΕΥΧΟΣ Α/15-9-1993.
2. Massimi P., Van Gheluwe J-P., "Η κοινοτική νομοθεσία σχετικά με τις μηχανές", Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1993.
3. Οδηγία 89/392/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σχετικά με τις μηχανές (ΕΕ αριθ. L 183), 29-6-1989.
4. Οδηγία 91/368/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΕΕ αριθ. L 198) που τροποποιεί την οδηγία 89/392/ΕΟΚ για την προσέγγιση της νομοθεσίας των κρατών-μελών σχετικά με τις μηχανές, 22-7-1991.
5. Οδηγία 93/44/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΕΕ αριθ. L 175/12) που τροποποιεί την οδηγία 89/392/ΕΟΚ για την προσέγγιση της νομοθεσίας των κρατών-μελών σχετικά με τις μηχανές, 19-7-1993.

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΕΜΠΟΡΙΟ ΣΤΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Κ.Ι. Κωστοπούλου, Α.Β. Σιδερίδης

Εργαστήριο Πληροφορικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ραγδαία εξέλιξη του Διαδικτύου (Internet) και ειδικότερα της υπηρεσίας Web δημιούργησε ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη και αξιοποίηση των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων του Ηλεκτρονικού Εμπορίου σε ευρεία κλίμακα από τον κόσμο των επιχειρήσεων. Η εργασία αυτή επιχειρεί να περιγράψει την παρούσα κατάσταση του Ηλεκτρονικού Εμπορίου στις Ελληνικές επιχειρήσεις και να παρουσιάσει την αυξανόμενη σπουδαιότητα που αποκτά το Ηλεκτρονικό Εμπόριο στον εμπορικό κόσμο και ιδιαίτερα στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων. Επίσης, στην εργασία αυτή προτείνεται η ανάπτυξη ενός συστήματος για τη χρήση εφαρμογών Ηλεκτρονικού Εμπορίου τόσο σε ενδοεπιχειρησιακό (προμηθευτής-επιχείρηση) όσο και σε διεπιχειρησιακό (επιχείρηση-πελάτης) επίπεδο, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων να επωφεληθούν σε μέγιστο βαθμό από τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τις σημαντικότερες εφαρμογές της τεχνολογίας της πληροφορικής θεωρούνται οι εφαρμογές του Ηλεκτρονικού Εμπορίου (ΗΕ). Οι εφαρμογές του ΗΕ εξαπλώνονται γρήγορα σε ένα πολυσύνθετο ιστό επιχειρηματικών και εμπορικών δραστηριοτήτων, οι οποίες διεκπεραιώνονται σε παγκόσμια κλίμακα μεταξύ ενός συνεχώς αυξανόμενου αριθμού συμμετεχόντων, εταιρειών και ατόμων, σε παγκόσμια ανοικτά δίκτυα όπως το Διαδίκτυο (Internet) [1]. Η ραγδαία ανάπτυξη του Internet, η διάδοση των εφαρμογών του ΗΕ στον εμπορικό κόσμο, καθώς και το γεγονός ότι η τεχνολογία του ΗΕ θεωρείται ότι παρέχει στρατηγικό πλεονέκτημα στις επιχειρήσεις που την υιοθετούν, δεν θα πρέπει να αφήσει αμέτοχες τις Ελληνικές μικρομεσαίες επιχειρήσεις (οι οποίες αποτελούν σημαντικό τμήμα της Ελληνικής οικονομίας) και πιο συγκεκριμένα τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων λαμβάνοντας υπόψη ότι η μη έγκαιρη δραστηριοποίησή τους θα μειώσει την ανταγωνιστικότητά τους.

Η εργασία αυτή επιχειρεί να περιγράψει την παρούσα κατάσταση του ΗΕ στις Ελληνικές επιχειρήσεις και να παρουσιάσει την αυξανόμενη σπουδαιότητα που αποκτά το ΗΕ στον εμπορικό κόσμο και ιδιαίτερα στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων. Επίσης, στην εργασία αυτή προτείνεται η ανάπτυξη ενός συστήματος για τη χρήση εφαρμογών ΗΕ τόσο σε ενδοεπιχειρησιακό (προμηθευτής-επιχείρηση), όσο και σε διεπιχειρησιακό (επιχείρηση-πελάτης) επίπεδο, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων να επωφεληθούν σε μέγιστο βαθμό από τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας. Ο όρος προμηθευτής αναφέρεται σε εργοστάσια παραγωγής γεωργικών μηχανημάτων. Σημειώνεται, ότι ο βαθμός εκμηχάνισης της ελληνικής γεωργίας είναι ο υψηλότερος στην Ευρώπη. Σύμφωνα με στοιχεία του Συνδέσμου Εισαγωγέων αγροτικών μηχανημάτων που δόθηκαν στη δημοσιότητα, οι πωλήσεις των τρακτέρ στη χώρα μας το 1997 σημείωσαν αύξηση της τάξης του 40% σε σχέση με το προηγούμενο έτος [2].

Οι ενότητες της εργασίας αυτής αναλύονται ως εξής: Στην επόμενη ενότητα δίνεται μια σύντομη περιγραφή του ΗΕ, των κατηγοριών στις οποίες διακρίνεται και η παρούσα κατάσταση στην Ελλάδα. Στην ενότητα 3 παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός συστήματος ΗΕ για μικρομεσαίες επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων τόσο σε ενδοεπιχειρησιακό όσο και σε διεπιχειρησιακό επίπεδο. Τέλος, τα συμπεράσματα της εργασίας παρουσιάζονται στην τελευταία ενότητα.

2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΕΜΠΟΡΙΟ

2.1 Ορισμός

Η ανάγκη του ΗΕ προήλθε από την απαίτηση επιχειρήσεων και κρατικών μηχανισμών για καλύτερη χρήση των τεχνολογιών της πληροφορικής και των επικοινωνιών καθώς και για αποδοτικότερη χρήση της υπολογιστικής τεχνολογίας με σκοπό τη βελτίωση της επαφής με τον πελάτη, των επιχειρηματικών συναλλαγών και της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των επιχειρήσεων. Ο όρος ΗΕ αναφέρεται σε οποιαδήποτε μορφής εμπορική συναλλαγή και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ εταιριών, καταναλωτών και δημοσίων οργανισμών όπου επικοινωνούν ηλεκτρονικά με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών επικοινωνίας αντί μέσω φυσικών συναλλαγών και επαφών [3, 4]. Αναλυτικότερα, ο όρος ΗΕ ανάλογα από τον τρόπο θεώρησής του, ορίζεται και διαφορετικά [1].

- Από την άποψη της επικοινωνίας, το ΗΕ είναι η παροχή πληροφοριών, προϊόντων/υπηρεσιών ή πληρωμών μέσω τηλεφωνικών γραμμών, δικτύων υπολογιστών ή άλλων μέσων.
- Από επιχειρηματική άποψη, το ΗΕ είναι η εφαρμογή της τεχνολογίας προς την κατεύθυνση της αυτοματοποίησης των επιχειρηματικών συναλλαγών και ροών δεδομένων.
- Από την άποψη των υπηρεσιών, το ΗΕ είναι το εργαλείο το οποίο απευθύνεται στην επιθυμία των επιχειρήσεων και των καταναλωτών για μείωση του κόστους ενώ παράλληλα βελτιώνει την ποιότητα και αυξάνει την ταχύτητα παράδοσης των αγαθών.
- Από την άποψη της αμεσότητας (on-line), το ΗΕ παρέχει τη δυνατότητα αγοράς και πώλησης προϊόντων/υπηρεσιών και πληροφοριών στο Internet.

Το ΗΕ, αρχικά ταυτίστηκε με την τεχνική EDI (Electronic Data Interchange). Ο όρος EDI διλώνει την ηλεκτρονική ανταλλαγή παραστατικών μεταξύ εμπορικών εταιριών σε μορφή τυποποιημένων μηνυμάτων βάσει διεθνών προτύπων [5]. Μέχρι πρόσφατα, το ΗΕ δεν ήταν παρά μια δραστηριότητα της τεχνικής EDI μεταξύ επιχειρήσεων σε δίκτυα προστιθέμενης αξίας (Value Added Networks - VANs). Η αλματώδης όμως ανάπτυξη του Internet και ειδικότερα της υπηρεσίας του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web - WWW), επηρέασε καταλυτικά την ανάπτυξη του ΗΕ δίνοντας την δυνατότητα εκτέλεσης συναλλαγών και ανταλλαγής προϊόντων και υπηρεσιών μεταξύ δύο ή περισσότερων μερών χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά μέσα και τεχνικές (π.χ. Η/Υ, Internet). Η υπηρεσία Web αντιπροσωπεύει ένα κρίσιμο σημείο στην εξέλιξη του ΗΕ, αφού παρέχει μια εύκολη τεχνολογικά λύση στο πρόβλημα της δημοσιοποίησης και διάχυσης πληροφοριών [1]. Δίνει τη δυνατότητα σε μικρές επιχειρήσεις να ανταγωνίζονται ακόμα και πολυεθνικές εταιρείες. Επίσης, προσφέρει νέες προοπτικές στον εμπορικό τομέα και κατ' επέκταση στις επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων, κυρίως για τους παρακάτω λόγους: (i) Ευρύτητα και καθολικότητα: η υπηρεσία Web είναι προσβάσιμη από οποιονδήποτε χρήστη χωρίς περιορισμούς. (ii) Χαμηλό κόστος: η πρόσβαση στο Internet λόγω του χαμηλού της κόστους δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης σε μεγάλο αριθμό χρηστών. (iii) Φιλικότητα: η χρήση της υπηρεσίας Web

είναι εύκολη για οποιονδήποτε χρησιμοποιεί έναν Η/Υ. (iv) Αμεσότητα: οι πληροφορίες που παρέχονται από μια σελίδα Web είναι εύκολα προσβάσιμες από όλα τα μέρη που συμμετέχουν στην αλυσίδα εμπορίας ενός προϊόντος και συνεπώς ο χρόνος που απαιτείται στη διακίνηση και προώθησή του περιορίζεται δραστηρικά.

2.2 Κατηγορίες

Βασικό στοιχείο του HE είναι η επικοινωνία. Ανάλογα με τον τύπο της επικοινωνίας, δηλαδή τη μορφή των ανταλλασσομένων μηνυμάτων, το HE διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες. Κάθε κατηγορία παρουσιάζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ανάλογα με τη φύση των συναλλασσομένων μερών και τη θέση τους στο κύκλο εμπορίας [1, 3]. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

Επιχείρηση-επιχείρηση. Η επικοινωνία μεταξύ επιχειρήσεων βασίζεται στην ανταλλαγή εμπορικών εγγράφων τα οποία καλύπτουν ευρύ φάσμα πληροφοριών, από έγγραφα που υποστηρίζουν εμπορικές συναλλαγές και υπόκεινται σε συγκεκριμένη νομοθεσία (τιμολόγια, εντολές πληρωμών, φορτωτικές, κλπ.) έως πληροφοριακά έγγραφα που παρέχουν δεδομένα για αμοιβαία οφέλη (στοιχεία πωλήσεων, απογραφής, κλπ.). Το σημαντικότερο πρόβλημα αυτής της κατηγορίας είναι η ανομοιογένεια μεταξύ των συστημάτων των επιχειρήσεων. Η τεχνική όμως του EDI εξασφαλίζει επικοινωνία μεταξύ ετερογενών συστημάτων με τη χρήση προτύπων (EDIFACT, X12). Σε αυτήν την κατηγορία, το HE ταυτίζεται με την τεχνολογία EDI.

Επιχείρηση-καταναλωτής. Η κατηγορία αυτή αναφέρεται κυρίως στο λιανικό εμπόριο και παρουσίασε ραγδαία εξέλιξη με την ανάπτυξη της υπηρεσίας Web. Σε μια αγορά που οδηγείται από τις απαιτήσεις του καταναλωτή, η κατηγορία επιχείρηση-καταναλωτής μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον κύκλο εμπορίας ενός προϊόντος. Η επικοινωνία με τον καταναλωτή εξυπηρετεί δύο κυρίως σκοπούς (i) να τον ενημερώνει για τα διαθέσιμα προϊόντα ώστε να επιλέγει το καλύτερο και (ii) να γίνονται καλύτερα κατανοητές οι ανάγκες του ώστε να ικανοποιείται στο μέγιστο βαθμό. Η κατηγορία επιχείρηση-καταναλωτής βασίζεται, στην πιο υποσχόμενη μέθοδο επικοινωνίας, το Internet το οποίο αναγνωρίζεται ως βασική αγορά με σταθερά υψηλούς ρυθμούς αύξησης δημιουργώντας ένα νέο εμπορικό κέντρο όπου τα προϊόντα και οι υπηρεσίες του εκθέτονται σε εκατομμύρια καταναλωτές. Χρησιμοποιείται, επίσης για προώθηση προϊόντων και υπηρεσιών, λήψη στοιχείων από τους καταναλωτές και ηλεκτρονικές αγορές.

Επιχείρηση-δημόσιος τομέας. Η κατηγορία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως παραλλαγή της κατηγορίας επιχείρηση-επιχείρηση. Οι σχέσεις επιχείρησης και δημόσιου τομέα αρχίζουν από τη στιγμή ίδρυσης της επιχείρησης. Από το πλήθος των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους, δύο είναι αυτές που κυρίως περιγράφονται από αυτή την κατηγορία (i) η ανταλλαγή πληροφοριών σε θέματα φορολογίας, ασφάλισης, διαγωνισμών, κλπ. και (ii) η λειτουργία της επιχείρησης ως προμηθευτής του Δημοσίου. Σημειώνεται ότι και το αντίστροφο ισχύει αλλά σε πολύ περιορισμένη κλίμακα. Οι δύο αυτές σχέσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλο όγκο εγγράφων και προσκόλληση σε συγκεκριμένες πρακτικές σύμφωνα με τη νομοθεσία. Η εφαρμογή του HE στο δημόσιο τομέα απαιτεί κυρίως αναδιοργάνωση των διαδικασιών και αλλαγή της νομοθεσίας. Αν και σε αρχικό στάδιο ακόμα, εξελίσσεται ραγδαία καθώς πολλές χώρες προσπαθούν να προάγουν τη χρήση του στο δημόσιο τομέα.

2.3. Η Παρούσα Κατάσταση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, είναι η χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) στην οποία παρατηρείται η μικρότερη δραστηριότητα σε σχέση με το ΗΕ. Οι κυριότερες δυσκολίες διάδοσης του ΗΕ στην Ελλάδα σχετίζονται με την ποιότητα της υπάρχουσας τηλεπικοινωνιακής υποδομής, τη συμμετοχή του κράτους, το μέγεθος των επιχειρήσεων, τη στάση των επιχειρήσεων απέναντι σε καινοτομικές εφαρμογές, τη βιομηχανία πληροφορικής και την έλλειψη πρωτοβουλιών για ενημέρωση.

Στην Ελλάδα, η κατηγορία επιχείρηση-επιχείρηση έχει αρχίσει να αναπτύσσεται στο τομέα του λιανικού εμπορίου, της ναυτιλίας, τον τραπεζικό και τον τουριστικό. Εκτιμάται ότι στα επόμενα χρόνια οι τομείς αυτοί θα παρουσιάσουν αξιοσημείωτη δραστηριότητα στην υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών και πρακτικών του ΗΕ λόγω του εξωγωγικού τους χαρακτήρα και του αυξανόμενου ανταγωνισμού από τη διεθνή κοινότητα. Αν και η τεχνολογία EDI είναι ιδιαίτερα γνωστή, στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 200 χρήστες (π.χ. Procter & Gamble Ελλάς, Kraft Ελλάς) αυτής της τεχνολογίας, οι οποίοι είναι κυρίως θυγατρικές εταιρείες πολυεθνικών οργανισμών [6]. Ιδιαίτερα, θετικά όμως εξελίσσεται η υιοθέτηση της κατηγορίας επιχείρηση-καταναλωτής από τις Ελληνικές επιχειρήσεις. Υπολογίζεται ότι περίπου 800 έως 1000 επιχειρήσεις έχουν παρουσία στο Internet με σελίδες Web, ενώ κάποιες από αυτές πραγματοποιούν και πωλήσεις (π.χ. www.papasotiriou.gr, www.bookstore.gr, www.agora.gr).

Το Υπουργείο Ανάπτυξης θεωρεί το ΗΕ σημαντικό στοιχείο ανάπτυξης της Ελληνικής οικονομίας, για το λόγο αυτό προωθεί την εισαγωγή του στον ιδιωτικό τομέα μέσω εθνικών και κοινοτικών προγραμμάτων ενώ δεν διαφαίνεται αντίστοιχη προσπάθεια στο δημόσιο τομέα. Ο δημόσιος τομέας παρουσιάζει μικρή συμμετοχή στις εφαρμογές του ΗΕ και αυτή μόνο όταν επιβάλλεται από τη νομοθεσία της ΕΕ.

Στις αρχές του 1999 εκτιμάται ότι ο ΟΤΕ θα ξεκινήσει την εμπορική λειτουργία του Εθνικού Συστήματος Διαχείρισης Μηνυμάτων και Υπηρεσιών Ηλεκτρονικού Εμπορίου (ΕΡΜΗΣ). Ο ΕΡΜΗΣ αποτελεί σύγχρονο τηλεπικοινωνιακό σύστημα, το οποίο προσφέρει στους χρήστες ένα σύνολο προηγμένων υπηρεσιών διαχείρισης και διεκπεραίωσης μηνυμάτων με διαδικασίες αποθήκευσης και προώθησης. Τα πλεονεκτήματα του ΕΡΜΗΣ είναι: αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα στη μεταβίβαση μηνυμάτων, λιγότερες συνδέσεις στο δίκτυο και συνεπώς υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας, δυνατότητα διασύνδεσης σε διεθνές επίπεδο, γνωστοποίηση αποστολής και λήψης μηνυμάτων, δυνατότητα ανταλλαγής και μεταβίβασης μηνυμάτων, υψηλή διασυνδεσιμότητα γιατί είναι βασισμένο σε διεθνή πρότυπα (X.400, X.435, X.500), δυνατότητα παράδοσης με προτεραιότητα, απλοποίηση αποστολής και παραλαβής συνημμένων εγγράφων, μεταφορά κάθε είδους περιεχομένου και πληροφορία (EDI, binary), διασύνδεση με Internet e-mail, και οικονομία χρόνου στη διαδικασία ηλεκτρονικής αλληλογραφίας. Ο ΕΡΜΗΣ απευθύνεται σε επαγγελματίες, επιχειρήσεις, ιδρύματα και οργανισμούς.

3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΜΠΟΡΙΟΥ

3.1 Εμπορικές Πρακτικές

Σκοπός του προτεινόμενου συστήματος είναι η υποστήριξη των μικρομεσαίων επιχειρήσεων γεωργικών μηχανημάτων και πιο συγκεκριμένα ο εκσυγχρονισμός του τρόπου οργάνωσης και εμπορίας τους στην εγχώρια αγορά για μείωση του κόστους διεκπεραίωσης και άμεση διάθεση των μηχανημάτων στους αγρότες τους. Στην χώρας μας, η αλυσίδα εμπορίας γεωργικών μηχανη-

μάτων έχει ως εξής: εργοστάσιο παραγωγής, εισαγωγέας, κατάσταση λιανικού εμπορίου, πελάτης. Ένα σύστημα ΗΕ γεωργικών μηχανημάτων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση αυτής της αλυσίδας με παράκαμψη είτε του εισαγωγέα είτε του καταστήματος λιανικού εμπορίου. Το προτεινόμενο σύστημα υιοθετεί την πρώτη λύση, εφόσον οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις αποτελούν ζωτικό τμήμα της Ελληνικής οικονομίας.

Η ροή των πληροφοριών μεταξύ μιας επιχείρησης γεωργικών μηχανημάτων και των προμηθευτών της (εργοστάσια) είναι ιδιαίτερα σημαντική. Οι πληροφορίες αυτές επαναλαμβάνονται σε κάθε στάδιο μιας εμπορικής συναλλαγής και ο όγκος τους αυξάνει όταν περιλαμβάνεται και εκτελωνισμός των μηχανημάτων και των ανταλλακτικών. Σύμφωνα με το [5], τα λάθη, οι καθυστερήσεις και το κόστος που εμπεριέχονται στις κλασικές διαδικασίες επεξεργασίας και μεταβίβασης όλων αυτών των πληροφοριών έχουν σαν αποτέλεσμα τη μειωμένη αποδοτικότητα και αποτελούν εμπόδιο για την επιβίωση και την παραπέρα ανάπτυξη μιας επιχείρησης στο μέλλον. Το προτεινόμενο σύστημα ΗΕ για μικρομεσαίες επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων θα πρέπει να καλύπτει (α) τη σχέση προμηθευτή-επιχείρηση γεωργικών μηχανημάτων η οποία αντιστοιχεί στην κατηγορία επιχείρηση-επιχείρηση της ενότητας 2.2 και (β) τη σχέση επιχείρηση γεωργικών μηχανημάτων-πελάτη/αγρότη η οποία αντιστοιχεί στην κατηγορία επιχείρηση-καταναλωτής. Στη συνέχεια αναφέρονται τρόποι συμπεριφοράς αγοράς γεωργικών μηχανημάτων από τους αγρότες, οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην ανάπτυξη της εφαρμογής.

Σύμφωνα με τις υπάρχουσες εμπορικές πρακτικές, ο πελάτης-αγρότης γεωργικών μηχανημάτων μπορεί να διακριθεί σε αυτόν που αγοράζει α) γρήγορα και άμεσα, β) μετά από ορισμένες συγκρίσεις και συζητήσεις, και γ) μετά από λεπτομερειακή έρευνα αγοράς και διαπραγματεύσεις. Επίσης, ο τρόπος συμπεριφοράς αγοράς του μπορεί να αναλυθεί στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ακριβώς προγραμματισμένη αγορά, όπου ο πελάτης-αγρότης με την είσοδό του στην επιχείρηση γνωρίζει τις ανάγκες του και αγοράζει ακριβώς το μηχάνημα που έχει προγραμματίσει.
- Γενικά προγραμματισμένη αγορά, όπου ο αγρότης γνωρίζει τις ανάγκες του αλλά αποφασίζει μέσα στην επιχείρηση ποιο ακριβώς μηχάνημα θα αγοράσει.
- Αγορά μέσω υπενθύμισης, όπου υπενθυμίζονται στον αγρότη οι ανάγκες του μέσω διαφημίσεων.
- Μη προγραμματισμένη αγορά, όπου η ανάγκη δεν έχει αναγνωρισθεί με την είσοδό του στην επιχείρηση.

3.2 Ανάλυση Συστήματος

Η χρήση της τεχνικής EDI στο προτεινόμενο σύστημα ΗΕ, για τη σχέση προμηθευτή-επιχείρηση γεωργικών μηχανημάτων θα συμβάλει στη μείωση του κόστους αποθήκευσης (εφόσον μπορεί να διατηρείται μειωμένο απόθεμα μηχανημάτων) το οποίο μεταφράζεται σε κόστος αποθηκευτικού χώρου, ασφάλιση αποθέματος και προσωπικό φύλαξης, μείωση του κόστους επεξεργασίας στοιχείων (εισαγωγή, διόρθωση και επιβεβαίωση στοιχείων στο Η/Υ), βελτίωση στη διαδικασία σύνδεσης τιμολογίων, παραγγελιών και παράδοσης παραγγελιών, άμεση διακίνηση του αποθέματος και μείωση στο ελάχιστο της απαξίωσης των αποθεμάτων αφού πλέον η επιχείρηση διατηρεί την ελάχιστη μόνο ποσότητα αποθέματος. Η εμπορική λειτουργία του συστήματος ΕΡ-ΜΗΣ από τον ΟΤΕ θα δώσει νέα ώθηση στη χρήση της τεχνικής EDI από τις επιχειρήσεις.

Το ΗΕ και ιδιαίτερα η υπηρεσία Web, μπορεί να ενταχθεί και να συμβάλει στο περιβάλλον μιας μικρομεσαίας επιχείρησης γεωργικών μηχανημάτων σε σχέση με τους πελάτες της για τρεις κυρίως λόγους:

- προσέλκυση νέων πελατών μέσω διαφήμισης και marketing,
 - εξυπηρέτηση των υπαρχόντων πελατών μέσω υπηρεσιών υποστήριξης, και
 - ανάπτυξη νέων αγορών και καναλιών διανομής των προϊόντων της.
- Το σύστημα ΗΕ θα επιτρέπει στον πελάτη-αγρότη μέσω υπηρεσιών Web τα ακόλουθα:

1. Αναζήτηση γεωργικών μηχανημάτων βάσει:
 - των τεχνικών χαρακτηριστικών που προτιμά,
 - των αναγκών του που επιθυμεί να καλύψει, και
 - το χρηματικό ποσό που επιθυμεί να διαθέσει.
2. Ενημέρωση για τιμές, διαθεσιμότητα και ημερομηνία παράδοσης των μηχανημάτων.
3. Συμπλήρωση και αποστολή παραγγελίας.
4. Ενημέρωση για νέα μηχανήματα.
5. Ζήτηση τεχνικών συμβουλών για συντήρηση των μηχανημάτων.
6. Επίλυση παραπόνων (π.χ. για τυχόν ελαττώματα).
7. Άμεση και συνεχή επικοινωνία με το κατάστημα λιανικής πώλησης.

Επίσης, θα παρέχει στην επιχείρηση γεωργικών μηχανημάτων τα ακόλουθα:

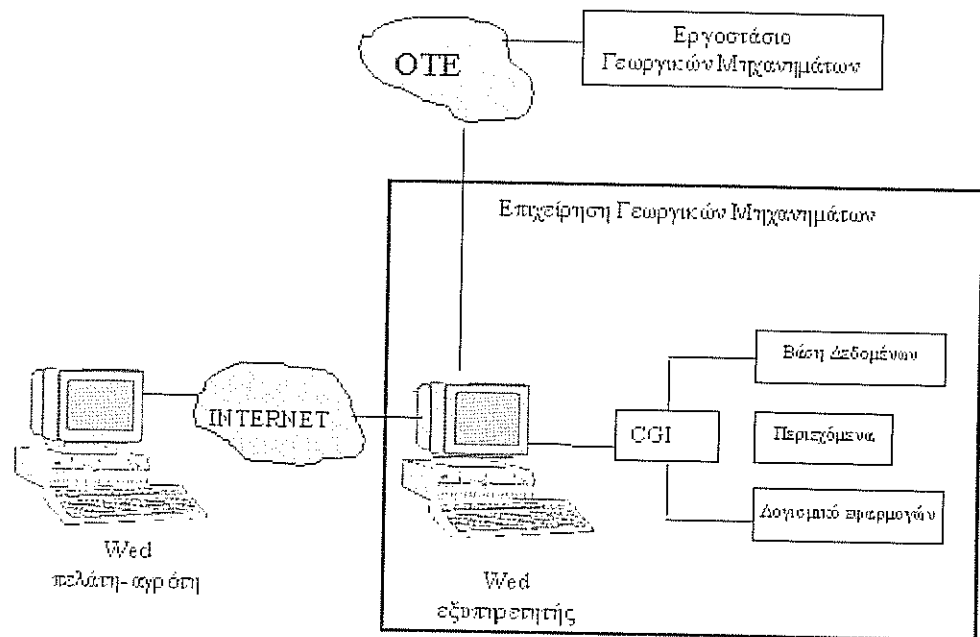
- Βελτίωση στις σχέσεις και τις συναλλαγές της με τους προμηθευτές της.
- Διαφήμιση των προϊόντων της.
- Άμεση και συνεχή επικοινωνία με τον αγρότη.
- Ενημέρωση πελατών για νέα γεωργικά μηχανήματα.
- Λήψη παραγγελιών.
- Παρακολούθηση και ανάλυση της συμπεριφοράς των πελατών της
- Σύνδεση με σελίδες Web των επιχειρήσεων που αντιπροσωπεύει.
- Διευκόλυνση εισαγωγών.

3.3 Ανάπτυξη Συστήματος

Το προτεινόμενο σύστημα θα βασίζεται σε αρχιτεκτονική υπηρέτη/εξυπηρετητή (client/server). Σημειώνεται ότι λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η ανάπτυξη του προτεινόμενου συστήματος θα πρέπει να υλοποιηθεί με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Το σύστημα θα διαθέτει έναν εξυπηρετητή Web (π.χ. Netscape Commerce Server). Επίσης, θα διαθέτει πρόσβαση στο Internet μέσω γραμμής διασύνδεσης (μισθωμένη γραμμή, X.25, Frame Relay) με παροχή υπηρεσιών Internet. Το βασικό λογισμικό που απαιτείται είναι ένα πρόγραμμα αυτοματισμού γραφείου (π.χ. MS-Office), εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών (π.χ. C++) και ένα πρόγραμμα βάσης δεδομένων (π.χ. MS-Access). Η υπηρεσία Web βασίζεται στη γλώσσα HTML (Hypertext markup language) για την μορφή των σελίδων Web, στο πρωτόκολλο HTTP (Hypertext transfer protocol) για την επικοινωνία εξυπηρετητών και πλοηγών (browsers) και στο ενδιάμεσο CGI (Common Gateway Interface) για χρήση προγραμμάτων από τον εξυπηρετητή Web. Ο πελάτης-αγρότης θα έχει πρόσβαση στο σύστημα μέσω Internet (dial-up σύνδεση) χρησιμοποιώντας έναν πλοηγό Web (π.χ. Netscape Navigator) είτε από το συνεταιρισμό είτε από οποιοδήποτε άλλο χώρο. Το σύστημα για την κάλυψη της σχέσης προμηθευτή-επιχείρησης γεωργικών μηχανημάτων, δηλαδή την ανταλλαγή στοιχείων όπως τιμολόγια, παραγγελίες, δελτία αποστολής, εντάλματα πληρωμών, τελωνιακές διασαφήσεις και εντολές μεταφοράς, θα βασιστεί στο σύστημα ΕΡΜΗΣ του ΟΤΕ το οποίο παρέχει την πλέον οικονομική λύση. Η πρόσβαση στο σύστημα ΕΡΜΗΣ μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

(α) τηλεφωνικό δίκτυο, (β) δίκτυο Hellaspac, (γ) δίκτυο Hellascom, (δ) δίκτυο ISDN και (ε) μισθωμένες γραμμές. Το υλικό που απαιτείται είναι ένας Η/Υ και τερματικός εξοπλισμός ανάλογα με τον τρόπο πρόσβασης (modem, κάρτα ISDN, NTU, κάρτα X.25) ενώ το σπαιτούμενο λογισμικό θα πρέπει να είναι συμβατό για εφαρμογές X.400 e-mail ή EDI. Η αρχιτεκτονική του συστήματος περιγράφεται στο σχήμα 1.

Η εφαρμογή που θα αναπτυχθεί για την υποστήριξη του ΗΕ για μικρομεσαίες επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων μπορεί να αναπτυχθεί γενικά για όλες τις επιχειρήσεις του κλάδου. Η εφαρμογή θα πρέπει να αναλύεται σε τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο θα αναφέρεται στα εργαλεία ανάπτυξης της εφαρμογής. Το ενδιάμεσο επίπεδο θα αναφέρεται στην γενικευμένη ανάπτυξη της εφαρμογής η οποία θα δομείται σύμφωνα με τις γενικές διαδικασίες και συναλλαγές που χρησιμοποιούν οι επιχειρήσεις του κλάδου. Τέλος, το ανώτερο επίπεδο θα αναφέρεται σε προσρμογές της εφαρμογής, σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε επιχείρησης.



Σχήμα 1: Αρχιτεκτονική συστήματος ΗΕ

Μια υπηρεσία στο Internet, η οποία παρέχει ορισμένες πληροφορίες για γεωργικά μηχανήματα, στον αγροτικό κόσμο της χώρας μας, είναι το ΑΓΡΟ-ΔΙΚΤΥΟ (<http://www.agrinet.gr>). Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιεί το Internet σαν μέσο επικοινωνίας και επιχειρεί να δημιουργήσει μια "υπηρεσία μιας στάσης" όπου θα εξυπηρετεί όλους όσους εμπλέκονται στην αγροτική οικονομία της χώρας μας παρέχοντας: έγκυρη και άμεση πληροφόρηση, πρόσβαση σε πηγές εξειδικευμένων γνώσεων και εμπειριών, πληροφορίες και στοιχεία αγοράς, και διασύνδεση του Αγροτικού Κόσμου με Υπηρεσίες, Επιχειρήσεις, Αγροτικές Οργανώσεις και άλλους οργανισμούς τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την χρήση του ΗΕ στις επιχειρήσεις γεωργικών μηχανημάτων είναι: ταχύτητα αποστολής των εμπορικών εγγράφων που συνοδεύουν τις συναλλαγές, βελτίωση της διαδικασίας σύνδεσης τιμολογίων και παραγγελιών, βελτίωση της διαδικασίας εκτελωνισμού, περικοπές του κόστους διεκπεραίωσης, μείωση του κόστους αποθήκευσης, αρωτοποίηση της αποθεματικής πολιτικής, συντονισμένη διαχείριση των αποθεμάτων (άμεση διακίνηση), μείωση στο ελάχιστο της απάξιωσής τους), καλύτερη ανταπόκριση στους πελάτες και αυξημένη ικανότητα ανταγωνισμού.

Τα όρια της επιχείρησης δεν περιορίζονται στην συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή στην οποία εδρεύει αλλά από την ύπαρξη δικτύων υπολογιστών. Το ΗΕ παρέχει στην επιχείρηση, τη δυνατότητα εθνικής παρουσίας και διεξαγωγής εμπορικών συναλλαγών. Το αντίστοιχο όφελος για τον αγρότη είναι το μεγάλο εύρος επιλογών. Το ΗΕ, αν και συχνά οδηγεί σε μείωση της αλυσίδας εμπορίας των προϊόντων, στόχος του δεν είναι η κατάργηση της παραδοσιακής αλυσίδας εμπορίας, αλλά η συνεισφορά του στη μείωση του κόστους, των χρονικών καθυστερήσεων και της κατασπατάλησης πόρων και μέσων. Το αντίστοιχο όφελος για τον αγρότη είναι η γρήγορη απόκτηση των μηχανημάτων που επιθυμεί χωρίς περιορισμούς από πιθανές ελλείψεις των τοπικών καταστημάτων. Το κόστος μιας διεκπεραίωσης η οποία απαιτεί ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να μετρηθεί σε αρκετά χρήματα, ενώ το κόστος διεξαγωγής παρόμοιας διεκπεραίωσης με τη χρήση του ΗΕ μπορεί να κοστίσει λίγες μόνο δραχμές και κατά συνέπεια να υπάρξει ουσιαστική μείωση κόστους, η οποία με τη σειρά της μπορεί να μεταφρασθεί σε μείωση της τιμής του μηχανήματος για τον αγρότη.

Κάθε καινοτομική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Τα κύρια μειονεκτήματα υιοθέτησης ενός συστήματος ΗΕ από μια επιχείρηση γεωργικών μηχανημάτων είναι το κόστος της αρχικής επένδυσης, τα λειτουργικά έξοδα και η ποσοτικοποίηση των πλεονεκτημάτων. Η αρχική επένδυση αναφέρεται στην αγορά ηλεκτρονικού εξοπλισμού και λογισμικού καθώς και στην ανάπτυξη της εφαρμογής. Τα λειτουργικά έξοδα αναφέρονται κυρίως στα τηλεπικοινωνιακά έξοδα, στην συντήρηση του εξοπλισμού και στην υποστήριξη της εφαρμογής από κατάλληλα εξειδικευμένο προσωπικό. Πάντως, τα πλεονεκτήματα που εμφανίζονται, θεωρείται ότι αντισταθμίζουν τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα τα μειονεκτήματα [5]. Τα πλεονεκτήματα αυξάνουν με την αύξηση του όγκου των συναλλαγών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kalakota, R., Whinston, A.B., *Electronic Commerce: A Manager's Guide*, Addison-Wesley, Publishing Company, 1997, pp. 56-92.
2. Υπουργείο Γεωργίας, *Κίνητρα για τους Νέους Αγρότες*, Έκδοση Υπουργείου Γεωργίας, Ιούλιος 1998, σελ. 25.
3. Kalakota, R., Whinston, A.B., *Frontiers of Electronic Commerce*, Addison-Wesley, Publishing Company, 1993, pp. 215-290.
4. Papadakis, D., Marazakis, M., Nikolaou, Ch., Constanta, P., *An Infrastructure to Support Collaboration and Co-ordination in Electronic Commerce*, In the Proc. of Electronic Commerce in the Framework of Mediterranean Countries Development, Metsovo, Greece, 4-6 July 1997, pp. 273-280.
5. Δουκίδης, Γ.Ι., Φραγγοπούλου, Α., Αναγνωστόπουλος, Ι., *EDI: Η πληροφορική στις σύγχρονες επιχειρήσεις*, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, 1993, σελ. 223-245.
6. Doukidis, G.I., *Electronic Commerce in Greece: Present State and Future Potential*, In the Proc. of Electronic Commerce in the framework of Mediterranean Countries Development, pp. 273-280, Metsovo, Greece, 4-6 July 1997, pp.99-107.

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ ΤΩΝ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ ΣΤΗΝ ΘΕΣΣΑΛΙΑ. ΣΤΟΙΧΕΙΑ 1996

Θ.Α.Γέμιος¹, Βλ. Δέμης², Αθ. Αλεξάνδρου³, Χρ. Καραμούτης⁴

¹Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Βόλος

²Γεωπόνος, ΕΒΖ, Εργοστάσιο Λάρισας

³Διδάκτωρ Γεωργικής Μηχανολογίας

⁴Γεωπόνος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετρήσεων των απωλειών κατά την μηχανική συγκομιδή ζαχαρότευτλων που έγιναν στην Θεσσαλία το 1996. Έγινε ανάλυση του σχήματος των ριζών και στα στοιχεία προσαρμόστηκαν εξισώσεις που δίνουν το ποσοστό απωλειών από υποκορύφωση και θραύση της ουράς με βάση το πάχος της υποκορύφωσης και την μέγιστη διάμετρο της ουράς. Με μετρήσεις στο χωράφι εκτιμήθηκαν οι απώλειες από τεύτλα στην επιφάνεια του χωραφιού ενώ ανάλυση δειγμάτων από τα οχήματα μεταφοράς στο εργοστάσιο έδωσε το ποσοστό απωλειών από αποκορύφωση και από θραύσεις τεύτλων που έμειναν στο έδαφος. Οι απώλειες αποκορύφωσης (που ουσιαστικά είναι ξένες ύλες από υποκορύφωση) κυμάνθηκαν από 6.5 έως 15.5%, των ουρών που έμειναν στο έδαφος από 5.4 έως 13.8% και των ριζών στην επιφάνεια του εδάφους από 67.3 έως 654.7 κιλά/στρέμμα (673-6547 kg/ha). Μετρήσεις θεωρητικής απόδοσης με εξαγωγή με τα χέρια και πραγματικής με βάση το ζύγισμα στο εργοστάσιο έδωσε εκτίμηση απωλειών από 4.1 έως 63%. Η έρευνα έδειξε ότι οι απώλειες κατά την μηχανική συγκομιδή των ζαχαρότευτλων είναι υψηλές και κυμαίνονται σε ευρέα όρια κάτι που υποδεικνύει περιθώρια βελτίωσης.

Λέξεις Κλειδιά: Ζαχαρότευτλα, Μηχανική Συγκομιδή, Απώλειες

LOSSES INCURRING DURING SUGAR BEET MECHANICAL HARVESTING IN THESSALY, GREECE. DATA 1996

T.A.Gemtos¹, Vl. Demis², Ath. Alexandrou³, Chr. Karamoutis⁴

ABSTRACT

The results of measurements of sugar beet losses during mechanical harvesting in 1996 are presented in this paper. An analysis of root shape was carried out and equations were fitted to the data which gave the percentage losses from under-topping and root breakages in the soil. The losses of roots on soil surface were estimated by field measurements while analysis of root samples from the transportation platforms using the equations relating the dimensions of under-topping and tail diameter to the losses gave the relevant losses. Under-topping losses range was 6.5 to 15.5%, of losses of tails due to root breakages in the soil 5.4 to 13.8% and roots on the soil 67.3 to 654.7 kg/stremma (673-6547 kg/ha). Measurement of theoretical yield by hand harvesting and the effective yield from platform weighing in the factory showed losses ranging from 4.1 to 63%. The research showed that losses are high with a high variation which is an indication of an improvement potential.

Key words: Sugar Beet, Mechanical Harvesting, Losses

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκομιδή των ζαχαρότευτλων περιλαμβάνει την αποκορύφωση, την εκρίζωση, τον καθαρισμό και το φρόντωμα των ριζών στα οχήματα μεταφοράς. Οι εργασίες αυτές μπορούν να γίνουν από μια μηχανή (ενός σταδίου) ή από περισσότερες που περνούν διαδοχικά από το χωράφι (πολλαπλών σταδίων). Οι απώλειες κατά την μηχανική συγκομιδή των ζαχαρότευτλων χαρακτηρίζονται:

1. Απώλειες αποκορύφωσης που περιλαμβάνουν τις αποκλίσεις από το ζητούμενο επίπεδο κοπής και απομάκρυνσης των κορυφών. Το επίπεδο αυτό ορίζεται από τις ουλές των φύλλων των τεύτλων. Κοπή πάνω από το επίπεδο χαρακτηρίζεται ως υπό-κορύφωση που είναι ανεπιθύμητη από την βιομηχανία λόγω περιεκτικότητας ιμβερτο-σακχάρων που δυσκολεύουν την κρυστάλλωση. Κοπή κάτω από το επίπεδο χαρακτηρίζεται ως υπέρ-κορύφωση και είναι μια απώλεια παραγωγής που αφήνεται ως λίπασμα στο χωράφι ή χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή.
2. Απώλειες τεύτλων στην επιφάνεια του εδάφους. Κάθε τεύτλο ή μέρος του που δεν οδηγείται στο όχημα μεταφοράς και παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους κατατάσσεται σε αυτή την κατηγορία απωλειών.
3. Απώλειες ολόκληρων ή μέρους τεύτλων που δεν εκρίζώνονται από τον μηχανισμό εκρίζωσης ή σπάζουν κατά την εξαγωγή και παραμένουν στο έδαφος.
4. Ξένες ύλες που είναι το χώμα κλπ που συγκεντρώνονται μαζί με τα τεύτλα και μεταφέρονται στο εργοστάσιο

Πολλές μελέτες εκτίμησης των απωλειών κατά την συγκομιδή των ζαχαρότευτλων έχουν πραγματοποιηθεί και δημοσιευτεί στην Ευρώπη. Το 1970-74 μια εκτεταμένη μελέτη των απωλειών των τεύτλων έγινε από την Βρετανική Βιομηχανία Ζαχάρως. Τα αποτελέσματα για τα έτη 71,72 και 73 παρουσιάστηκαν από τον Maughan¹ και από τον Davis². Οι απώλειες από σπασμένα τεύτλα μέσα στο έδαφος ήταν πάνω από 60% των συνολικών απωλειών που ισοδυναμούσε με 5% της παραγωγής. Με απώλειες στην επιφάνεια 2 έως 3% και απώλειες από υπερ-κορύφωση που εκτιμήθηκαν στο ίδιο διάστημα στο 5% περίπου³ το σύνολο των απωλειών ζαχαρότευτλων στο Ηνωμένο Βασίλειο κατά την μηχανική συγκομιδή συμποσούνται στο 12 έως 13% της συνολικής παραγωγής. Στην επίδειξη της Βρετανικής Βιομηχανίας Ζαχάρως το 1993⁴ στην εκτίμηση των απωλειών που έγινε από διάφορες μηχανές διαπιστώθηκε ότι οι απώλειες στην επιφάνεια του εδάφους ήταν κατά μέσο όρο 0,97 τόνοι το εκτάριο, οι απώλειες κάτω από το έδαφος 1,07 τόνοι το εκτάριο και το σύνολο των απωλειών ήταν 2,04 που αντιστοιχεί κατά μέσο όρο στο 2,94% της παραγωγής. Το εύρος των απωλειών κυμάνθηκε από 1,74 έως 4,78 %. Οι ξένες ύλες από χώματα κολλημένα στα τεύτλα ήταν κατά μέσο όρο 7,5% με μια διακύμανση από 3,3 έως 15,7%.

Στις μελέτες του Γαλλικού Ινστιτούτου των Ζαχαρότευτλων⁵ η εκτίμηση των απωλειών γίνεται με λήψη δείγματος τεύτλων από τα οχήματα μεταφοράς. Τα τεύτλα αφού καθαρισθούν και εκπιηθούν οι ξένες ύλες κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με την ποιότητα αποκορύφωσης και το πάχος του κάτω άκρου της ρίζας που είναι ουσιαστικά το πάχος της ουράς που κόβεται (σπάξει) και παραμένει στο έδαφος. Η ποιότητα αποκορύφωσης χαρακτηρίζεται από το πάχος της κορυφής πάνω ή κάτω από το θεωρητικά άριστο επίπεδο κορύφωσης. Από προηγούμενες μελέτες η κάθε κατηγορία αντιστοιχεί σε ποσοστό βάρους υπο-κορυφωμένου τμήματος ως προς το σύνολο της ρίζας και με τον τρόπο αυτό γίνεται έμμεση εκτίμηση της ποσότητας που εκφράζεται ως ποσοστό της παραγωγής. Η απώλεια της ουράς εκφράζεται σε ποσοστό τεύτλων του δείγματος που έχουν ουρές πάχους από 0 έως 2 εκατοστά, 2 έως 4 εκατοστά, 4 έως 6 εκατοστά, 6 έως

8 εκατοστά και πάνω από 8 εκατοστά. Πάλι από ειδικές μελέτες που έχουν προηγηθεί το κάθε κλάσμα αντιστοιχεί σε απώλεια % της παραγωγής. Από τα πεπραγμένα του Ινστιτούτου φαίνεται ότι σε ελέγχους με διάφορες μηχανές και για 4 ποικιλίες οι απώλειες κυμάνθηκαν: Για το ποσοστό της ρίζας για υπο-κορύφωση στο 4,4 έως 9,9% (ξένες ύλες από υπο-κορύφωση), απώλειες σπασμένων τεύτλων (ουράς) από 0,24 έως 2,10%. Ξένες ύλες (έδαφος κολλημένο στην ρίζα) ως ποσοστό της ρίζας 13,25 έως 27,4%. Ανάλογη μέθοδο εκτίμησης ακολουθεί και το Ολλανδικό Ινστιτούτο Ζαχαροτεύτλων⁶. Σε αποτελέσματα μιας επίδειξης μηχανών στη Γαλλία⁷ οι μηχανές είχαν απώλειες από θραύσεις των ριζών μέσα στο έδαφος που κυμαίνονταν από 2,3 έως 4,53 τόνους το εκτάριο, απώλειες των τεύτλων στην επιφάνεια του εδάφους που κυμαίνονταν από 0,42 έως 2,65 τόνους το εκτάριο ενώ το σύνολο των απωλειών κυμαίνονταν από 4,8 έως 11,5% της συνολικής παραγωγής. Το ποσοστό των ξένων υλών (χώματος κολλημένου στις ρίζες) κυμαίνονταν από 5,8 έως 10,8%.. Είναι χαρακτηριστικό ότι και στις δύο επίδειξεις, στην Βρετανία και στην Γαλλία οι ταχύτητες των μηχανών ήταν αρκετά χαμηλές με διακύμανση από 2,6 έως 5,1 χιλ/ώρα την ώρα για την επίδειξη στην Βρετανία και από 3,4 έως 6,1 χιλ/μτώρα την ώρα για την επίδειξη στην Γαλλία.

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας φαίνεται ότι οι απώλειες κατά την μηχανική συγκομιδή των ζαχαροτεύτλων κυμαίνονται σε ευρέα όρια κάτι που υποδεικνύει ότι διαφορετικές συνθήκες (κλίματος, φυτείας, εδάφους, μηχανής, χειριστή) προκαλούν σημαντικές διαφορές. Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι οι απώλειες είναι γενικά υψηλές κάτι που υποδεικνύει μια χαμηλή αποτελεσματικότητα των μηχανών. Εργασίες εκτίμησης των απωλειών ζαχαροτεύτλων κατά την συγκομιδή δεν έχουν δημοσιευτεί για την χώρα μας. Το 1996 έγινε μια προσπάθεια από το εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Π.Θ. και την ΕΒΖ, εργοστάσιο Λάρισας, να μετρηθούν οι απώλειες στην περιοχή. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μετρήσεις έγιναν κατά την διάρκεια της συγκομιδής των ζαχαροτεύτλων από τον Σεπτέμβριο μέχρι τον Νοέμβριο του 1996 κάτω από μια ποικιλία καιρικών συνθηκών και μεγέθους τεύτλων. Οι μετρήσεις έγιναν σε χωράφια της περιοχής Πλατυζάμπου - Μόδεστου του Ν. Λάρισας, Βελεστίου και Στεφανοβικείου του Ν. Μαγνησίας.

Κατ' αρχήν έγινε ανάλυση του σχήματος των τεύτλων. Δείγμα 15-20 τεύτλων από μία σειρά, ελήφθη με εξαγωγή με τα χέρια από διάφορα χωράφια. Το δείγμα μετά την αφαίρεση των φύλων μεταφέρθηκε στο εργαστήριο για ανάλυση του σχήματος. Μετά από ζύγισμα του τεύτλου, με ειδικό μαχαίρι κόπηκαν φέτες διαφόρων διαστάσεων και πάχους. Οι φέτες κόπηκαν πάνω και κάτω από το επίπεδο κορύφωσης (επίπεδο ουλών τεύτλων) καθώς και από την ουρά. Σε κάθε φέτα μετρήθηκε το πάχος, η διάμετρος και το βάρος της και σε κάθε τεμάχιο ουράς μετρήθηκε η διάμετρος και το βάρος. Σε κάθε τεύτλο μετρήθηκαν:

1. Η μέγιστη διάμετρος
2. Η θέση του επιπέδου κορύφωσης
3. Το ποσοστό βάρους ρίζας από αποκορύφωση (υπέρ- ή υπό-) διαφόρου πάχους.
4. Το ποσοστό βάρους τεύτλων από μέρη της ρίζας από την πλευρά της ουράς για μέγιστες διαμέτρους 2,3,4,5 εκατοστών.

Μετρήσεις της θεωρητικής απόδοσης των ζαχαροτεύτλων έγιναν σε ορισμένους αγρούς με ε-

ξαγωγή με τα χέρια σε επιφάνεια άνω των 40 m². Οι μετρήσεις αρχικά προγραμματίστηκαν να γίνονται στο ίδιο χωράφι με τις μετρήσεις των απωλειών. Προέκυψαν όμως δυσκολίες συντονισμού των συνεργείων και το σχέδιο δεν εφαρμόστηκε πλήρως. Τελικά, μια σειρά μετρήσεων έγινε σε τυχαίους αγρούς και μια άλλη σε αγρούς με συγκεκριμένες ποικιλίες. Επί πλέον στα χωράφια από τα οποία ελήφθησαν δείγματα με τα χέρια έγινε εκτίμηση της παραγωγής που παραδόθηκε στο εργοστάσιο και υπολογίστηκε το ποσοστό των απωλειών.

Δείγματα τεύτλων ελήφθησαν κατά την συγκομιδή από το όχημα μεταφορής στο εργοστάσιο και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο. Εκεί αφού ζυγίστηκαν, καθαρίστηκαν καλά με νερό. Εν συνεχεία τα τεύτλα κορυφώθηκαν με μαχαίρι στο επιθυμητό επίπεδο και τα τμήματα της υπό-κορυφώσεως χωρίστηκαν από το υπόλοιπο. Το πάχος των φετών των τεύτλων μετρήθηκε και καταγράφηκε. Η υπέρ-κορυφώση είναι θεωρητικά ίση ως προς το πάχος του υλικού με την υπό-κορυφώση. Στις συνθήκες όμως της χώρας μας, αλλά και στην Γαλλία όπως φαίνεται από την βιβλιογραφία, η ρύθμιση των μηχανών προκαλεί σημαντική υπο-κορυφώση και αμελητέες περιπτώσεις υπέρ-κορυφώσεως.

Κατά την λειτουργία της μηχανής και αφού μαζεύτηκαν αρκετές σειρές, σε τμήματα μήκους και πλάτους 10 μ καθαρίστηκε το έδαφος από ριζες, κορυφές φύλα κλπ. Κατά το επόμενο πέρασμα της μηχανής συγκεντρώνονταν όλα τα τμήματα τεύτλων, ή ολόκληρα τεύτλα που αφέθηκαν από την μηχανή στην επιφάνεια του εδάφους. Το υλικό αφού καθαρίστηκε, ζυγίστηκε και έγινε αναγωγή της απώλειας ανά μονάδα επιφάνειας

Η εκτίμηση των σπασμένων τεύτλων στο έδαφος έγινε από το δείγμα τεύτλων που ελήφθη από το όχημα μεταφορής. Στα τεύτλα του δείγματος μετρήθηκε η κατώτερη διάμετρος της ρίζας. Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης του σχήματος των ριζών και την συσχέτιση με το ποσοστό βάρους του τεύτλου έγινε η εκτίμηση της απώλειας επί τοις εκατό της παραγωγής από σπασμένα τεύτλα στο έδαφος.

Με βάση τις πιο πάνω μετρήσεις έγινε εκτίμηση:

- Της αντιστοιχίας επιπέδου υπέρ- και υπό- κορυφώσεως με ποσοστό απωλειών
- Της αντιστοιχίας διαμέτρου θραύσης των τεμαχίων και ποσοστού απώλειας τεύτλων
- Του ποσοστού απωλειών από υπέρ- και υπό- κορυφώση % της παραγωγής
- Της ποσότητας απωλειών των τεύτλων πάνω στο έδαφος
- Του ποσοστού απωλειών των τεύτλων μέσα στο έδαφος

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πιν. 1 φαίνονται οι εξισώσεις συσχέτισης του πάχους των τμημάτων πάνω και κάτω από το θεωρητικό επίπεδο αποκορυφώσεως με το ποσοστό βάρους των ριζών. Οι εξισώσεις δίνουν ουσιαστικά την συσχέτιση του πάχους της φέτας με το ποσοστό απωλειών από υπέρ ή υπό κορυφώση. Επί πλέον δίδεται η συσχέτιση της διαμέτρου της ουράς με το ποσοστό του βάρους του τεύτλου που αναλογεί με το ποσοστό απωλειών από θραύση τμήματος της ρίζας που παραμένει στο έδαφος. Οι συντελεστές συσχέτισεως κυμαίνονται από 0,62 έως 0,99 και οι εξισώσεις δεν διαφέρουν ιδιαίτερα μεταξύ τους. Στον Πίν. 2 δίδεται η εκτίμηση των απωλειών από τις διάφορες εξισώσεις για το εύρος του πάχους υποκορυφώσεως και ουρών που αναμένεται να εμφανιστούν στην πράξη. Όπως φαίνεται οι διακυμάνσεις από τις διαφορές στο σχήμα των τεύτλων δεν είναι πολύ μεγάλες. Στον Πιν. 2 φαίνονται και τα στοιχεία από αντίστοιχες μετρήσεις στην Ολλανδία που είναι παρόμοια με τα Ελληνικά. Στον Πιν. 3 φαίνονται στοιχεία για τις απώλειες από

θραύση ριζών καθώς και στοιχεία από την Ολλανδία. Μια σύγκριση των στοιχείων δείχνει ότι για διαμέτρους 20-40 mm οι εξισώσεις της παρούσας εργασίας υπερτιμούν τις απώλειες ενώ στο διάστημα 40-60 και άνω τις υποτιμούν. Αυτό υποδεικνύει ότι τα τεύτλα της περιοχής είναι περισσότερο επιμήκη από τα Ολλανδικά. Με βάση τις εξισώσεις αυτές έγινε η ανάλυση των δειγμάτων που ελήφθησαν από τα οχήματα μεταφοράς και εκτιμήθηκαν οι απώλειες κατά την μηχανική συγκομιδή.

Πίνακας 1. Εξισώσεις από την ανάλυση των μερών του τεύτλου για εκτίμηση ποσοστού απωλειών, κατά την μηχανική συγκομιδή.

Είδος απώλειας	Ποικιλία	Εξίσωση	R
Υποκορύφωση	Διάφορες	$4,00 + 0,33 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,63
	Διάφορες	$1,78 + 0,35 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,62
	Διάφορες	$3,91 + 0,39 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,80
	Διάφορες	$3,77 + 0,32 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,73
	Bingo	$4,34 + 0,38 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,94
	Rizor	$3,51 + 0,31 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,66
	Cave Duca	$3,67 + 0,45 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,88
Υπερκορύφωση	Διάφορες	$0,79 + 0,83 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,84
	Διάφορες	$1,90 + 0,92 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,79
	Διάφορες	$0,18 + 0,82 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,84
	Διάφορες	$2,67 + 0,73 * \text{Πάχος Κορυφής}$	0,88
Ουρές	Διάφορες	$0,53 + 0,16 * \text{Διαμ. Ουράς}$	0,67
	Διάφορες	$0,88 + 0,13 * \text{Διαμ. Ουράς}$	0,62
	Διάφορες	$0,90 + 0,95 * \text{Διαμ. Ουράς}$	0,89
	Διάφορες	$0,99 + 0,15 * \text{Διαμ. Ουράς}$	0,70
	Bingo	$1,73 + 0,08 * \text{Διαμ. Ουράς}$	0,90
	Rizor	$0,90 * \text{Διαμ. Ουράς} - 0,56$	0,80
	Cave Duca	$0,40 * \text{Διαμ. Ουράς} - 0,59$	0,73
Turbo	$1,28 + 0,08 * \text{Διαμ. Ουράς}$	0,98	

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τις 16/9 έως την 10/11/96. Οι μηχανές ήταν όλες ενός σταδίου. Ιταλικής κατασκευής μίας ή δύο σειρών. Είχαν όλες σύστημα κοπής των φύλλων πριν από την κορύφωση. Το σύστημα εκρίζωσης ήταν με σταθερά υνιά. Οι μετρήσεις έγιναν αρχικά κάτω από σχετικά ξηρές συνθήκες και αργότερα κάτω από υγρές. Πρέπει να σημειωθεί ότι το φθινόπωρο του 1996 ήταν γενικά υγρό με ιδιαίτερα υγρό τον Σεπτέμβριο ενώ ο Νοέμβριος ήταν ξηρότερος. Τα χωράφια του δείγματος ήταν επίπεδα στις περιοχές Μόδεστου, Στεφανοβικείου και ιδιαίτερα επικλινή στην περιοχή Βελεστίνου (Μικρό Περιβολάκι, Μεγάλο Μοναστήρι κλπ).

Πίνακας 2. Εκτίμηση των απωλειών από υποκορύφωση και θραύση ριζών στο έδαφος σύμφωνα με τις εξισώσεις του πίνακα 1 και μετρήσεις στην Ολλανδία.

Πάχος υπο- κορύφωσης	Διάφορες Ποιζιλίες 1	Διάφορες Ποιζιλίες 2	Διάφορες Ποιζιλίες 3	Διάφορες Ποιζιλίες 4	bingo	rizor	cave duca	turbo	Ολλανδία
10	7.3	5.3	7.8	7.0	8.2	6.6	8.2	6.2	6.7
20	10.6	8.7	11.7	10.2	12.0	9.8	12.7	9.5	10.6
30	13.8	12.2	15.6	13.4	15.8	12.9	17.1	12.2	12.6
40	17.1	15.7	19.5	16.7	19.7	16.0	21.6	14.6	13.3

Πίνακας 3. Εκτίμηση των απωλειών από υποκορύφωση και θραύση ριζών στο έδαφος σύμφωνα με τις εξισώσεις του πίνακα 1 και μετρήσεις στην Ολλανδία.

Πάχος ουράς	Διάφορες Ποιζιλίες 1	Διάφορες Ποιζιλίες 2	Διάφορες Ποιζιλίες 3	Διάφορες Ποιζιλίες 4	bingo	rizor	cave duca	turbo	Ολλανδία
20	3.73	3.48	3.89	2.80	3.27	4.80	2.31	2.88	0
30	5.33	4.78	5.34	3.74	4.04	6.03	2.93	3.68	
40	6.93	6.08	6.79	4.69	4.81	7.08	3.47	4.48	3
50	8.53	7.38	8.24	5.64	5.58	8.02	3.96	5.28	
60	10.13	8.68	9.69	6.59	6.35	8.88	4.41	6.08	10
70	11.73	9.98	11.14	7.54	7.12	9.68	4.83	6.88	
80	13.33	11.28	12.59	8.48	7.89	10.44	5.23	7.68	21

Στον Πιν. 4 φαίνονται τα στοιχεία εκτίμησης των απωλειών κατά την μηχανική συγκομιδή των τεύτλων κατά την περίοδο του Σεπτεμβρίου 1996. Η πρώτη σημαντική παρατήρηση είναι ότι τα τεύτλα ήταν κατά κανόνα υπο-κορυφωμένα. Ενώ στις μετρήσεις της βιβλιογραφίας για τις συνθήκες της Βρετανίας³, υπολογίζεται ότι το πάχος των τεμαχίων της υπο-κορύφωσης είναι το ίδιο με το πάχος υπερ-κορύφωσης λόγω της μέσης ρύθμισης της απόστασης μαχαίριού βάσης αισθητήρα-ψηλαφητή των κορυφών των τεύτλων. Στις Ελληνικές συνθήκες παρατηρείται ότι το μαχαίρι είναι ρυθμισμένο με μικρό διάκενο. Το αποτέλεσμα είναι τα τεύτλα να είναι υπο-κορυφωμένα στο σύνολό τους. Όπως φαίνεται από τον πίνακα το ποσοστό των επί πλέον ριζών που μεταφέρεται στο εργοστάσιο χωρίς να είναι επιθυμητό κυμαίνεται από 6,50 έως 15,34 %. Είναι προφανές ότι απώλεια από υπερ-κορύφωση δεν υπάρχει. Οι απώλειες της ουράς δηλαδή των τμημάτων του τεύτλου που θραύονται και παραμένουν στο έδαφος κυμαίνεται από 5,40 έως 13,77% ενώ η ποσότητα των τεύτλων που αφέθηκαν στην επιφάνεια του χωραφιού κυμαίνεται από 67 έως 660 κιλά το στρέμμα. Οι απώλειες τεύτλων στην επιφάνεια του χωραφιού δεν είναι δυνατόν να αναχθούν σε ποσοστό επί της παραγωγής γιατί η ακριβής εκτίμηση της τελευταίας δεν έγινε λόγω αδυναμίας συντονισμού των συνεργείων μέτρησης. Προσπάθεια έμμεσης εκτίμησης από τις παραδόσεις τεύτλων στην Βιομηχανία δεν κατέστη επίσης δυνατή διότι οι παραγωγοί παραδίδουν την παραγωγή σε διαφορετικά ονόματα από το ίδιο χωράφι. Αν δεχτούμε την χονδρική

εκτίμηση του παραγωγού και του χειριστή της μηχανής που δίνουν για όλα τα τεμάχια παραγωγή 6.500-7.000 κιλά το στρέμμα τότε οι απώλειες κυμαίνονταν από 1 έως 10% περίπου. Η απώλεια των 660 κιλών το στρέμμα καταγράφηκε σε χωράφι με ξηρές συνθήκες, ανομοιομορφη κατανομή των ριζών στο χωράφι και τεύτλα ανεπτυγμένα έξω από το έδαφος. Στις άλλες περιπτώσεις με κανονικές συνθήκες οι απώλειες κυμάνθηκαν γύρω στο 5% που θεωρούνται λογικές.

Πίνακας 4. Συνολικές απώλειες κατά την μηχανική συγκομιδή των ζαχαροτεύτων το 1996.

A/A	Απώλειες Υποκορύφωσης %	Απώλειες Ουράς%	Απώλειες στην επιφάνεια χωραφιού kg/στρέμμα
1.	12,31	5,40	255
2.	11,67	6,90	654,67
3.	15,34	9,10	67,3
4.	12,16	6,2	346,8
5.	10,1	13,77	312,55
6.	8,7	9,52	225
7.	6,5	6,8	247,5
8.	7,5	7,8	180,7
9.	7	8,3	192

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων έγινε μια σειρά παρατηρήσεων για την λειτουργία των μηχανών. Στις μετρήσεις του Πιν.4, παρατηρήθηκε ότι κατά την λειτουργία στα κεφαλάρια πολλές καθυστερήσεις σημειώθηκαν από εμπλοκές από σχετικά μεγάλες πέτρες. Επίσης σε διάφορους αγρούς παρατηρήθηκε ότι όταν οι αποθήκες των μηχανών γέμιζαν κοντά στην άκρη του χωραφιού πριν από την έξοδο από την σειρά οι χειριστές αντί να αδειάζουν στο μέσο της διαδρομής χωρίς να γεμίσει η αποθήκη προτιμούσαν να ανοίγουν την παραπέτα της μηχανής για να αυξήσουν την χωρητικότητα της αποθήκης. Το αποτέλεσμα ήταν τεύτλα να εκτοξεύονται έξω από την μηχανή στο χωράφι και να αυξάνουν τις απώλειες στην επιφάνεια του χωραφιού. Μια άλλη παρατήρηση έγινε σε πολύ επικλινή εδάφη. Μηχανές μικρής ισχύος προκαλούσαν θραύσεις τεύτων στο έδαφος λόγω μικρού βάθους εργασίας των εργαλείων εκρίζωσης. Αυτό παρατηρήθηκε σε χωράφι όπου εργάζονταν ταυτόχρονα δύο μηχανές με διαφορετική ισχύ. Η μηχανή με μικρότερη ισχύ εμφάνιζε υψηλότερο ποσοστό σπασμένων τεύτων που σημαίνει υψηλότερες απώλειες από ουρές σπασμένες στο έδαφος.

Στον Πιν. 5 φαίνονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης των απωλειών με βάση την θεωρητική παραγωγή (εξαγωγή με τα χέρια) και της ποσότητας που παραδόθηκε στην βιομηχανία. Το εύρος της απώλειας είναι πολύ μεγάλο. Είναι αξιοσημείωτες οι μικρές απώλειες στα ιδιόκτητα χωράφια των ιδιοκτητών των μηχανών που υποδεικνύει σημαντικό περιθώριο βελτίωσης της κατάταξης με βελτίωση των ρυθμίσεων και πιθανόν της ταχύτητας εργασίας.

Πίνακας 5. Εκτίμηση των απωλειών κατά την μηχανική συγκομιδή των ζαχαροτεύλων με βάση την θεωρητική απόδοση από εξαγωγή με τα χέρια και την πραγματική. Στοιχεία 1996.

ΗΜ/ΝΙΑ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ	Μέση Απόδοση/ στο. ΧΕΡΙΑ	Μέση Απόδοση/ στο. ΜΗΧΑΝΗ	% ΑΠΩΛΕΙΑ	ΤΥΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ	ΠΑΡΑΤΗ- ΡΗΣΕΙΣ
2/11	5,670	4,987	12,04	BARIGELLI	ιδιοκτήτης μηχανής
31/10	7,404	6,222	15,96	BARIGELLI	
22/11	8,633	6,750	21,81	BARIGELLI	ιδιοκτήτης μηχανής
5/11	9,217	6,148	33,30	BARIGELLI	
20/11	5,226	1,927	63,12	BARIGELLI	Πολύ μικρά τεύλα
7/11	6,198	5,939	4,18	BARIGELLI	ιδιοκτήτης μηχανής
3/11	7,117	6,262	12,01	BARIGELLI	
21/11	9,076	5,150	43,25	BARIGELLI	
1/11	8,540	8,189	4,11	RIMECO	προσεκτικός χειριστής
4/11	8,046	6,990	13,12	RIMECO δίσειρη	ιδιοκτήτης μηχανής
18/9	9,053	6,128	32,30	RIMECO δίσειρη	
11/9	8,820	6,595	25,22	ITALOSVIT ZERA δίσειρη	

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν από μετρήσεις μιας περιόδου μπορεί να λεχθεί ότι οι απώλειες στην χώρα μας είναι ιδιαίτερα υψηλές. Τα τεύλα οδηγούνται στην βιομηχανία κατά κανόνα υποκορυφωμένα και θα πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση αυτής της πρακτικής στην απόδοση σε ζάχαρη. Το σύνολο των απωλειών σε εμπορεύσιμες ρίζες είναι ιδιαίτερα υψηλό και κυμαίνεται από 10 έως και 19% της παραγωγής. Αναμφίβολα σημαντική είναι η επίδραση παραγόντων όπως:

- η τοπογραφία του χωραφιού
- η ομοιομορφία της φυτείας
- η ανάπτυξη των ριζών
- η υγρασία του εδάφους
- πέτρες στο έδαφος
- κατάσταση της μηχανής από πλευράς συντήρησης και η ισχύς της μηχανής της

Σημαντικός παράγοντας όμως είναι ο ίδιος ο χειριστής της μηχανής. Πολλές πρακτικές διευκολύνσεις της εργασίας και αύξησης της απόδοσης των μηχανών έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στη

απώλειες. Η διερεύνηση των στοιχείων αυτών απαιτεί λεπτομερέστερη μελέτη των παραγόντων που καθορίζουν την ποιότητα συγκομιδής και πιθανόν να δώσει στοιχεία για την ελαχιστοποίηση των απωλειών.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Maughan GL (1974) Too Many Beet Left in our Fields. British Sugar Beet Review.
2. Davies NB (1976) The Minimisation of Crop Losses Associated with Sugar Beet Harvesting. Paper Presented by H T Hearn at the Autumn National Conference of the Institution of Agricultural Engineers.
3. O' Dogherty MJ. (1976) The Mechanics of a Sugar Beet Topper. Unpublished PhD Thesis. University of Reading.
4. Hollowell B. (1993) The Harvester Demo: "The perfect platform for sugar beet UK". British Sugar Beet Review Vol 61 (3) p 19.
5. Institut Technique Francais de la Betterave Industriel (1988) Compte Rendue des Travaux, Paris.
6. Rooidemo '95 (1995) Catalogus bietenrooindemonstretic, 25 October 1995 te Numarsdorp (Φυλλάδιο για την επίδειξη του 1995 με αναφορά σε στοιχεία του Ολλανδικού Ινστιτούτου Ζαχαρότευπλων).
7. Institut Technique Francais de la Betterave Industriel (1991) Compte Rendue des Travaux, Paris 1991.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΠΙΣΠΟΡΟΥ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΕΙΑΝ ΣΠΟΡΑΣ

Δρ. Αναστάσιος Σ. Λιθουργίδης¹, Κων/νος Α. Τσατσαρέλης²

¹Προϊστάμενος Γεωργικού Τμήματος του Αγροκτήματος του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
²Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σύστημα της κατευθείαν σποράς σε ακαλλιέργητο έδαφος ή μηδενικής κατεργασίας ή ακαλλιέργειας χρησιμοποιείται από πολλά χρόνια σε χώρες της Ευρώπης και στις Η.Π.Α. σε πολλές καλλιέργειες. Στη χώρα μας εφαρμόστηκε κατά καιρούς σε πειραματικό μόνο επίπεδο.

Για να μελετηθεί η απόδοση και το ενεργειακό κόστος καλλιέργειας της κατευθείαν σποράς επίσπορου αραβοσίτου για ενσίρωση σε ακαλλιέργητο έδαφος, εγκαταστάθηκε στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ένα πείραμα δύο επεμβάσεων με 10 επαναλήψεις. Στη μία επέμβαση εφαρμόστηκε η τεχνική της κατευθείαν σποράς πάνω στην καλαμιά με ειδική σπαστική μηχανή, ενώ στην άλλη η συνήθης εφαρμοζόμενη τεχνική μειωμένης κατεργασίας.

Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι ο συνολικός αριθμός των φυτών στο στρέμμα, καθώς και η απόδοση σε φυτομάζα δεν διέφερε στατιστικώς σημαντικά μεταξύ των δύο καλλιεργητικών τεχνικών. Όσον αφορά την ανάλυση χρόνων και καυσίμου παρατηρήθηκε ότι κατά τη φάση της προετοιμασίας και σποράς υπάρχει σημαντική οικονομία χρόνου, καυσίμου και εισροών ενεργείας στα τεμάχια της κατευθείαν σποράς.

MAIZE FOR SILAGE WITH NO-TILLAGE TECHNIQUE

Dr. A.S. Lithourgidis, C.A. Tsatsarelis

ABSTRACT

No-tillage or direct drilling techniques is used in USA and Europe since many years for winter cereals, corn for grain or for silage and other crops. Only few greek farmers have recently adopted this techniques even though the widely recognised advantages of soil conservation by vastly reduced erosion and the reduced energy, time and labor.

In order to study the impact of the crop establishment techniques to crop yields experiments were carried out at the experimental farm of the University of Thessaloniki. Experiments were established with two treatments (direct drilling and reduced cultivation) and ten replications.

The results are: There are not statistic differences concerning the biomass of maize (yield) between the two techniques e.g. direct drilling and reduced cultivation. There are considerable savings in time, labour, fuel and energy inputs in direct drilling in establishment operations, while in all field operations there are not differences due to important energy inputs mainly for irrigation and secondly for applying fertilizers and for harvesting.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα της κατευθείαν σποράς σε ακαλλιέργητο έδαφος ή μηδενικής κατεργασίας του εδάφους ή ακαλλιέργειας (no-tillage ή zero-tillage) όπως είναι γνωστό χρησιμοποιείται από

πολλά χρόνια στις ΗΠΑ και σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε πολλές καλλιέργειες. Συνήθως χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες αραβοσίτου για καρπό και ενσίρωση, χειμερινών σιτηρών και λιγότερο σε ζαχαρότευτλα, σόγια, ηλίανθο και άλλα (Trochard and Lajoux, 1994, Triplett, G.B. 1986, Boisgontier et al. 1994, 1995, 1996, Allmaras et al. 1994, Lal et al. 1994). Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους προτιμάται η μέθοδος είναι η προστασία των εδαφών από διάβρωση, η διατήρηση της δομής και παραγωγικότητας του εδάφους, η μείωση του κόστους των προϊόντων με μείωση του χρόνου που απαιτείται για την εγκατάσταση των καλλιεργειών και του καυσίμου που καταναλώνεται (Sprague M.A., 1986, Griffith et al. 1986, Vyn et al. 1994, Tebrugge and Wagner, 1995, Gross U., 1995, Boiffin and Monnier, 1991). Οι αποδόσεις των φυτών, μετά από εμπειρία πολλών ετών, φαίνεται ότι ουσιαστικά δεν υστερούν έναντι των αντίστοιχων με τις παραδοσιακές μεθόδους κατεργασίας ή και μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. Ορισμένες φορές οι αποδόσεις είναι μειωμένες, άλλες φορές αντίστοιχες και ορισμένες υψηλότερες έναντι των παραδοσιακών συστημάτων. Δεν υπάρχει επαρκής εξήγηση της συμπεριφοράς αυτής αν και τα τελευταία χρόνια γίνεται αποδεκτό ότι η μηχανική σύσταση και η υγρασία του εδάφους μαζί με τη θερμοκρασία που επηρεάζουν την εποχή της εγκατάστασης της καλλιέργειας επηρεάζουν σημαντικά τις αποδόσεις. Γενικώς, καλώς στραγγιζόμενα και θερμά κατά την περίοδο αυτή εδάφη δίνουν αποδόσεις με το σύστημα της μηδενικής κατεργασίας ίσες ή υψηλότερες, απ' ό,τι με τις παραδοσιακές μεθόδους. Αντίθετα υγρά, βαριά και μη καλώς στραγγιζόμενα εδάφη, κυρία κατά την εποχή της σποράς, δίνουν μικρότερες (Besnard A., 1994, Caneil and Bodet, 1991, Grosson et al., 1986; Lal et al., 1994, Ehlers and Clanpein, 1994, Boisgontier et al., 1994, Tsatsarelis C.A. 1996).

Στη χώρα μας η μέθοδος της κατευθείαν σποράς σε ακαλλιεργητο έδαφος εφαρμόστηκε κατά καιρούς μόνο πειραματικά από ιδρύματα ερευνής τόσο σε χειμερινά σιτηρά όσο και σε καλαμπόκι, με αποδόσεις που δεν διέφεραν από εκείνες των παραδοσιακών μεθόδων. Δυστυχώς η τεχνική δεν βρήκε ακόμη ευρεία εφαρμογή από τους γεωργούς. Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη νέων ειδικών μηχανημάτων πολύ αποτελεσματικών για κατευθείαν σπορά σε ακαλλιεργητο έδαφος τόσο σε χειμερινές όσο και για εαρινές καλλιέργειες, παράλληλα και με την δημιουργία και εφαρμογή αποτελεσματικότερων φυτοφαρμάκων για την καταπολέμηση των ζιζανίων και με την υποστήριξη προγραμμάτων από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αναζωπυρώθηκε πάλι το ενδιαφέρον για τη μέθοδο αυτή. Τα τελευταία 3-4 χρόνια η μέθοδος άρχισε να βρίσκει εφαρμογή κυρίως στη Β. Ελλάδα σε καλλιέργειες σιτηρών και καλαμποκιού με την υποστήριξη και βιομηχανικών γεωργικών φαρμάκων.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Σε αγροτεμάχιο του Αγροκτήματος του Παν/μίου Θεσ/νίκης εγκαταστάθηκε πειραματικός με καλλιέργεια ελλίπορου αραβοσίτου για ενσίρωση, σε έδαφος CL με pH 8 και οργανική ουσία 1,25. Το πείραμα ήταν δύο επεμβάσεων με 10 επαναλήψεις. Οι δύο επεμβάσεις αφορούσαν τον τρόπο κατεργασίας του εδάφους. Στη μία εφαρμόστηκε το σύστημα της κατευθείαν σποράς και στη δεύτερη το κλασικό συνήθως εφαρμοζόμενο στο αγρόκτημα σύστημα μειωμένης κατεργασίας. Το κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε 8 γραμμές μήκους 40m και αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 0,75m με μιστό εμβαδόν 240m².

Η προηγούμενη καλλιέργεια ήταν χειμερινό σιτάρι που συγκομίστηκε στις 18 Ιουνίου 1997. Αμέσως μετά τη συγκομιδή συλλέχθηκε και δεματοποιήθηκε το άχυρο (περίπου 500 kg/στρέμμα). Το ύψος θερισμού των σιτηρών ήταν 20-25cm.

Στα τεμάχια της κατευθείαν σποράς μετά τη δεματοποίηση του άχυρου επακολούθησε εφάπαξ λίπανση με 24kg N και 7kg P₂O και στη συνέχεια σπορά στις 31/6/1997. Οι αποστάσεις ρυθμίστηκαν σε 75cm μεταξύ των σειρών και 15cm επί των σειρών. Η ποικιλία που σπάρθηκε σ'όλα τα τεμάχια ήταν η Pioneer PR 3245 (Constanza) σε ποσότητα 2,8 kg/στρέμμα. Η σπαστική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε ήταν ειδική για κατευθείαν σπορά, Gaspardo 4 σειρών. Η διάνοιξη των αυλάκων έγινε με δίσκο κυματοειδή ακολουθούμενο από δεύτερο μικρότερο, επίσης κυματοειδή δίσκο. Το διασπαστικό σύστημα αποτελούνταν από διπλό δίσκο για διάνοιξη της αυλακιάς και μηχανικό διασπαστικό σύστημα. Η κάλυψη των σπόρων έγινε με τροχό και ειδική κατασκευή με δύο L κατοπτρικά. Η μηχανή ήταν παλιά 12 ετών αλλά είχε χρησιμοποιηθεί πολύ λίγο και μόνο για επίδειξη.

Στα τεμάχια της κλασικής σποράς μετά τη δεματοποίηση του άχυρου έγινε λίπανση με τις ίδιες ποσότητες και τύπο λιπάσματος όπως και στην κατευθείαν σπορά και επακολούθησε κατεργασία με δισκοσβάρνα βαρέος τύπου, σε βάθος 15 cm και στη συνέχεια με καλλιεργητή. Στη συνέχεια σπορά την ίδια ημέρα με τα τεμάχια της κατευθείαν σποράς, με πνευματική σπαστική καλαμιτοκού Gaspardo 4 σειρών, στις ίδιες αποστάσεις με τις αντίστοιχές της κατευθείαν σποράς.

Μετά τη σπορά εφαρμόστηκε προφυτωτική ζιζανιοκτονία με Lasso AT (Alachlor 33,6% + Atazine 14,4%) σε ποσότητα 500 ml/στρ. Επιπλέον εφαρμόστηκε μεταφυτωτική ζιζανιοκτονία με Rush (rimsulfuron 25%) σε ποσότητα 5 gr/στρ. για την καταπολέμηση του βέλιουρα. Κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου εφαρμόστηκαν 8 αρδεύσεις με κατανοισμό με συνολική ποσότητα νερού 350mm.

Μετρήθηκε ο αριθμός των φυτών (σε τέσσερις διαφορετικές σειρές των 4 μέτρων σε κάθε πειραματικό τεμάχιο), η παραγωγή συνολικής φυτομάζας, ο χρόνος και η κατανάλωση καυσίμου. Η συγκομιδή έγινε στις 14 Οκτωβρίου (περίπου 105 ημέρες μετά τη σπορά). Για τη συγκομιδή χρησιμοποιήθηκε ημυφρόμενη μηχανή ενσίρωσης δύο γραμμών, τύπου Rottinger Mex-profi k.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αριθμός φυτών στο στρέμμα. Σύμφωνα με τις αποστάσεις σποράς ο αριθμός των αναμενόμενων φυτών θα έπρεπε να είναι 8.890. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν φαίνονται στον πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Αριθμός φυτών ανά στρέμμα.

	Μέσος αριθμός φυτών/στρ.	Τυπική απόκλιση	CV%	% αναμενόμενων
Κατευθείαν σπορά	7.666 α*	1.071	14	0,865
Μάρτυρας	8.050 α	509	6	0,906

*Το ίδιο γράμμα δηλώνει διαφορές στατιστικώς μη σημαντικές $p=0,05\%$ (κριτήριο t).

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 1, ο αριθμός των φυτών ανά στρέμμα στα πειραματικά τεμάχια της κατευθείαν σποράς του αραβοσίτου δεν διαφέρει από τον αριθμό των φυτών του μάρτυρα. Αντίθετα, η ανάλυση της παραλλακτικότητας του πειράματος έδειξε ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των επαναλήψεων. Αυτό οφείλεται στο μικρό ποσοστό φυτώματος στη πρώτη ομάδα του πειράματος, γιατί δεν υπήρξε ομοιόμορφη άρδευση αμέσως μετά τη σπορά, με αποτέλεσμα ο αριθμός των φυτών που φύτεψαν να είναι μικρότερος.

Κατά και μετά το φύτεωμα παρατηρήθηκε προωριότερο φύτεωμα και ανάπτυξη των φυτών στα τηλήματα χωρίς καλλιέργεια και αυτό ίσως να οφείλεται στη σκίαση των φυτών και του εδάφους από την προηγούμενη καλλιέργεια (καλαμιά) και συγκράτηση περισσότερης εδαφικής υγρασίας. Με την πρόοδο όμως της ανάπτυξης παρατηρήθηκε ότι τα φυτά του μάρτυρα δεν υστέρησαν ως προς την ανάπτυξη. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε και σε προηγούμενα προκαταρκτικά πειράματα (Τσατσαρέλης, Κ.Α. 1996). Πρέπει πάντως να τονισθεί ότι στους μάρτυρες υπήρχε μεγαλύτερη ομοιομορφία (CV=6%) απ' ό τι στην κατευθείαν σπορά (CV=14%). Αυτό μάλλον οφείλεται στην καλύτερη σταθεροποίηση του βιόθους σποράς των πνευματικών μηχανών και ως εκ τούτου στο ομοιόμορφο φύτεωμα του σπόρου. Μεγαλύτερη ομοιομορφία παρατηρήθηκε στο μάρτυρα επίσης και όσον αφορά τις αποστάσεις των φυτών, αλλά αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στην τεχνική της κατεργασίας όσο και στη διαφορετική τεχνολογία των σπαρτικών μηχανών (πνευματική μηχανή α-κριβείας στους μάρτυρες και απλή μηχανική διασπορά στα τεμάχια της κατευθείαν σποράς).

Απόδοση σε φυτομάζα. Οι αποδόσεις σε φυτική μάζα στο κατάλληλο στάδιο για ενσίρωση φαίνονται στον πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Απόδοση σε φυτομάζα.

	Μέση απόδοση Kg/στρ.	Τυπική απόκλιση	CV %
Κατευθείαν σπορά	3.668α*	799,2	21,7
Μάρτυρες	3.962α	813,9	20,5

*Το ίδιο γράμμα δηλώνει διάφορες στατιστικώς μη σημαντικές για $p=0,05\%$ (κριτήριο t)

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας έδειξε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μόνο μεταξύ των επαναλήψεων, κάτι που πιθανόν οφείλεται στις χαμηλές αποδόσεις στην βορινή πλευρά του πειράματος λόγω ανομοιομορφής άρδευσης κατά τις δύο πρώτες εφαρμογές (όπως και στη περίπτωση του αριθμού των φυτών/στρ.). Παρ' όλα αυτά ο συντελεστής παραλλακτικότητας του πειράματος ήταν σε ικανοποιητικό επίπεδο (10,77%).

Ανάλυση χρόνου και καυσίμου. Στον πίνακα 3 αναλύονται οι χρόνοι και η κατανάλωση καυσίμου σε διάφορα στάδια της καλλιέργειας. Στον πίνακα 4 φαίνεται η ενέργεια που εισέρρευσε σε κάθε περίπτωση. Για τον υπολογισμό αυτό όλες οι εισροές μετατράπηκαν σε ισοδύναμες μονάδες ενέργειας (MJ).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Ανάλυση χρόνων, καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας.

Τεχνική	Κατεργασία και σπορά		Λοιπές εργασίες		Σύνολο εργασιών	
	Χρόνος (h/στρέμμα)	Κατανάλωση (l/στρέμμα)	Χρόνος (h/στρέμμα)	Κατανάλωση (l/στρέμμα)	Χρόνος (h/στρέμμα)	Κατανάλωση (l/στρέμμα)
Κατευθείαν	0,21	0,86	4,11	42,90	4,32	43,76
Μάρτυρας	0,49	2,83	4,11	42,90	4,60	45,73
Κατευθείαν/Μάρτυρα (%)	42,85	30,29	100,00	100,00	93,90	95,70
Ηλ. Ενέργεια (kWh/στρ.)				314,00		314,00

Η ανάλυση χρόνων και καυσίμου έδειξε ότι στη φάση της προετοιμασίας του εδάφους και της σποράς υπάρχει μια πραγματικά σημαντική οικονομία χρόνου και καυσίμου. Όσον αφορά το χρόνο, στην κατευθείαν σπορά περιορίζεται στο 42,85% του χρόνου του μάρτυρα ενώ όσον αφορά το καύσιμο περιορίζεται στο 30,29% του καυσίμου του μάρτυρα. Στις λοιπές εργασίες (μετά τη σπορά ως τη συγκομιδή) δεν υπάρχει διαφορά. Στο σύνολο των εργασιών διαμορφώνεται μια διαφορά καυσίμου υπέρ της κατευθείαν σποράς περίπου 4,3% και μία διαφορά χρόνου περίπου 6,1%. Λόγω αυτής της μείωσης αναμένεται μία ανάλογη μείωση του κόστους προϊόντος. Αν στην ανάλυση καυσίμου (diesel) υπολογισθεί και η ηλεκτρική ενέργεια άρδευσης (314,0 kWh/στρέμμα), οι διαφορές μειώνονται, όπως φαίνεται παραστατικότερα στον πίνακα 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Ανάλυση εισροών ενέργειας.

Τεχνική	Κατεργασία και σπορά		Λοιπές εργασίες		Σύνολο εργασιών	
	Ενέργεια (MJ/στρέμμα)	% ενέργειας μάρτυρα	Ενέργεια (MJ/στρέμμα)	% ενέργειας μάρτυρα	Ενέργεια (MJ/στρέμμα)	% ενέργειας μάρτυρα
Κατευθείαν	356,50	75,70	8380,00	100,00	8736,50	98,70
Μάρτυρας	471,10		8380,00		8851,10	

Από τη μετατροπή όλων των εισροών στην καλλιέργεια σε ενεργειακές μονάδες (MJ/στρέμμα ή MJ/ha) προκύπτει στην φάση της κατεργασίας του εδάφους και σποράς μια οικονομία της τάξης του 24,3%, στο σύνολο δε των εργασιών 1,3% οικονομία σε σχέση με το μάρτυρα. Προηγούμενα προκαταρκτικά πειράματα (Τσατσαρέλης, Κ.Α. 1996) στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου είχαν απαιτήσει μικρότερες συνολικά ενεργειακές εισροές (5.520 MJ/στρέμμα) για το μάρτυρα. Οι διαφορές οφείλονται πρωτίστως στην αύξηση του αριθμού των αρδεύσεων 8 έναντι 5 καθώς και στην αύξηση των νεκρών χρόνων λόγω του περιορισμένου μεγέθους των πειραματικών τεμαχίων.

Από τον πίνακα 4 παρατηρείται ότι η ενεργειακή οικονομία κατά το στάδιο της κατεργασίας και της σποράς είναι πολύ σημαντική. Στις λοιπές όμως εργασίες (κοινές και για τις δύο τεχνικές) παρατηρείται μία σημαντικώς αυξημένη κατανάλωση ενέργειας (8.380 MJ/στρέμμα) έναντι μόλις 356,5 και 471,1 MJ/στρέμμα αντιστοίχως για την κατευθείαν σπορά και το μάρτυρα. Ως εκ τούτου οι ενεργειακές διαφορές στο σύνολο των εργασιών περιορίζονται στο 1,3%. Στις λοιπές (κοινές) εργασίες οι αυξημένες ενεργειακές εισροές οφείλονται πρωτίστως στις αρδεύσεις (4743 MJ/στρέμμα) για τις οποίες το νερό αντλείται από βαθιές γεωτρήσεις και δευτερευόντως στη λίπανση (2.076 MJ/στρέμμα) και τη συγκομιδή (1.396 MJ/στρέμμα), όπως φαίνεται αναλυτικότερα στον πίνακα 5. Αρδεύσεις από κοινό αρδευτικό δίκτυο θα περιορίζαν σημαντικότερα τις ενεργειακές εισροές, με αποτέλεσμα οι διαφορές στο ενεργειακό κόστος να ήταν πολύ υψηλότερες μεταξύ των δύο συστημάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Κατανομή των ενεργειακών εισροών.

Εργασίες	Κατευθείαν		Μάρτυρας	
	MJ/στρέμμα	% του συνόλου	MJ/στρέμμα	% του συνόλου
Κατεργασία και Σπορά	356,5	4,1	471,1	5,3
Λίπανση	2076,2	23,8	2076,2	23,4
Καταπολέμηση 163.7 Ζιζανίων	1,9	163,7	1,8	
Αρδεύσεις	4743,3	54,2	4743,3	53,7
Συγκομιδή	1396,4	16,0	1396,4	15,8
Γενικό Σύνολο	8736,5	100,0	8851,1	100,0

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά προκύπτει ότι από την πειραματική εφαρμογή της κατευθείαν σποράς επί-σπορου καλαμποκιού για ενσίρωση:

1. Δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην απόδοση της καλλιέργειας (παραγωγή φυτικής μάζας).
2. Υπάρχει σημαντική μείωση του χρόνου και των εισροών ενέργειας κατά το στάδιο της εγκατάστασης της καλλιέργειας. Η μείωση του χρόνου εγκατάστασης στην επίσπορη καλλιέργεια καλαμποκιού, μετά από χειμερινά σιτηρά, αποτελεί σημαντικό παράγοντα επιτυχίας της καλλιέργειας γιατί προϋμίζει η συγκομιδή και συχνά αποφεύγονται προσβολές από εχθρούς (*sesamia nonagrioides*) που προσβάλλουν τα όψιμα φυτά μειώνοντας και την ποσότητα αλλά και υποβαθμίζοντας και την ποιότητα του ενσιρώματος.
3. Στο σύνολο των εργασιών δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στον απαιτούμενο χρόνο, στο καύσιμο και στις ενεργειακές εισροές, κυρίως εξαιτίας των αρδεύσεων λόγω της άντλησης μεγάλων ποσοτήτων νερού από μεγάλο βάθος και δευτερευόντως λόγω των λιπάνσεων και της συγκομιδής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allmaras, R.R., S.M. Copeland, J.F. Power, D.L. Tanaka. 1994. Conservation tillage systems in the Northernmost Central United States. In Conservation tillage in temperate agroecosystems. Editor: Carter, M.R. Lewis Publishers. Boca Raton.
- Besnard, A. 1994. L'insidence économique des techniques simplifiées. Perspectives agricoles. N. 194.
- Boiffin J., G. Monnier. 1991. Simplification du travail du sol et erosion hydrique. Perspectives agricoles. No. 161-162-163.
- Boisgontier, D., P. Barthelemy, L. Lescar. 1994. Feasibility of minimum tillage practices in France. Proceedings Experience with the applicability of no tillage crop production in West-European countries. Workshop I. Giessen.
- Boisgontier, D., P. Barthelemy, J.P. Bordes, L. Lescar. 1995. Criteria for choosing implements for minimum tillage practices. In Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European Countries. Proceedings. Giessen.

- Boisgontier, D., P. Lajoux, P. Viaux, L. Jouy, L. Lescar. 1996. Minimum tillage and consequences on weed control strategies. In Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European Countries. Proceedings. Giessen.
- Cancel J., J.M. Bodet. 1991. Simplification du travail du sol et rendement des cultures. Consequences sur les systemes de culture. Perspectives agricoles. No. 161-162-163.
- Ehlers W., W. Chanpein. 1994. Approaches toward conservation tillage in Germany. In Conservation tillage in temperate agroecosystems. Editor: M.R. Carter. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Griffith, D.R., J.V. Mannering, J.E. Box. 1986. Soil and moisture management with reduced tillage. In No-tillage and surface tillage agriculture. The tillage revolution. J. Wiley and sons N.Y.
- Gross, U. 1995. No-tillage as a tool to protect soil surface structure. Proceedings. Experience with the applicability of no tillage crop production in the West-European countries. Workshop II. Giessen.
- Grosson, P., M. Harthorn, M. Duffy. 1986. The economics of conservation tillage. In No-tillage and surface tillage agriculture. The tillage revolution. J. Wiley and sons, N.Y.
- Lal, R., T.J. Logan, D.J. Eckert, W.A. Dick, M.J. Shipitalo. 1994. Conservation tillage in the corn belt of the United States. In Conservation tillage in temperate agroecosystems (editor MR Carter). Lewis Publishers. Boca Raton.
- Lindwall, C.W., F.J. Larney, A. Johnstron, J.R. Moyer. 1994. Crop management in conservation tillage systems. In Managing agricultural residues. Editor P.W. Unger. Lewis Publishers. Boca Raton.
- Sprague, M.A. 1986. No-tillage and surface tillage agriculture. The tillage revolution. J. Wiley and sons N.Y.
- Tebrugge, F., A. Wagner. 1995. Soil structure and trafficability after long-term application of no tillage. Proceedings Experience with the applicability of no tillage crop production in the West-European countries. Workshop II. Giessen.
- Triplett, G.B. 1986. Crop management practices for surface-tillage systems. In No-tillage and surface tillage agriculture. Editors: Sprague, M.E., G.B. Triplett. John Wiley and Sons. N.Y.
- Trochard, R., P. Lajoux. 1994. Les cultures qui acceptent les techniques simplifiees. Perspectives agricoles. N. 194.
- Tsatsarelis, C.A. 1996. Maize for silage with no-tillage technique in Greece. In Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European Countries. Proceedings. Giessen.
- Τσατσαρέλης, Κ.Α. 1996. Παραγωγή αραβοσίτου για ενσίρωση με σύστημα κατευθείαν σποράς σε αβαλλιέρο έδαφος. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου "Έγγειοβελτιωτικά έργα διαχείριση υδατικών πόρων-εξμηχάνιση γεωργίας", Λάρισα, σελ. 996-975.
- Vyn, T.J., K. Janovicek, M.R. Carter. 1994. Tillage requirements for annual crop production in Eastern Canada. In Conservation tillage in temperate agroecosystems. Editor: Carter. M.R. Lewis Publishers. Boca Raton.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΣΕ ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ: ΜΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Θ. Σταθάκος¹, Θ. Α. Γέμτος²,

¹Υποψήφιος Διδάκτορας, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

²Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σύγκριση της καλλιέργειας βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L.) σε αναχώματα, με τη συμβατική, ήταν το αντικείμενο μελέτης της εργασίας αυτής. Το πειραματικό σχέδιο, ήταν τυχοποιημένες ομάδες τεμαχίων με υποτεμάχια, τριών επαναλήψεων. Οι μεταχειρίσεις περιελάβαν, 1) συμβατική καλλιέργεια σε επίπεδο, 2) καλλιέργεια σε αναχώματα, με σπορά σε κάθε ανάχωμα και 3) καλλιέργεια σε αναχώματα, με σπορά σε δύο αναχώματα και ένα κενό. Τα αναχώματα, στην κορυφή εμφάνισαν ταχύτερη στράγγιση, υψηλότερη θερμοκρασία και μικρότερη συμπίεση, σε σύγκριση με το επίπεδο. Τα φυτά στα αναχώματα παρουσίασαν ανωτερότητα, στο φύτρωμα, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά, την πρωιμότητα και την απόδοση.

COTTON CULTIVATION IN RIDGES: AN ALTERNATIVE METHOD

Th. Stathakos, Th. A. Gemtos

ABSTRACT

The comparison of cotton crop (*Gossypium hirsutum* L.) cultivation in ridges vs conventional, was the objective of this study. The experimental design, was a split plot design, with three replications. The treatments were, 1) conventional cultivation in flat field, 2) ridge tillage with planting cotton on top of every ridge and 3) ridge tillage with planting cotton in two ridges and one empty. The upper portion of the ridges showed rapid drainage, higher temperature and reduced compaction. Plants in ridges resulted in superior emergence, vegetative characteristics, earliness and yield.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βαμβάκι στη χώρα μας αποτελεί τα τελευταία χρόνια τη δυναμικότερη μεγάλη καλλιέργεια και είναι προϊόν με μεγάλη σημασία για την αγροτική και εθνική οικονομία. Ωστόσο, τα επόμενα χρόνια, σύμφωνα με το πρόγραμμα δράσης agenda 2000 που διατυπώθηκε τελευταία από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στα πλαίσια αναμόρφωσης της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής, στόχος θα είναι η αυξημένη ανταγωνιστικότητα των αγροτικών προϊόντων στο εσωτερικό της Ένωσης και το εξωτερικό (χαμηλές τιμές). Αποτελεί συνεπώς άμεση ανάγκη για αντιμετώπιση μιας πτώσης των τιμών στο βαμβάκι, να μελετηθούν συστήματα που θα μπορέσουν να μειώσουν τις εισροές (κόστος) ενώ παράλληλα θα διατηρήσουν τις αποδόσεις στα σημερινά υψηλά επίπεδα ή και θα τις αυξήσουν.

Λόγω της οριακής θέσης της χώρας μας που βρίσκεται στο βορειότερο άκρο της ζώνης καλλιέργειας του βαμβακιού, η βραχεία καλλιεργητική περίοδος δεν επιτρέπει πολλές φορές την κανονική συμπλήρωση του μεγάλου βιολογικού κύκλου του φυτού με αποτελέσματα την ποσοτική και

ποιοτική μείωση της παραγωγής. Για αυτό κάθε παράγοντας που συντελεί στο να ωριμάσουν τα καρύδια πριν τις βροχές και τις παγωνιές του φθινοπώρου είναι πρωταρχικής σημασίας. Οι δυσχέρειες και οι ευαισθησίες που παρουσιάζει ο βαμβακόσπορος στις χαμηλές θερμοκρασίες και την υγρασία κατά την περίοδο της βλάστησης και του φυτρώματος, κάνουν την πρώιμη σπορά αρκετά ριψοκίνδυνη γιατί το φυτόωμα είναι μειωμένο και παρατεταμένο και η απόδοση μειωμένη. Καθόλου σπάνιο το φαινόμενο του καλού φυτρώματος και των καχεκτικών νεαρών φυτών που μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε επανασπορά.

Μία καλλιεργητική μέθοδος, η οποία ξεκίνησε από τις Η.Π.Α. και εφαρμόζεται σε διάφορες άλλες χώρες, είναι η καλλιέργεια σε αναχώματα (ridge tillage). Το σύστημα καλλιέργειας αυτό σύμφωνα με τη βιβλιογραφία προσφέρει έναντι της συμβατικής καλλιέργειας τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. μειώνει τοπικά την υγρασία εδάφους στο ανάχωμα [2]
2. αυξάνει τη θερμοκρασία εδάφους στο ανάχωμα [2],[10]
3. μειώνει τη συμπίεση του εδάφους στο ανάχωμα [2],[4],[5],[6]
4. προστατεύει την καλλιέργεια από πλημμύρες [2]
5. αυξάνει τις αποδόσεις [4],[6],[7],[8],[9],[10]
6. αυξάνει την ποσότητα του διαθέσιμου Αζώτου στο ανάχωμα [2],[4]
7. προστατεύει το έδαφος από διάβρωση που δημιουργεί το νερό και ο αέρας [2],[3]

Τα πλεονεκτήματα αυτά, φαίνεται ότι θα δώσουν τη δυνατότητα εφαρμογής της τεχνικής της καλλιέργειας σε αναχώματα, καθώς θα βελτιώσουν τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, θα μειώσουν τις ζημιές από άσχημες καιρικές συνθήκες κατά το φυτόωμα, ενώ παράλληλα θα βοηθήσουν ουσιαστικά τη βαμβακοκαλλιέργεια, με πρώιμηση της παραγωγής και αύξηση των αποδόσεων.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

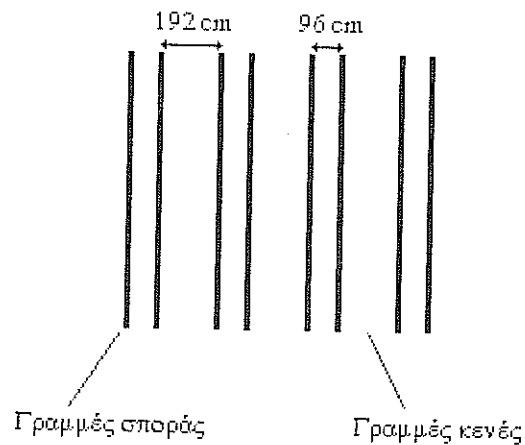
Η μελέτη ξεκίνησε το Νοέμβριο του 1997 στην αγροτική περιοχή Πλατυκάμπου του Νομού Λάρισας. Το έδαφος ήταν αργιλοπηλώδες (CL), μέτρια βαριάς μηχανικής σύστασης, ελαφρά όξινο pH (6,93), χαμηλής περιεκτικότητας σε ελεύθερα ανθρακικά (1,76%), χαμηλής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία (1%) και κανονικής αγωγιμότητας (αλατότητας) (0,53 mmhos/cm). Η πειραματική περιοχή καλλιεργούνταν με βαμβάκι τα τελευταία 5 χρόνια πριν τη μελέτη. Την προηγούμενη χρονιά η καλλιέργεια του βαμβακιού είχε γίνει σε αναχώματα, ενώ τα άλλα χρόνια με συμβατική κατεργασία.

Έγινε εγκατάσταση του πειράματος σύγκρισης της καλλιέργειας σε αναχώματα με τη συμβατική. Το πειραματικό σχέδιο ήταν τυχαιοποιημένες ομάδες τεμαχίων με υποτεμάχια (split plot) τριών επαναλήψεων. Κύρια τεμάχια ήταν οι περιοχές του αγρού, τρεις διαφορετικές περιοχές που επιλέχθηκαν τυχαία και υποτεμάχια (μεταχειρίσεις) ήταν οι μέθοδοι καλλιέργειας. Οι μεταχειρίσεις ήταν:

1. Συμβατική καλλιέργεια βαμβακιού (E4). Εφαρμόστηκε Φθινοπωρινό όργωμα με υπεδαφοκαλλιεργητή και την Άνοιξη περάσματα για ψιλοχωμάτισμα και προετοιμασία της σποροκλίνης με δισκοσβάρνα και ελαφρό καλλιεργητή. Η σπορά έγινε σε αποστάσεις 96 εκ. μεταξύ των γραμμών.
2. Σύστημα αναχωμάτων με σπορά βαμβακιού σε κάθε ανάχωμα (A4). Η διαμόρφωση των αναχωμάτων έγινε κατά το Φθινοπωρινό όργωμα με πέραςμα υπεδαφοκαλλιεργητή-αυλακωτήρα. Την Άνοιξη εφαρμόστηκαν περάσματα για ψιλοχωμάτισμα και προετοιμασία της σποροκλίνης με ειδικά διαμορφωμένο σβολοζόπο-αυλακωτήρα και πριν τη σπορά έγινε συμπί-

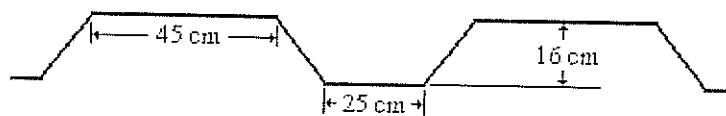
εση των αναχωμάτων με ειδικά διαμορφωμένο κύλινδρο. Η σπορά έγινε σε αποστάσεις 96 εκ. μεταξύ των γραμμών.

3. Σύστημα αναχωμάτων (A2) με ίδιες κατεργασίες όπως και στο A4, με τη διαφορά ότι η σπορά βαμβάκιου έγινε στα δύο από τα τέσσερα αναχώματα και ένα έμεινε κενό. Με το σύστημα αυτό η συνολική εμφάνιση του αγρού ήταν δύο γραμμές σποράς - μία κενή κ.τ.λ. (σχήμα 1). Ο πληθυσμός φυτών του A2 ανά μονάδα επιφάνειας ήταν τα $\frac{2}{3}$ του A4 και ανά μέτρο ίδιος.



ΣΧΗΜΑ 1. Σύστημα σποράς A2.

Κάθε πειραματικό υποτεμάχιο είχε μήκος 10 m και πλάτος 3,84 m (πλάτος τεσσάρων γραμμών σποράς). Στο E4 και στο A4 από τις τέσσερις γραμμές σποράς οι δύο μεσαίες ήταν οι πειραματικές ενώ οι αριστερές χρησιμοποιούνταν ως περιθώρια. Στο A2 οι πειραματικές γραμμές ήταν οι δύο γραμμές σποράς ανάμεσα στις κενές (σχήμα 1). Η κορυφή των αναχωμάτων ήταν επίπεδη επιφάνεια πλάτους 45 cm, το αυλάκι είχε βάθος 16 cm και ο πυθμένας του αυλακιού είχε πλάτος 25 cm. Η σπορά έγινε στο κέντρο της κορυφής κάθε αναχώματος (σχήμα 2).



ΣΧΗΜΑ 2. Μορφή αναχωμάτων.

Εφαρμόστηκε λίπανση τον Ιανουάριο με 11,5 μονάδες Φωσφόρου και 12,5 μονάδες Καλίου και πριν τη σοδιά με 5,3 μονάδες Αζώτου και 100 kg/στρ. οργανικού λιπάσματος. Εφαρμόστηκε χημική ζιζανιοκτονία προσπαρτικά με ethafluralin και μηχανική ενσωμάτωση και μετασπαρτικά με prometryn και ενσωμάτωση με πότισμα. Η σοδιά πραγματοποιήθηκε στις 16/4/1998 και χρησιμοποιήθηκε ποικιλία Vered 171. Τα ποτίσματα για το φύτευμα εφαρμόστηκαν με τεχνητή βροχή και κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου με αυλάκια. Οι συνηθισμένοι εχθροί και ασθένειες των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου αντιμετωπίστηκαν αποτελεσματικά.

Προσδιορίστηκε το ποσοστό και η ταχύτητα του φυτώματος. Η εκτίμηση της προωμότητας βασίστηκε στις ημερομηνίες που εμφανίστηκαν τα πρώτα χτένια, τα πρώτα άνθη, στην έναρξη ωρίμανσης και στο ποσοστό ωρίμανσης. Έγιναν τέσσερις δειγματοληψίες φυτών, με την ολοκλήρωση του φυτώματος, την εμφάνιση των χτενιών, την έναρξη της ανθοφορίας και την έναρξη ωρίμανσης και προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά, ύψος φυτού, μήκος κύριας ρίζας και διάμετρος ρίζας στο ύψος του λαμιού. Για τη μέτρηση του μήκους κύριας ρίζας εφαρμόστηκε απλή εκρίζωση φυτών και για τη μέτρηση της διαμέτρου ρίζας χρησιμοποιήθηκε παχύμετρο.

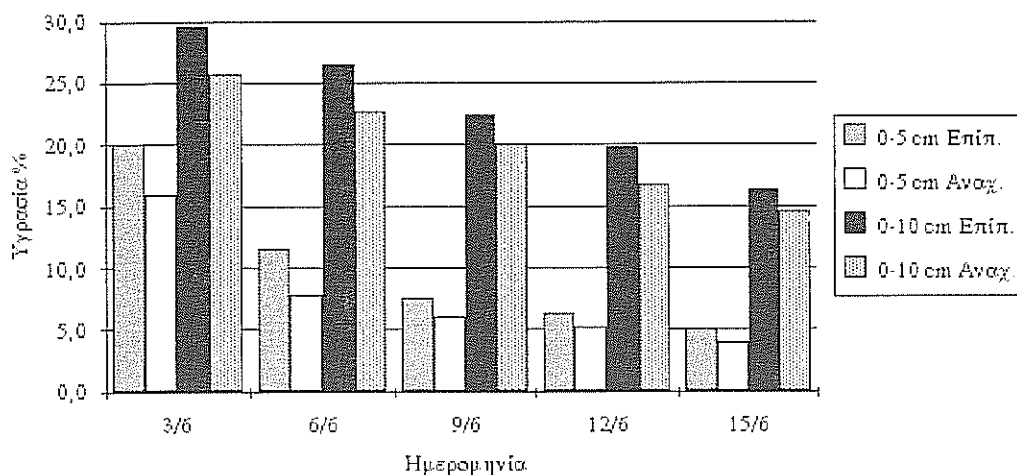
Η θερμοκρασία εδάφους, προσδιορίστηκε σε δύο βάθη των αναχωμάτων και του επιπέδου, 4 και 8 cm, κατά την περίοδο σοδιάς, φυτώματος και αρχικής ανάπτυξης των φυτών. Μελετήθηκε επίσης, η επίδραση του προσανατολισμού και του ύψους των αναχωμάτων, στη θερμοκρασία εδάφους, σε τέσσερα βάθη, 4, 8, 14 και 20 cm. Για τη συλλογή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε datalogger και τοποθετήθηκαν θερμοζεύγη σε αντίστοιχα βάθη αναχωμάτων και επιπέδου. Η αντίσταση του εδάφους σε διείσδυση, προσδιορίστηκε με μηχανικό διεισδυσιόμετρο δυο φορές, μέσα Μαρτίου και αμέσως μετά τη σοδιά. Ο κώνος του διεισδυσιόμετρου είχε βάση 129 mm², και γωνία 300 [1]. Οι διεισδύσεις έγιναν σε 6 βάθη, βάθος κώνου 50, 150, 250, 350 και 450 mm, στα τεμάχια επίπεδης καλλιέργειας και στα τεμάχια με αναχώματα, σε τρία σημεία του αναχώματος στην κορυφή στα πρανή και στο αυλάκι. Ταυτόχρονα και στα ίδια σημεία με τη μηχανική αντίσταση, προσδιορίστηκε και το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους. Οι μετρήσεις έγιναν σε βάθος 0-5 cm, με κυλινδρικό δειγματοληπτή εδάφους, εσωτερικής διαμέτρου 10 cm και ύψους 5 cm. Τα κυλινδρικά δείγματα εδάφους μεταφέρονταν στο εργαστήριο, ζυγίζονταν και ξηραίνονταν σε ειδικό φούρνο στους 1050C για 24 ώρες. Κατόπιν υπολογίζονταν το φαινόμενο ειδικό βάρος και η περιεκτικότητα του δείγματος σε υγρασία. Η εδαφική υγρασία προσδιορίστηκε στο επίπεδο και στα αναχώματα, ανά διαστήματα τριών ημερών μετά από βροχή και σε δύο βάθη, 0-5 και 5-10 cm.

Έγινε ανάλυση της παραλλακτικότητας όλων των χαρακτηριστικών που μελετήθηκαν, για να προσδιοριστεί η σημαντικότητα των διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Υγρασία εδάφους. Η εδαφική υγρασία παρουσιάστηκε μειωμένη στα αναχώματα σε σχέση με το επίπεδο, για διάστημα 15 ημερών και σε κάθε βάθος μέτρησης. Οι διαφορές αυτές, δεν εμφανίστηκαν σημαντικές ($P=0,05$) για τα δύο βάθη, από την τρίτη μέτρηση, δηλαδή εννιά ημέρες μετά από βροχή (σχήμα 3).

Θερμοκρασία εδάφους. Η καλύτερη στράγγιση της κορυφής των αναχωμάτων, φαίνεται ότι προκάλεσε τη μείωση της ειδικής θερμότητας του εδάφους. Η μείωση της ειδικής θερμότητας του εδάφους των αναχωμάτων, ήταν ένας από τους λόγους, το στρώμα εδάφους των ριζών των φυτών στα αναχώματα, να παρουσιάζει υψηλότερη θερμοκρασία από το αντίστοιχο στο επίπεδο (πίνακας 1). Οι διαφορές της θερμοκρασίας επιπέδου και αναχωμάτων, εμφανίστηκαν σημαντικές ($P=0,05$) σε βάθος 8cm.



ΣΧΗΜΑ 3. Μεταβολή εδαφικής υγρασίας ανά τρεις ημέρες μετά από βροχή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Επίδραση της καλλιεργητικής τεχνικής, στη μέση θερμοκρασία εδάφους (0C), κατά την περίοδο σποράς, φυτρώματος και αρχικής ανάπτυξης νεαρών φυτών, από 10/4 έως 31/5.

Βάθος μέτρησης (cm)	Επίπεδο	Ανάχωμα	Ε.Σ.Δ. (P=0,05)
4	17,9	19	N.S.
8	17,8	19	1,1

Η επίδραση του ύψους των αναχωμάτων, από 15 έως 25 cm, στη μέση θερμοκρασία του εδάφους, από 10/4 έως 22/7, δεν εμφανίστηκε στατιστικώς σημαντική (P=0,05), στα τέσσερα βάθη μέτρησης (πίνακας 2). Οι υψηλότερες θερμοκρασίες, παρουσιάστηκαν στο ανάχωμα ύψους 25 cm και οι χαμηλότερες στο ανάχωμα ύψους 15 cm. Οι μεγαλύτερες διαφορές (έως 1.30C), εμφανίστηκαν στα μικρότερα βάθη (4 και 8 cm) και οι μικρότερες διαφορές, στα μεγαλύτερα βάθη (14 και 20 cm).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Επίδραση του ύψους αναχωμάτων, στη μέση θερμοκρασία εδάφους (0C), κατά το χρονικό διάστημα, από 10/4 έως 22/7.

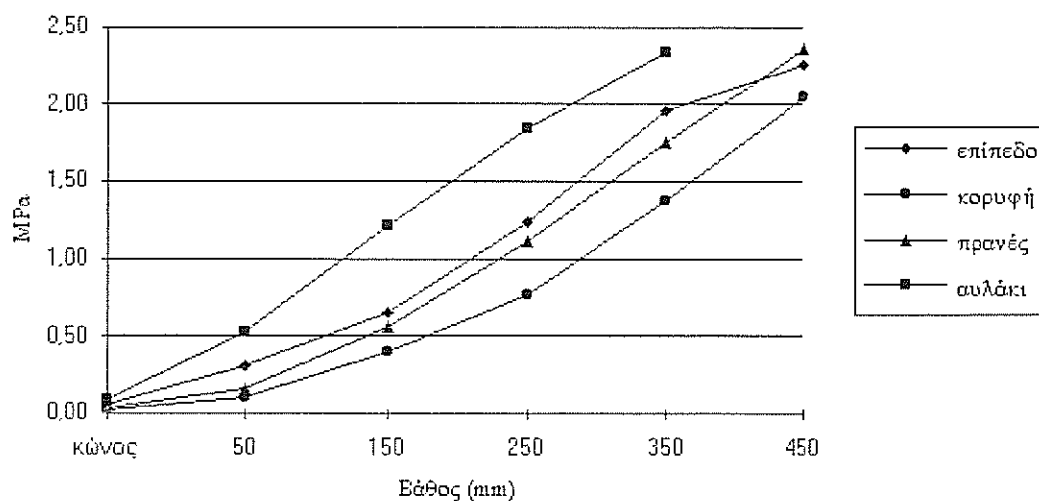
Βάθος μέτρησης (cm)	Ύψος αναχώματος (cm)			Ε.Σ.Δ. (P=0,05)
	15	20	25	
4	23,4	24,5	24,7	N.S.
8	23,8	24,2	24,4	N.S.
14	23,3	23,8	23,9	N.S.
20	23	23,3	23,4	N.S.

Τα αποτελέσματα της επίδρασης του προσανατολισμού των αναχωμάτων, στη μέση θερμοκρασία εδάφους, κατά το χρονικό διάστημα, από 10/4 έως 22/7, παρουσιάζονται στον πίνακα 3. Η διεύθυνση Βορράς-Νότος, παρουσίασε από 0,3 έως 1,20C υψηλότερη θερμοκρασία σε σύγκριση με τη διεύθυνση Ανατολή-Δύση. Η μέγιστη διαφορά (1,20C), εμφανίστηκε στο μικρότερο βάθος (4 cm) και η ελάχιστη (0,30C), στο μεγαλύτερο βάθος (20 cm). Οι διαφορές αυτές, δεν εμφανίστηκαν στατιστικώς σημαντικές ($P=0,05$).

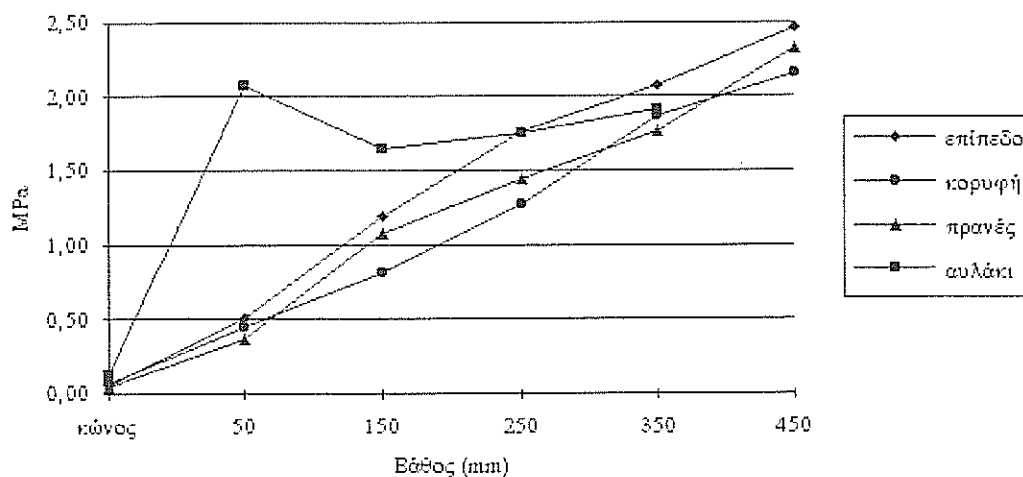
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Επίδραση του προσανατολισμού αναχωμάτων, στη μέση θερμοκρασία εδάφους (0C), κατά το χρονικό διάστημα, από 10/4 έως 22/7.

Βάθος μέτρησης (cm)	Προσανατολισμός		Ε.Σ.Λ. ($P=0,05$)
	Ανατολή-Δύση	Βορράς-Νότος	
4	23,6	24,8	N.S.
8	23,7	24,6	N.S.
14	23,3	24	N.S.
20	23,1	23,4	N.S.

Μηχανική αντίσταση εδάφους. Σύμφωνα με τη μέτρηση στις 12/3, τα αναχώματα παρουσίασαν μικρότερη αντίσταση διείσδυσης (πάνω στο ανάχωμα), σε σύγκριση με το επίπεδο, σε κάθε βάθος (σχήμα 4). Οι διαφορές αυτές για $P=0,05$ ήταν σημαντικές σε κάθε περίπτωση. Η μεγαλύτερη αντίσταση σημειώθηκε στα αυλάκια των αναχωμάτων, σημεία που συμπίπτουν από τους τροχούς των ελκυστήρων, λόγω της ελεγχόμενης κυκλοφορίας (σχήμα 4).



ΣΧΗΜΑ 4. Μηχανική αντίσταση εδάφους στις 12/3/98.



ΣΧΗΜΑ 5. Μηχανική αντίσταση του εδάφους αμέσως μετά τη σπορά.

Η μέτρηση αμέσως μετά τη σπορά, έδειξε ότι δημιουργήθηκε ιδιαίτερα συμπιεσμένο στρώμα εδάφους, στα αυλάκια των αναχωμάτων, μέχρι 15 cm βάθος, λόγω κυκλοφορίας των μηχανημάτων (σχήμα 5). Τα αναχώματα παρουσίασαν μικρότερη αντίσταση διεύθυνσης (πάνω στο ανάχωμα) σε σύγκριση με το επίπεδο, από τα 5 cm. Οι διαφορές αυτές ήταν σημαντικές για $P=0,05$, από τα 15 cm (σχήμα 5).

Φαινόμενο ειδικό βάρος. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του φαινομένου ειδικού βάρους, από 0 - 5 cm, ήταν ανάλογα με αυτά της μηχανικής αντίστασης (πίνακας 4). Η κορυφή των αναχωμάτων παρουσίασε τη μικρότερη τιμή, ενώ το αυλάκι τη μεγαλύτερη, λόγω της κίνησης των μηχανημάτων. Το επίπεδο και στις δύο μετρήσεις, παρουσίασε πυκνότερο στρώμα εδάφους από την κορυφή των αναχωμάτων. Όλες οι διαφορές εμφανίστηκαν στατιστικώς σημαντικές ($P=0,05$).

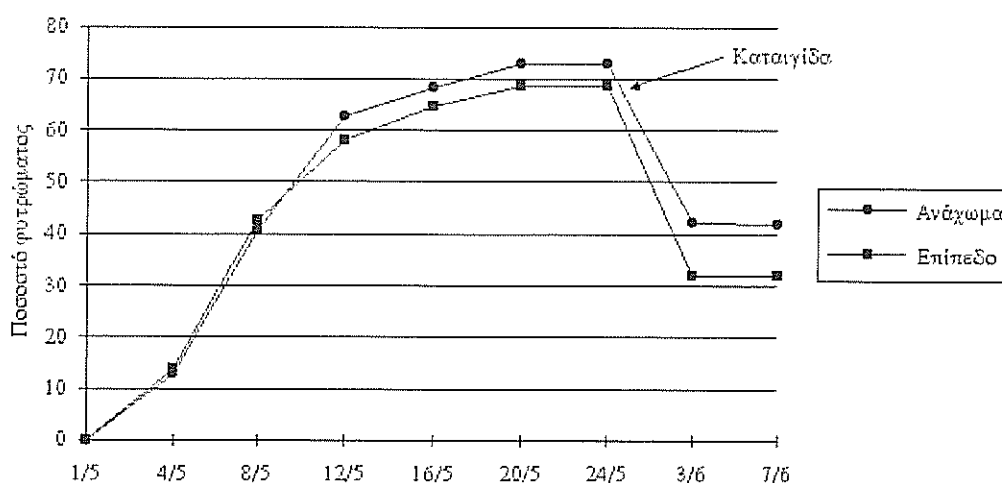
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Φαινόμενο ειδικό βάρος εδάφους (gr/cm^3) από 0 - 5 cm.

Ημ/μηνία	Επίπεδο	Αναχώματα			Ε.Σ.Δ. $P=0,05$
		Κορυφή	Πρηνές	Αυλάκι	
12/3	0,99	0,86	0,97	1,1	0,087
16/4	1,1	0,93	0,97	1,3	0,092

Η εδαφική υγρασία που προσδιορίστηκε ταυτόχρονα με τη μέτρηση του φαινομένου ειδικού βάρους, παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή στην κορυφή του αναχώματος και τη μικρότερη στο επίπεδο. Οι διαφορές εμφανίστηκαν σημαντικές στη μέτρηση αμέσως μετά τη σπορά (πίνακας 5).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Εδαφική υγρασία (%) από 0 - 5 cm.

Ημ/μηνία	Επίπεδο	Αναχώματα			Ε.Σ.Δ. P=0,05
		Κορυφή	Προανές	Αυλάκι	
12/3	10,8	6,4	6,8	9,9	N.S.
16/4	4,9	3,1	3,3	3,6	24,1



ΣΧΗΜΑ 6. Ποσοστό φυτρώματος στα αναχώματα και στο επίπεδο.

Φύτρωμα. Δεν παρατηρήθηκε διαφορά στην ταχύτητα φυτρώματος των σπόρων στη συμβατική καλλιέργεια και στα αναχώματα. Για την ολοκλήρωση του φυτρώματος χρειάστηκαν 34 ημέρες. Το χαμηλό ποσοστό εδαφικής υγρασίας κατά τη σπορά, η επικράτηση στη συνέχεια ισχυρών τοπικών ανέμων για διάστημα μεγαλύτερο από δύο εβδομάδες και η πτώση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με το υψηλό ποσοστό βροχόπτωσης από τις αρχές Μαΐου, παρέτεινε την περίοδο φυτρώματος. Το φύτευμα ήταν μειωμένο και παρατεταμένο και έφτασε στο 73% στα αναχώματα και στο 68,6% στο επίπεδο, υψηλότερο κατά 6,4% στα αναχώματα (σχήμα 6).

Στις 24/5/98 σημειώθηκε υψηλή καταρρακτώδης βροχόπτωση και χαλάζι, με αποτέλεσμα να υπάρξουν μεγάλες απώλειες νεαρών βαμβυκοφύτων. Η καλλιέργεια σε επίπεδο σε πολλά σημεία νεροκράτησε, ενώ στα αναχώματα το νερό συγκεντρώθηκε στα αυλάκια και δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά τα βαμβυκοφύτα. Το ποσοστό απωλειών λόγω της καταγίδας, στο επίπεδο ήταν 53,2% ενώ στα αναχώματα ήταν 42,4%, υψηλότερο κατά 25,5% στο επίπεδο (σχήμα 6).

Μορφολογικά χαρακτηριστικά βαμβυκοφύτων. Η καλλιεργητική τεχνική επέδρασε έντονα στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βαμβυκοφύτων. Οι διαφορές δεν εμφανίστηκαν σημαντικές (P=0,05), μόνο κατά τις πρώτες μετρήσεις, στις 24/5. Η συμβατική καλλιέργεια σε επίπεδο

(E4), εκτός από τις μετρήσεις στις 24/5, διέφερε σημαντικά από τις μεταχειρίσεις στα αναχώματα (A4 και A2). Αντίθετα οι διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στα αναχώματα (A4 και A2), δεν διέφεραν σημαντικά, εκτός από τη μέτρηση ύψους στις 12/7 (πίνακας 6).

Η καλλιεργητική τεχνική, ήταν η αιτία να αρχίσουν τα φυτά στα αναχώματα το στάδιο της ανθοφορίας (12/7), με περισσότερο από 10 cm μεγαλύτερο ύψος σε σύγκριση με τα φυτά στο επίπεδο, γεγονός το οποίο θα πρέπει να επέδρασε ευνοϊκά στην παραγωγικότητα των φυτών. Η διαφορά αυτή δεν άλλαξε σημαντικά, μέχρι το τέλος του βιολογικού κύκλου των φυτών. Τα χαρακτηριστικά, μήκος και διάμετρος ρίζας, ήταν ανάλογα του ύψους φυτών. Τα φυτά στα αναχώματα εμφάνισαν σε σύγκριση με τα φυτά στο επίπεδο, από το στάδιο ανθοφορίας και μετά, μήκος ρίζας μεγαλύτερο τουλάχιστον κατά 5 cm και διάμετρο ρίζας μεγαλύτερη από 1,7 mm έως 3 mm.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Επίδραση της καλλιεργητικής τεχνικής στα μορφολογικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού.

Χαρακτηριστικό	Εποχή	Επίπεδο (E4)	Αναχώματα με 4 γραμμές (A 4)	Αναχώματα με 2 γραμμές (A2)	Ε.Σ.Δ. P=0,05
Ύψος φυτού (cm)	24/5	7	7	7	N.S.
	19/6	20	25	26	1,9
	12/7	50	61	66	4,3
	Τελικό	89	97	104	7,1
Μήκος ρίζας (cm)	24/5	6	6	6	N.S.
	19/6	8	11	12	1,7
	12/7	19	24	25	4,9
	Τελικό	25	30	32	3,6
Διάμετρος ρίζας (mm)	24/5	-	-	-	-
	19/6	3,8	5,1	5,3	0,57
	12/7	9,6	11,3	12,3	1,86
	Τελικό	12,5	14,5	15,5	1,76

Πρωιμότητα. Ως προς την πρωιμότητα, φάνηκε ότι η μεταχείριση σε ανάχωμα A2, υπερείχε σε σχέση με τις άλλες δύο. Η τεχνική καλλιέργειας σε αναχώματα (A2 και A4), έδειξε να πλεονεκτεί στην πρωιμότητα σε σύγκριση με τη συμβατική (E4). Όλες οι διαφορές εμφανίστηκαν στατιστικώς σημαντικές, στην πράξη όμως όχι ουσιαστικές, καθώς η μέγιστη διαφορά του A2 με το E4, η οποία σημειώθηκε κατά την έναρξη ωρίμανσης, ήταν 3 ημέρες (πίνακας 7).

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Επίδραση της καλλιεργητικής τεχνικής στην πρωιμότητα.

	Επίπεδο (E4)	Αναχώματα με 4 γραμμές (A4)	Αναχώματα με 2 γραμμές (A2)	Ε.Σ.Δ. (P=0,05)
Εμφάνιση χτενιών (ημέρες από 31/5)	17,3	17	16,6	0,48
Έναρξη ανθοφορίας (ημέρες από 30/6)	10,7	10,1	9,1	0,68
Έναρξη ωρίμανσης (ημέρες από 27/8)	6,8	5,6	3,8	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Επίδραση της καλλιεργητικής τεχνικής στο ποσοστό ωρίμανσης καρυδιών.

	Επίπεδο (E4)	Αναχώματα με 4 γραμμές (A4)	Αναχώματα με 2 γραμμές (A2)	Ε.Σ.Δ. (P=0,05)
Ποσοστό ανοίγματος στις 6/9	7,2	7,8	9,3	N.S.
Ποσοστό ανοίγματος στις 16/9	28	30	33	1,8
Ποσοστό ανοίγματος στις 26/9	42	46	48	2,1

Τα αποτελέσματα μέτρησης του ποσοστού ωρίμανσης (πίνακας 8), ήταν ανάλογα εκείνων του πίνακα 6. Η μεταχείριση A2, υπερέχει σε σχέση με τα A4 και E4 σε κάθε μέτρηση. Οι διαφορές, δεν εμφανίστηκαν στατιστικώς σημαντικές ($P=0,05$) στην πρώτη μέτρηση (6/9), ενώ στις δύο επόμενες (16/9 και 26/9) ήταν σημαντικές. Η τεχνική σποράς σε αναχώματα, έδειξε να πλεονεκτεί σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια σε επίπεδο, καθώς σε κάθε μέτρηση το A4 υπερέχει του E4.

Απόδοση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 9. Η μεταχείριση A4, έδειξε υπεροχή σε σύγκριση με τα E4 και A2. Παρουσίασε μεγαλύτερο αριθμό καρποφόρων οργάνων (χτενιών), ανθέων και καρυδιών, ανά m². Οι διαφορές, δεν εμφανίστηκαν στατιστικώς σημαντικές ($P=0,05$) στις 19/6 και 12/7, ενώ στις υπόλοιπες μετρήσεις ήταν σημαντικές.

Όσον αφορά τις μετρήσεις ανά μονάδα μήκους, υπεροχή έδειχνε να έχει η μεταχείριση A2, μετά όμως την αναγωγή των στοιχείων ανά μονάδα επιφάνειας, ανωτερότητα έδειξε το A4. Το πλεονέκτημα που έδειξε το A2 ανά μονάδα μήκους, δεν ήταν αρκετό ώστε να υπερέχει ανά μονάδα επιφάνειας και τελικά εμφάνισε το μικρότερο αριθμό καρποφόρων οργάνων (χτενιών), ανθέων και καρυδιών, ανά m². Όσον αφορά τη σύγκριση των δύο μεθόδων καλλιέργειας, τη σύγκριση δηλαδή του E4 με το A4, έδειξε ότι η τεχνική σποράς σε αναχώματα, υπερέχει στην απόδοση από τη συμβατική, καθώς εμφάνισε περισσότερα χτένια, πλουσιότερη ανθοφορία και περισσότερα καρύδια ανά m².

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. Επίδραση της καλλιεργητικής τεχνικής στην απόδοση.

	Επίπεδο (E4)	Αναχώματα με 4 γραμμές (A4)	Αναχώματα με 2 γραμμές (A2)	Ε.Σ.Δ. (P=0,05)
Καρποφόρα όργανα / m ² στις 19/6	3,7	4,3	3,5	N.S.
Καρποφόρα όργανα / m ² στις 24/6	15,6	17,0	13,8	2
Καρποφόρα όργανα / m ² στις 4/7	76	95	71	7,6
Άνθη / m ² στις 12/7	3,3	3,9	3,2	N.S.
Άνθη / m ² στις 18/7	21	23,7	18,6	3,1
Άνθη / m ² στις 24/7	38,6	44,4	35	4,12
Καρύδια / m ²	101	121	97	8,1

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία συνοψίζονται ως εξής:

1. Τα αναχώματα παρουσιάζουν ταχύτερη στράγγιση του εδάφους (ταχύτερη απώλεια εδαφικής υγρασίας), σε σύγκριση με το επίπεδο.
2. Τα αναχώματα παρουσιάζουν υψηλότερη θερμοκρασία από το επίπεδο.
3. Ο προσανατολισμός των αναχωμάτων φαίνεται να επιδρά στη θερμοκρασία τους.
4. Τα αναχώματα παρουσιάζουν μικρότερη συμπίεση του εδάφους (πάνω στο ανάχωμα) από το επίπεδο.
5. Το ποσοστό φυτρώματος και η βλαστικότητα του σπόρου, αυξάνονται στα αναχώματα σε σχέση με το επίπεδο.
6. Τα φυτά στα αναχώματα, παρουσίασαν καλύτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τα φυτά στο επίπεδο.
7. Η τεχνική σποράς σε αναχώματα, έδειξε να πλεονεχτεί σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια σε επίπεδο, ως προς την απόδοση. Η τεχνική σποράς σε αναχώματα με δύο γραμμές σπαρμένες και μία κενή, δεν έδειξε πλεονέκτημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ASAE Standards, 44th Ed. 1997. S313.2. Soil cone penetrometer. St. Joseph, Mich.: ASAE.
2. Buchele, W. F., E. V. Collins and W. G. Lovely. 1955. Ridge farming for soil and water control. *Agricultural Engineering*, May, 324-331.
3. Fryrear, D. W. 1986. Ridging reduces wind damage to cotton. *Applied Agricultural Research*, vol. 1, No. 5, 311-314.
4. Ibragimov, K., G. Ustimenko, T. Khisamov, M. Kharlamov. 1984. Sowing cotton on ridges in the Golodnaya step. *Khlopkovodstvo*, No. 3, 20-22. (in Russian)
5. Kurvantsev, R. K. Developmental rates of cotton in relation to soil density and sowing method. 1983. *Agrokhim. i biol. svoista pochv Uzbekistana*, 64-72. (in Russian)
6. Reeves, D. W., C. H. Burmester, R. L. Raper and E. C. Burt. 1996. Developing conservation tillage systems for the Tennessee Valley region in Alabama. *Proceedings Beltwide Cotton Conferences*, vol. 2, 1401-1403.
7. Shaiberdiev, N. A. 1983. On chlorophyll and nucleic acid contents in cotton leaves. *Uzbekskii Biologicheskii Zhurnal*, No. 3, 24-26. (in Russian)
8. Shanmugasundaram, V. S. 1985. Yield potencial of cotton. *Madras Agricultural Journal*, vol. 72, No. 12, 706-707.
9. Verma, S. K., R. K. Gupta, V. K. Paradklar. 1987. Adequate surface drainage boosts sorghum and cotton yield in sodic clay soil. *Indian Farming*, vol. 37, No. 1, 13,19.
10. Zakirov, A., A. G. Nabiev, B. M. Gafurov and V. A. Subkhankulov. 1990. Temperature and development of cotton on ridges. *Uzbekskii Biologicheskii Zhurnal*, No. 3, 22-24. (in Russian)

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Dr. Ing . Θανάσης Νάτσις

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την ορθολογική χρήση των γεωργικών μηχανημάτων και στις κατευθύνσεις στις οποίες θα πρέπει να εστιάσει η έρευνα στο μέλλον. Δίνεται ένας νέος τρόπος ορισμού του βαθμού εκμηχάνισης μιας καλλιέργειας, (ενός νομού ή μιας χώρας). Επίσης γίνεται ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης των κατασκευαστικών επιχειρήσεων και τα πολλά προβλήματα που έχει ο κλάδος αυτός για την Ελλάδα.

ABSTRACT

This work analyses factors which influence the rational use of agricultural machinery and it gives the directions to which research needs to focus in the future. A new way to determine the degree of mechanization of a crop is given for a region or a country. An analysis of the existing state of the manufacturing and the pertinent problems they have to face in Greece.

1. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Η διαχείριση των γεωργικών μηχανημάτων είναι η επιστήμη που αποσκοπεί στην αύξηση της αποδοτικότητας τους συνδυάζοντας μηχανικούς και οικονομικούς παράγοντες. Η επιστήμη αυτή έχει σαν αντικείμενο τον καθορισμό των απαιτήσεων της γεωργικής εκμετάλλευσης σε μηχανήματα καθώς και την ορθολογική εκλογή και χρήση τους με βασικό σκοπό τη μείωση του κόστους λειτουργίας τους και την αύξηση του κέρδους του παραγωγού [2, 3].

Η ορθολογική διαχείριση γεωργικών μηχανημάτων εξαρτάται από την εναρμόνιση τριών κυρίως παραγόντων της γεωργικής δραστηριότητας :

1. Γεωργικός εξοπλισμός
2. Περιβάλλον και υλικό που επεξεργάζεται
3. Ο άνθρωπος, που χειρίζεται τον γεωργικό εξοπλισμό (γεωργικά μηχανήματα).

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε πως οι (επιστημονικές) μελέτες και έρευνα στον τομέα της διαχείρισης των γεωργικών μηχανημάτων πρέπει να βασίζονται σε μεθοδολογικά κριτήρια που ακολουθούν.

1. Τα γεωργικά μηχανήματα και το υλικό που επεξεργάζεται αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα που τα στοιχεία του αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.
2. Οι ιδιότητες των στοιχείων που αλληλεπιδρούν σε ένα ή σε άλλον βαθμό αλλάζουν σε χώρο και χρόνο.
3. Οι επιστημονικές εικασίες και οι θεωρητικοί θεσμοί είναι αναγκαίο να δοκιμαστούν στην πράξη για την ορθότητα τους, και για τις μελέτες που αφορούν την διαχείριση των γεωργικών μηχανημάτων [4, 6].

Επίσης, για την ορθολογική διαχείριση των γεωργικών μηχανημάτων πρέπει να λυθούν δύο βασικά προβλήματα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους όπως : [4, 5, 6].

1. Προσδιορισμός των ευνοϊκών παραμέτρων ελκυστήρων και γεωργικών μηχανημάτων, όπως πλάτος και ταχύτητες εργασίας, απαιτούμενη ισχύς έλξεως, βάρος και ορθολογικός συνδυασμός τους (σωστή εκλογή).
2. Προσδιορισμός της ορθολογικής διάταξης της εργασίας του συγκροτήματος (ελκυστήρα παρελκόμενο) και των άλλων ενεργειακών δεικτών. Οι δείκτες αυτοί είναι ταχύτητα και συντελεστής φόρτισης του κινητήρα για τις συγκεκριμένες συνθήκες εργασίας (σωστή χρήση). Για την σωστή χρήση των μηχανημάτων θα πρέπει να εφαρμοστούν στην πράξη οι μελέτες που έχουν γίνει στον τομέα αυτόν και προπαντός για τα σύνθετα μηχανήματα που έχουν πολλαπλή σκοπιμότητα.

Ένα μεγάλο μειονέκτημα που παρατηρείται ακόμα και σήμερα είναι ότι για την αγορά των ελκυστήρων και γεωργικών μηχανημάτων δεν πραγματοποιείται τεχνικοοικονομική μελέτη και ο γεωργός με δικά του κριτήρια κάνει την αγορά με όλες τις αρνητικές συνέπειες που ακολουθούν.

Γι' αυτό η αγορά είτε η παραγωγή ελκυστήρων και γεωργικών μηχανημάτων για το μέλλον πρέπει να γίνεται με βάση το καλύτερο μοντέλο από το πλήθος μοντέλων που δοκιμάζονται στην πράξη και των κριτηρίων εκλογής.

Συχνά για τα προβλήματα αυτά επιτρέπονται λύσεις πρόχειρες και υποκειμενικές που έχουν σαν αποτέλεσμα υψηλές δαπάνες υλικών, χαμηλές αποδόσεις στην πράξη και υψηλό κόστος παραγωγής. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε πως κάθε χώρα πρέπει να έχει τη δική της πολιτική, η οποία να καθορίζει τα αναγκαία επίπεδα εκμηχάνισης, να προσφέρει ένα πλαίσιο για την εγχώρια παραγωγή και τις εισαγωγές από το εξωτερικό και να επιβάλει τις αναγκαίες προδιαγραφές παραγωγής γεωργικών μηχανημάτων. Καμία χώρα δεν μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά στις εισαγωγές μηχανολογικού εξοπλισμού. Μια εγχώρια κατασκευαστική βιομηχανία θα εξασφαλίσει τις προϋποθέσεις της κατάλληλης εκμηχάνισης ανάλογα με της εγχώριες ανάγκες, καθώς και τα απαραίτητα ανταλλακτικά. Οι ευνοϊκοί παράμετροι των γεωργικών μηχανημάτων προσδιορίζονται βάσει κριτηρίων όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας για τις συγκεκριμένες διεργασίες, το κόστος επεμβάσεων κ. α. Η θεωρία των ευνοϊκών παραμέτρων συσχετίζει τους κυρίους δείκτες των συνθηκών εργασίας, (όπως, μηχανικές ιδιότητες του υλικού που επεξεργάζεται στο οποίο κινείται το μηχανήμα, η κλίση και οι διαστάσεις της επιφάνειας) και των παραμέτρων των μηχανημάτων (πλάτος, βάρος, κατανάλωση ενέργειας και κινηματικά χαρακτηριστικά). Επίσης μεγαλύτερες αποδόσεις και οικονομικά αποτελέσματα των γεωργικών μηχανημάτων, επιτυγχάνονται όταν για τις συγκεκριμένες συνθήκες προσδιορίζεται ορθολογικά η συσχέτιση των ενεργειακών δεικτών και των διατάξεων εργασίας του συστήματος.

Η συσχέτιση αυτή προσδιορίζει το ευνοϊκό φορτίο του κινητήρα, το οποίο είναι μεταβλητό από τις δυναμικές ιδιότητες του, και τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του υλικού που επεξεργάζεται.

Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να γίνουν έρευνες για την συσχέτιση της κατασκευής, βάρους και προσαρμογής των γεωργικών μηχανημάτων προς το περιβάλλον που επεξεργάζεται και που πρέπει να εστιαστεί στις εξής κατευθύνσεις όπως [6] :

- α) Το υλικό που επεξεργάζεται, οι ιδιότητες του και ο τρόπος επεξεργασίας.
- β) Αγροτεχνικές απαιτήσεις, τα όρια και αποκλίσεις (ανοχές).
- γ) Αποδόσεις, ενεργειακοί και οικονομικοί δείκτες γεωργικών μηχανημάτων.
- δ) Σχεδίαση σύνθετων προοδευτικών τεχνολογικών διεργασιών.

ε). Ηλεκτρικοί ελκυστήρες και άλλα συστήματα έλξεως γεωργικών μηχανημάτων (cable drawn farming system).

Οι μελέτες των φυσικών, μηχανικών και τεχνολογικών ιδιοτήτων του γεωργικού υλικού, επίσης και των βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους οδηγούν με σιγουριά όχι μόνο στο συγχρονισμό των γεωργικών μηχανημάτων αλλά και στην βελτίωση της απόδοσης τους.

Πολλά προβλήματα που αφορούν την εκμηχάνιση της γεωργίας πρέπει να ερευνηθούν, όπως ο χρόνος εκτελέσεως επεμβάσεων και απώλειες από την μη έγκαιρη εκτέλεση τους, κατανάλωση ενέργειας και γενικότερα τα προβλήματα αυτά ταξινομούνται ως εξής :

1. Εγκαθίδρυση ανοχών κατά την εκπλήρωση της διεργασίας.
2. Τυποποίηση των διεργασιών για την καλλιέργεια και προστασία των φυτών.
3. Πραγματική ταχύτητα εργασίας σαν παράγων ρύθμισης της ποιότητας και ποσότητας εργασίας.

Οι εργασίες με αυξημένες ταχύτητες αποτελούν για τώρα και για το μέλλον ένα από τα κυριότερα προβλήματα έρευνας όχι μόνο από οικονομική αλλά και από τεχνική άποψη. Σήμερα, στην Ελλάδα αλλά και σε όλον τον κόσμο η ταχύτητα εργασίας των γεωργικών μηχανημάτων δεν ξεπερνάει τα 5 - 10 km/h για την εκτέλεση των εργασιών. Τίθεται η ερώτηση, μπορεί να αυξηθεί η ταχύτητα αυτή να έχουμε μεγαλύτερη απόδοση των μηχανημάτων στο αγρό ; Γιατί δεν περνάμε σε ταχύτητες εργασίας 10 -15 km/h ; Τι είναι τα γρήγορα άροτρα και μηχανήματα (όπως τα ονομάζουνε) ; Μπορεί να κατασκευαστούν γρήγορα μηχανήματα ; Ποιοί παράγοντες επηρεάζουν την κατασκευή των μηχανημάτων αυτών ; Όμως στην περίπτωση κατασκευής και χρήσης των μηχανημάτων αυτών, θα πρέπει να ληφθεί καλά υπόψη η ασφάλεια του χειριστή και μηχανήματος, η ποιότητα και ποσότητα εργασίας και πόλοι άλλοι παράγοντες [4]. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός συγκροτήματος είναι : η ταχύτητα εργασίας, ο βαθμός χρήσης του πλάτους εργασίας του γεωργικού μηχανήματος, ο βαθμός εκμετάλλευσης του χρόνου εργασίας και η εκπαίδευση του χειριστή (οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν την απόδοση στον αγρό των γεωργικών μηχανημάτων, (field efficiency)). Οι ελλείψεις των απαιτούμενων γνώσεων χρήσης γεωργικών μηχανημάτων από τους χειριστές όπως όταν δεν γνωρίζει τις δυνατότητες του μηχανήματος, δεν συντηρεί ή δεν επισκευάζει το μηχανήμα, δεν φορτίζει τον ελκυστήρα στα αποδεκτά όρια, όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν το κόστος εργασίας και του γεωργικού προϊόντος και στην περίπτωση αυτή απαιτείται ειδική εκπαίδευση. Η εκπαίδευση πρέπει να δοθεί στους χρήστες, στους αντιπροσώπους μηχανικού εξοπλισμού και στους ανθρώπους που θα παρέχουν υπηρεσίες επισκευών και συντήρησης γεωργικών μηχανημάτων. Επίσης για την λύση των προβλημάτων αυτών είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν μαθηματικά μοντέλα τα οποία δίνουν την πιο ορθολογικά οικονομική εκδοχή. Στα μοντέλα ελαχιστοποίησης του κόστους παραγωγής η εκπαίδευση και η ελαχιστοποίηση των εργατικών προμηθειών αποτελεί σημαντικό παράγων που θα πρέπει να ερευνηθεί στο μέλλον. Είναι επίσης αναγκαίο για την χρήση των μαθηματικών μεθόδων, να επεξεργαστούν όλα τα βασικά δεδομένα της χρήσης και κατασκευής των γεωργικών μηχανημάτων. Ένα πρόβλημα που μας απασχολεί και στο σημείο αυτό πρέπει να το τονίσουμε είναι, ότι θα πρέπει να βρεθεί ένας επιστημονικός τρόπος για την έκφραση του βαθμού εκμηχάνισης που να λαμβάνει υπόψη του όχι μόνο των αριθμό διαξονικών ελκυστήρων που αντιστοιχούν σε 1000στρέμματα, αλλά να μην αποκλείονται οι μονοαξονικοί ελκυστήρες, οι μηχανές συγκομιδής, οι ηλεκτροκινητήρες που χρησιμοποιούνται στην γεωργία, και προπαντός τα παρελκόμενα τα οποία είναι αυτά που εκμηχανίζουν τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το μέγεθος, η μορφολογία και η μηχανική σύσταση του εδάφους της γεωργικής εκμετάλλευσης.

Μία άλλη μέθοδος εκφράσεως του βαθμού εκμηχάνισης των επεμβάσεων σε ποσοστό επί τοις εκατόν, παρουσιάζεται με το λόγο του όγκου εργασίας που γίνεται με τα μηχανήματα ανά του συνόλου όγκου που γίνεται με όλους τους τρόπους για την συγκεκριμένη επέμβαση (εξίσωση 1).

$$B_E = \frac{O_{E\mu}}{O_{\Sigma\mu}} \quad 100\% \quad (1)$$

Ένθα : $O_{E\mu}$ - Όγκος εργασίας που εκτελεί το μηχάνημα για την δεδομένη επέμβαση (στρέμμα, τον, χμ, κ. α.).

$O_{\Sigma\mu}$ - Συνολικός όγκος εργασίας που γίνεται με όλα τα μέσα για τη δεδομένη επέμβαση (στρέμμα, τον, χμ, κ. α.).

Ο βαθμός εκμηχάνισης με αυτόν τον τρόπο εκφράζει την εκμηχάνιση για δεδομένες επεμβάσεις και δεν μπορεί να εκφράσει τον γενικό βαθμό εκμηχάνισης για μία καλλιέργεια, για μία εκμετάλλευση, για έναν νομό ή για μία χώρα. Δεν μπορεί να συγκριθούν και δεν μπορεί να εκφραστεί ο ρυθμός εκμηχάνισης και η αποτελεσματικότητα του όταν οι εργασίες εκτελούνται με διαφορετικούς, σε μέγεθος, ελκυστήρες.

Για να προσδιοριστεί ο βαθμός εκμηχάνισης των εργασιών για μία καλλιέργεια ή συνολικά για μία εκμετάλλευση, μπορεί να χρησιμοποιηθούν άλλες μέθοδοι όπως:

1. Βαθμός εκμηχάνισης με βάση τον λόγο του όγκου των εργασιών, (εκφραζόμενα σε "συμβατικά εκτάρια ") των εκμηχανιζόμενων επεμβάσεων, ανά του συνολικού όγκου εκφράζοντας και αυτός σε συμβατικά εκτάρια (εξίσωση2).

$$B_{EK} = \frac{O_{1E\mu} + O_{2E\mu} + O_{3E\mu} + K + O_{iE\mu}}{O_{1\Sigma\mu} + O_{2\Sigma\mu} + O_{3\Sigma\mu} + K + O_{i\Sigma\mu}} \quad 100\% \quad (2).$$

Ένθα : $O_{1E\mu}, \dots, O_{iE\mu}$ - Εκμηχανιζόμενος όγκος εργασίας για κάθε επέμβαση.

$O_{1\Sigma\mu}, \dots, O_{i\Sigma\mu}$ --- Συνολικός όγκος για κάθε επέμβαση που γίνεται με τα μηχανήματα και άλλους τρόπους (ανθρώπινο έργο η και ζωικό έργο).

2. Βαθμός Εκμηχάνισης με βάση τον λόγο της καταναλισκόμενης ενέργειας για κάθε επέμβαση που εκμηχανίζεται με την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για κάθε επέμβαση (εξίσωση 3).

$$B_{EK} = \frac{E_{1EK} + E_{2EK} + K + E_{iEK}}{E_{1\Sigma N} + E_{2\Sigma N} + K + E_{i\Sigma N}} \quad 100\% \quad (3).$$

Ένθα : E_{1EK}, \dots, E_{iEK} - Καταναλισκόμενη ενέργεια για κάθε επέμβαση που εκμηχανίζεται.

$E_{1\Sigma N}, \dots, E_{i\Sigma N}$ - Συνολική ενέργεια για τη δεδομένη επέμβαση (εκμηχανιζόμενη και μη).

Με τον τρόπο αυτόν θα δημιουργηθεί μια πιο σωστή εικόνα για την επάρκεια και χρήση των γεωργικών μηχανημάτων για κάθε περιοχή, το επίπεδο εκμηχάνισης για κάθε καλλιέργεια, για κάθε νομό και χώρα και για τα προβλήματα που προκύπτουν.

Από διάφορες μελέτες [2] που έχουν γίνει εκτιμάται ότι η μέση αγροτική εκμετάλλευση στην Ελλάδα είναι 45 στρέμματα και η συνολική επένδυση φθάνει τα 25 - 30 εκ. δραχμές. Στην κατανομή των δαπανών τα μηχανήματα καταλαμβάνουν την πρώτη θέση με 45 - 50 % ακολουθούμενα από το έδαφος με 30 -35 % και στη συνέχεια με 15 % τα υπόλοιπα. Από την υποθετική αυτή μέση γεωργική εκμετάλλευση φαίνεται ότι ο γεωργός έχει πολύ περιορισμένα όρια για μείωση του κόστους των άλλων κεφαλαίων εκτός του κεφαλαίου "μηχανήματα ". Η φροντίδα του επομένως θα πρέπει να κατευθύνεται στη μείωση του κόστους των μηχανημάτων. Η μείωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους όπως : Αύξηση της ετήσιας χρησιμοποίησης των μηχανημάτων, συντήρηση και σωστή χρήση τους, και βελτίωση του συστήματος εκμετάλλευσης των γεωργικών μηχανημάτων [2]. Για το θέμα αυτό τονίζουμε πως ο κάθε παραγωγός μπορεί να χρησιμοποιεί δικιά του μηχανήματα, να ενοικιάζει ξένα, να χρησιμοποιεί επαγγελματικά ή συνεταιριστικά. Ανάλογα με τις ανάγκες του μπορεί να επιλέγει μία ή περισσότερες μορφές. Στον τομέα αυτόν χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή και μελέτη γιατί μπορεί να αποδειχτεί οικονομικά χρήσιμη. Οι δακτύλιοι αγροτικών μηχανημάτων (machinery rings) αποτελούν τον δημοφιλέστερο θεσμό κοινής χρήσης αγροτικών μηχανημάτων στην Δυτική Ευρώπη. Έτσι για παράδειγμα, ένα μέλος του δακτύλιου μπορεί να εργάζεται με μια θεριζοαλωνιστική μηχανή σε ένα αριθμό γεωργικών εκμεταλλεύσεων, ενώ ταυτόχρονα ένα άλλο μέλος μπορεί, διαθέτοντας ένα γεωργικό ελκυστήρα, να οργώνει τις ίδιες εκμεταλλεύσεις [1].

Οι δακτύλιοι αγροτικών μηχανημάτων δεν είναι συνεταιρισμοί. Στην ουσία αποτελούνται από ένα αριθμό αγροτών οι οποίοι έχουν ως στόχο την πλέον αποτελεσματική και οικονομική χρήση ορισμένων μηχανημάτων που διαθέτουν.

2. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Η ελληνική βιομηχανία γεωργικών μηχανημάτων αναπτύχθηκε ουσιαστικά και διαφοροφώθηκε μετά το 1970. Η προσφορά της στο σύνολο της εγχώριας βιομηχανικής παραγωγής είναι σχετικά μικρή, όμως ο κλάδος αποτελεί σημαντική δραστηριότητα της ελληνικής βιομηχανίας στον χώρο των μηχανοκατασκευών. Η συντριπτική πλειοψηφία των μονάδων παραγωγής είναι μικρομεσαίες επιχειρήσεις βιοτεχνικού χαρακτήρα.

Τα κύρια προβλήματα του κλάδου είναι ο υπερεξοπλισμός η καθετοποίηση της παραγωγής σε επίπεδο εργοστασίου (όχι σε επίπεδο κλάδου), η τεχνική παλαιώση, η έλλειψη προγραμματισμού, η περιορισμένη ύπαρξη συμπληρωματικών βιομηχανιών υλικών κατασκευής, και ο περιορισμένος βαθμός διαφοροποίησης και τυποποίησης της παραγωγής [1]. Σαν αποτέλεσμα, η πλειοψηφία των κατασκευαστών έχει αναπτύξει αναποτελεσματικές τεχνικές παραγωγής υψηλού κόστους, ενώ τα προϊόντα τους χαρακτηρίζονται από χαμηλή ποιότητα. Επίσης, οι εγχώριοι κατασκευαστές έχουν περιορισμένη δυνατότητα ανάπτυξης νέων σχεδίων, ενώ η αδυναμία προώθησης των προϊόντων στο εξωτερικό, σε συνδυασμό με την περιορισμένη(φθίνουσα)εσωτερική αγορά, εμποδίζουν την ανάπτυξη κατάλληλων οργανωτικών δομών. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με την γενικότερη κρίση στην εγχώρια και διεθνή αγορά γεωργικών μηχανημάτων, έχουν οδηγήσει στην συνεχή απώλεια της ανταγωνιστικότητας της εγχώριας βιομηχανίας, την συνεχή μείωση του επιπέδου παραγωγής, και την επιδείνωση του εμπορικού ισοζυγίου γεωργικών μηχανημάτων.

Επίσης, η σημαντική πρόοδος στην τεχνολογική εξέλιξη του κλάδου, με τη μορφή νέων σύνθετων μηχανημάτων πολλαπλών ταυτόχρονων καλλιεργητικών εργασιών, την διάδοση του αυτόμα-

του ηλεκτρονικού ελέγχου και του ευέλικτου ολοκληρωμένου αυτοματισμού, βρίσκει ανέτοιμες τις εγχώριες κατασκευαστικές μονάδες. Αντίθετα, οι ξένες μονάδες έχουν γενικά προσαρμοσθεί σε νέα κατάλληλα λειτουργικά σχήματα, μέσω της αποκέντρωσης της παραγωγής και τον σαφή διαχωρισμό των διαδικασιών παραγωγής και εμπορίας. Επίσης, έχουν εγκαινιάσει στρατηγικές μείωσης του κόστους παραγωγής, μέσω της αύξησης της τυποποίησης εξαρτημάτων και τύπων μηχανημάτων, της ενδοκλαδικής και διακλαδικής συνεργασίας, και της υιοθέτησης νέων συστημάτων και νέων υλικών κατασκευής.

Στη συντριπτική πλειοψηφία των μονάδων, πολλές διαφορετικές αμοδιότητες, με κύρια μεταξύ των άλλων, την άμεση τεχνική επίβλεψη, συγκεντρώνονται στο πρόσωπο του ιδιοκτήτη. Ελάχιστες μονάδες παραγωγής διαθέτουν επιστημονικό τεχνικό προσωπικό και τεχνική διεύθυνση, επίσης αισθητή είναι η έλλειψη εσωτερικών προδιαγραφών και αδύνατη η σωστή πρόβλεψη του κόστους των προϊόντων. Σχεδόν σε όλες τις μονάδες δεν υπάρχει οργανωμένο γραφείο μελετών για το σχεδιασμό νέων προϊόντων, ο οποίος συνήθως περιορίζεται στην αντιγραφή ξένων προτύπων. Επίσης το εμπορικό ισοζύγιο αγροτικών μηχανημάτων για την τελευταία δεκαετία για την Ελλάδα είναι αρνητικό περίπου 20-25 δις. δολ. /χρόνο με μια μικρή βελτίωση για το 1993 και 1994. Η βελτίωση αυτή οφείλεται κυρίως στις εξωκοινοτικές αγορές στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης. Η συγκεκριμένη προοπτική για εξαγωγές μπορεί να ενισχυθεί μόνο εάν οι εγχώριοι κατασκευαστές βελτιώσουν το επίπεδο ανταγωνιστικότητας των προϊόντων τους, και προχωρήσουν στην κατασκευή γεωργικών μηχανημάτων τα οποία να είναι κατάλληλα για τις γεωφυσικές συνθήκες των συγκεκριμένων χωρών.

Σαν αποτέλεσμα, η ελληνική βιομηχανία γεωργικών μηχανημάτων, για να επιβιώσει, πρέπει να υιοθετήσει μία νέα στρατηγική αναδιάρθρωσης και κυριολεκτικής αναγέννησης, με στόχο την σημαντική βελτίωση του επιπέδου ανταγωνιστικότητας [1, 2]. Η ανάγκη για την συγκεκριμένη βελτίωση καθίσταται άμεση, ιδίως λόγω της περαιτέρω όξυνσης του ανταγωνισμού, η οποία αναμένεται να υποκινηθεί από την διαδικασία εναρμόνισης της Ευρωπαϊκής Αγοράς. Για να υλοποιηθούν τα προβλήματα αυτά κρίνεται αναγκαία η συνεργασία των Ιδρυμάτων του ΕΘΙΑΓΕ, των ΑΕΙ-ΤΕΙ των Κατασκευαστών - Εισαγωγέων γεωργικών μηχανημάτων και του Υπουργείου Γεωργίας. Αναδιάρθρωση του κλάδου αυτού απαιτεί κοινή προσπάθεια από τους φορείς που αναφέρθηκαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ. Ι. Μεργός, Δ. Ψαλτόπουλος. Η βιομηχανία αγροτικών μηχανημάτων και αγροτική εκμηχάνιση. Αθήνα 1996.
2. Κ. Τσατσαρέλης. Διαχείριση γεωργικών μηχανημάτων. Θεσσαλονίκη 1989.
3. D. Hunt. Farm power and machinery management. 1983.
4. Θ. Νάτσος. Προβλήματα διαχείρισης γεωργικών μηχανημάτων. Γεωργική Μηχανολογία Αρ. 2. Τίρανα 1983.
5. B. D. Witney. Choosing and using farm machines. 1996.
6. Goryaskin V. P. Collected Works in three volumes (Luchinskii N. D.) Translated in 1972 from Russian. Published for U. S. D. A. and National Science Foundation. Washington. DC. Jerusalem. Israel: Ketter Press.

2η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑ

Προεδρείο: Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Σούτερ

Συγγραφείς: Θ. Μπαρτζάνας, Π. Γιαγλάρας, Κ. Κίττας

Κ. Καρύτσας

Λ. Καλλιβρούσης, Δ. Μανωλάκος, Γ. Παπαδάκης

Γ. Γκιθώνας

ΤΥΠΟΙ, ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

Θ. Μπαρτζάνας¹, Π. Γιαγλάρας², Κ.Κίττας¹

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Βόλος

²Ενεργειακό Κέντρο Ν.Α. Λάρισας, Κτίριο Νομαρχίας, Λάρισα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή καταγράφονται και αξιολογούνται ενεργειακά τα θερμοκήπια της Μαγνησίας και εκτιμώνται οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας για τη θέρμανσή τους. Συγκεντρώθηκαν στοιχεία σχετικά με την κατασκευή, τον εξοπλισμό, την καλλιέργεια και την κατανάλωση ενέργειας των θερμοκηπίων και εκτιμήθηκε, με τη βοήθεια του λογισμικού HORTICERN, η θεωρητική κατανάλωση ενέργειας και η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση του εξοπλισμού και τη χρήση συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας.

Το 81.2% των εκτάσεων των θερμοκηπίων της Μαγνησίας θερμαίνονται και γι' αυτό το σκοπό καταναλώνονται ετησίως 42.202 GJ, το 84% των οποίων προέρχονται από υγρά καύσιμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι πραγματικές καταναλώσεις ενέργειας είναι πολύ χαμηλότερες των θεωρητικά υπολογιζόμενων. Με την εγκατάσταση θερμοκοιτινών, σε όσα θερμοκήπια προσφέρονται για αυτή την επέμβαση, επιτυγχάνεται 14,4% μείωση της σημερινής ενεργειακής κατανάλωσης της θέρμανσης των θερμοκηπίων της Μαγνησίας. Με τα σημερινά όμως οικονομικά δεδομένα αυτού του είδους η επένδυση δεν είναι συμφέρουσα παρά μόνο για πολύ μικρό αριθμό θερμοκηπίων.

ABSTRACT

Those carecteristics of all the greenhouses of the region of Magnesia (East Central Greece) related to their heating energy consumption were assessed. Real heating energy consumptions were compared to values estimated using the software HORTICERN and several energy saving scenarions were tested (modifications in the construction, thermal screens, etc).

In Magnesia, heated greenhouses represent the 81.2% of the greenhouse area and 42.202 GJ of primary energy are used per year for their heating using mainly (84 %) conventional liquid fuels. Real consumptions are by far lower than theoretical ones. 14,4% of heating energy can be saved using thermal screens in all greenhouses that can accept such equipment, but in the current economic and energetic context this kind of investment is feasible for a very low number of greenhouses.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ήπιες κλιματικές συνθήκες της Μαγνησίας ευνοούν την εγκατάσταση θερμοκηπιακών καλλιέργειών. Παρά όμως τις αισιόδοξες αρχικές προβλέψεις η κακή οργάνωση των θερμοκηπιακών επιχειρήσεων και οι ανεπαρκείς εγκαταστάσεις σε συνδιασμό με την αύξηση του κόστους παραγωγής και τα υψηλά επιτόκια δανεισμού έφεραν πολλές μονάδες σε οικονομικό αδιέξοδο.

Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα κόστους για τις περισσότερες θερμοκηπιακές καλλιέργειες της περιοχής. Η εξοικονόμησή της, εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη και τις ενεργητικές συνέπειες για την επίτευξη των στόχων της εθνικής μας ενεργειακής πολιτικής, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην μείωση του κόστους παραγωγής και στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Τελικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση της δυνατότητας εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων της Μαγνησίας. Για αυτό το σκοπό αποτυπώθηκε αρχικά το δυναμικό των θερμοκηπιακών μονάδων του νομού Μαγνησίας, στην συνέχεια αξιολογήθηκαν ενεργειακά τα θερμαινόμενα θερμοκήπια και τέλος εκτιμήθηκε θεωρητικά η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση εφαρμοσμένων λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτά τα θερμοκήπια.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Καταγραφή των θερμοκηπιακών μονάδων

Σκοπός της καταγραφής των θερμοκηπιακών μονάδων του νομού Μαγνησίας ήταν να συγκεντρωθούν τα απαραίτητα στοιχεία για την ενεργειακή αξιολόγηση των θερμοκηπίων και να διαπιστωθεί η γενικότερη κατάσταση των θερμοκηπίων της περιοχής.

Η καταγραφή έγινε με την μέθοδο της απογραφής, δηλαδή συγκεντρώθηκαν στοιχεία από όλες τις στατιστικές μονάδες του υπό εξέταση πληθυσμού. Η συγκέντρωση των στοιχείων έγινε με επίσκεψη της κάθε μονάδας ξεχωριστά και την συμπλήρωση κατάλληλα διαμορφωμένου ερωτηματολογίου. Ειδικότερα τα στοιχεία του ερωτηματολογίου αφορούν :

- την κατασκευή: εκτάσεις, ηλικία, τύπος και διαστάσεις θερμοκηπίων, υλικά σκελετού και κάλυψης, κ.α.
- τον εξοπλισμό: εξαερισμός, θέρμανση, άρδευση, σκίαση και θερμοκουρτίνα
- την καλλιέργεια: καλλιεργούμενα είδη, περίοδοι καλλιέργειας, παραγόμενες ποσότητες, αγορά πώλησης, κ.α.
- το κόστος παραγωγής: προσωπικό, χρόνος αντικατάστασης πλαστικού, ποσότητα - κόστος καυσίμου, κόστος καλλιέργειας, κ.α.

Η επεξεργασία των στοιχείων της απογραφής αποσκοπούσε αρχικά στην αποτύπωση του δυναμικού του κλάδου των θερμοκηπίων και της κατασκευαστικής και ενεργειακής ποιότητας των χρησιμοποιούμενων θερμοκηπίων. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στα θερμαινόμενα θερμοκήπια και στα χρησιμοποιούμενα συστήματα θέρμανσης.

Ενεργειακή αξιολόγηση των θερμοκηπιακών γεωργικών εκμεταλλεύσεων

Για την ενεργειακή αξιολόγηση των θερμοκηπιακών εκμεταλλεύσεων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις δείκτες:

- Δείκτης Α: Πραγματική Ειδική κατανάλωση Ενέργειας για θέρμανση
- Δείκτης Β: Θεωρητική Ειδική Κατανάλωση Ενέργειας για θέρμανση
- Δείκτης Γ: Διαφορά Πραγματικής-Θεωρητικής Ειδικής Κατανάλωσης Ενέργειας για Θέρμανση
- Δείκτης Δ: Αποδοτικότητα (ή Παραγωγικότητα) της Ενέργειας.

Δείκτης Α: Πραγματική Ειδική κατανάλωση ενέργειας

Πρόκειται για την κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους. Όταν οι συνθήκες του εξωτερικού κλίματος και οι επιθυμητές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ταυτίζονται τότε η ειδική κατανάλωση ενέργειας κάθε θερμοκηπίου εξαρτάται από τον προσανατολισμό, το σχήμα, τον εξοπλισμό και τα υλικά κατασκευής. Σε αυτή τη περίπτωση αποτελεί ένα δείκτη ενεργειακής ποιότητας της κατασκευής.

Στην περίπτωση μας όμως ενώ το εξωτερικό κλίμα διαφέρει ελάχιστα από το ένα θερμοκήπιο στο άλλο, αναμένεται ότι θα υπάρχουν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τις εσωτερικές επιθυμητές συνθήκες, τους τρόπους και τα συστήματα που εφαρμόζει ο κάθε παραγωγός να τις διαμορφώσει αλλά και το είδος και το χρονοδιάγραμμα της κάθε καλλιέργειας. Οι διαφορές στις ειδικές καταναλώσεις ενέργειας μεταξύ διαφορετικών θερμοκηπίων θα συμπεριλαμβάνουν συνεπώς εκτός από την επίδραση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών και την επίδραση του τρόπου διαχείρισης του συστήματος από τους παραγωγούς.

Δείκτης Β: Θεωρητική Ειδική Κατανάλωση Ενέργειας

Αυτός ο δείκτης χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση της επίδρασης των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών και του εξοπλισμού από όλες τις άλλες πηγές παραλλακτικότητας της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση των θερμοκηπίων που δεν σχετίζονται με την κατασκευή.

Για κάθε τύπο θερμοκηπίου, υπολογίστηκε η κατανάλωση ενέργειας που θα είχε θεωρητικά το θερμοκήπιο αν διατηρούνταν σε αυτό σταθερή θερμοκρασία του αέρα την νύκτα 15°C καθόλη τη διάρκεια του χειμώνα. Με θερμοκρασία του αέρα την νύκτα της τάξεως των 15°C η ανάπτυξη των περισσότερων ανθοκομικών ειδών είναι ικανοποιητική. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HORTICERN [1].

Η θεωρητική ειδική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κάθε θερμοκηπίου υπολογίστηκε από τον λόγο της θεωρητικής κατανάλωσης ενέργειας προς την συνολική του επιφάνεια εδάφους.

Δείκτης Γ: Διαφορά Πραγματικής-Ειδικής κατανάλωσης ενέργειας

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η θεωρητική ειδική κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να είναι μεγαλύτερη από την πραγματική γιατί η πρώτη αφορά την διατήρηση ιδανικών συνθηκών ανάπτυξης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθόλη τη διάρκεια του χειμώνα. Αυτό όμως δεν συμβαίνει ποτέ στην πραγματικότητα είτε σκόπιμα για να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση της θέρμανσης είτε μη σκόπιμα γιατί για παράδειγμα η ισχύς του συστήματος θέρμανσης δεν επιτρέπει πάντα την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών. Βέβαια σε όλα αυτά υποθέτουμε ότι ο υπολογισμός της θεωρητικής κατανάλωσης ενέργειας γίνεται με μεγάλη ακρίβεια.

Κατά συνέπεια όσο μικρότερη είναι πραγματική κατανάλωση από την θεωρητική τόσο πιο ακατάλληλες για την ανάπτυξη των φυτών θα είναι οι συνθήκες που θα διατηρούνται στο θερμοκήπιο ή τόσο μικρότερη θα είναι η διάρκεια της πραγματικής περιόδου θέρμανσης. Αντίθετα όσο μεγαλύτερη είναι η πραγματική ειδική κατανάλωση τόσο πιο πιθανό είναι είτε ο παραγωγός να έδωσε ανακριβή στοιχεία είτε το θερμοκήπιο να παρουσιάζει κατασκευαστικές ατέλειες, είτε να μην γίνεται ορθολογική χρήση της ενέργειας.

Τα διαθέσιμα στοιχεία δεν επιτρέπουν βέβαια τον εντοπισμό των λόγων που συντρέχουν στη διαφοροποίηση της πραγματικής από την θεωρητική κατανάλωση ενέργειας. Η μελέτη όμως της απόκλισης μεταξύ των δύο έχει ιδιαίτερη αξία κυρίως στην περίπτωση όπου η πραγματική κα-

τανάλωση είναι μεγαλύτερη από την θεωρητική επειδή με αυτό τον τρόπο μπορούν να εντοπιστούν οι ενεργειακές και μη αποτελεσματικές θερμοκηπιακές μονάδες.

Δείκτης Δ: Αποδοτικότητα (ή παραγωγικότητα) της ενέργειας

Θεωρητικά ισούται με τον λόγο της ετήσιας ποσότητας των παραγόμενων προϊόντων προς την καταναλισκόμενη ενέργεια για την παραγωγή της. Το αντίστροφο αυτού του δείκτη καλείται ενεργειακό κόστος του παραγόμενου προϊόντος [2].

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο λόγος της συνολικής ετήσιας παραγωγής του κάθε θερμοκηπίου προς την ενέργεια που καταναλώθηκε για την θέρμανση. Αυτός ο δείκτης έχει νόημα συνεισφέροντας μόνο για τα θερμαινόμενα θερμοκήπια ενώ παράλληλα παραβλέπεται το γεγονός ότι ένα μέρος της δηλωθείσας παραγωγής μπορεί να πραγματοποιήθηκε χωρίς την χρήση της θέρμανσης (π.χ. παραγωγή από Φεβρουάριο έως Σεπτέμβριο η οποία δηλώθηκε στη συνολική παραγωγή της μονάδας).

Αυτός ο δείκτης αποτελεί ένα μέσο συνολικής αξιολόγησης όλου του συστήματος παραγωγής λαμβάνοντας υπόψη τόσο την ενεργειακή όσο και την καλλιεργητική και εμπορική διαχείριση. Με δεδομένο το γεγονός ότι στα θερμαινόμενα θερμοκήπια η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση αντιπροσωπεύει το 70-90% του ενεργειακού κόστους των προϊόντων μπορεί αυτός ο δείκτης να χρησιμοποιηθεί και για τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών παραγωγικών συστημάτων.

Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας.

Η μελέτη των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας αφορούσε μόνο τη θερμαινόμενα θερμοκήπια και μόνο την ενέργεια της θέρμανσης. Συγκεκριμένα αξιολογήθηκαν οι δυνατότητες εξοικονόμησης με επεμβάσεις που αφορούν :

- τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (π.χ. υλικό κάλυψης, κ.α.)
- τον εξοπλισμό (π.χ. συστήματα θέρμανσης, θερμοκουρτίνες, κ.α.)

Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HORTICERN και συγκεκριμένα υπολογίστηκε για κάθε θερμοκήπιο η ποσοστιαία θεωρητική (ή δυνητική) εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιτευχθεί σύμφωνα με το λογισμικό με την εφαρμογή σε αυτό των προτεινόμενων επεμβάσεων. Δηλαδή, ο λόγος της θεωρητικής κατανάλωσης πριν την επέμβαση μείον την θεωρητική κατανάλωση μετά την επέμβαση προς την θεωρητική κατανάλωση πριν την επέμβαση.

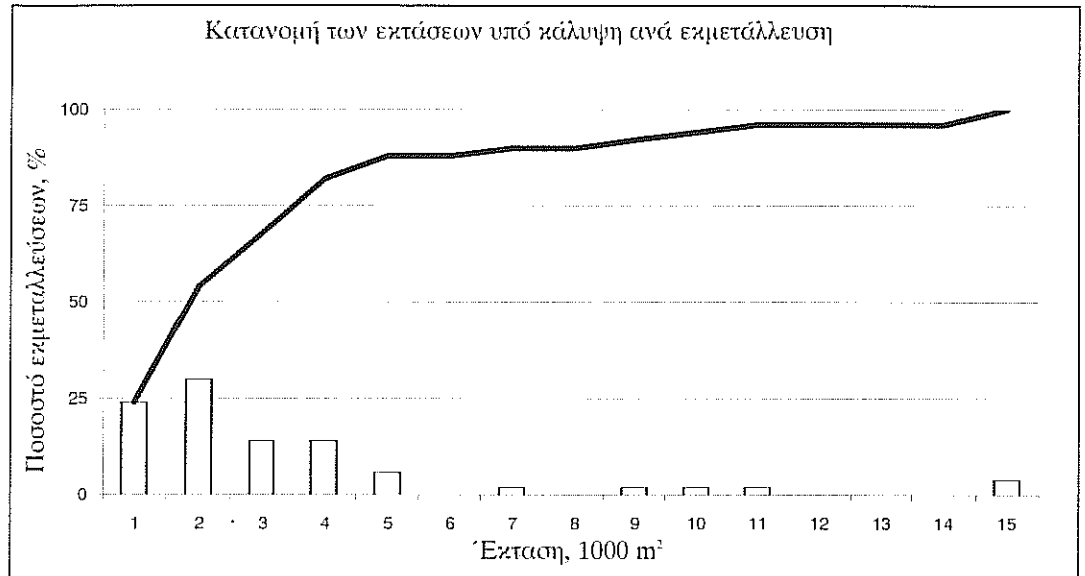
Η πραγματική απόλυτη εξοικονόμηση ενέργειας για κάθε θερμοκήπιο και είδος επέμβασης εκτιμήθηκε πολλαπλασιάζοντας την αντίστοιχη ποσοστιαία θεωρητική εξοικονόμηση προς την πραγματική σημερινή κατανάλωση ενέργειας του θερμοκηπίου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η κατάσταση των θερμοκηπιακών μονάδων στη Μαγνησία

Αριθμός εκμεταλλεύσεων-Εκτάσεις-Καλλιεργούμενα Είδη

Αυτή τη στιγμή στο νομό Μαγνησίας υπάρχουν 50 γεωργικές εκμεταλλεύσεις που διαθέτουν 165 θερμοκήπια (μονάδες) συνολικής έκτασης 159.300 m². Στο 94% των εκτάσεων καλλιεργούνται ανθοκομικά γλαστρικά φυτά. Η αποκλειστική καλλιέργεια της γαρδένιας καταλαμβάνει το 40% των εκτάσεων, ενώ στο 14% αυτή συγκαλλιεργείται με άλλα γλαστρικά είδη. Η πλειοψηφία των θερμοκηπίων συγκεντρώνεται στις περιοχές Βόλου, Αγριάς, Λεχωνίων, Αλμυρού και Βελεστίου.



Σχήμα 1. Κατανομή των εκτάσεων των θερμοκηπίων της Μαγνησίας ανά γεωργική εκμετάλλευση

Η μέση έκταση των θερμοκηπίων ανά εκμετάλλευση που υπολογίζεται διαιρώντας την συνολική έκταση προς τον αριθμό των εκμεταλλεύσεων είναι 3.190 m² ανά εκμετάλλευση. Στο σχήμα 1 όμως βλέπουμε ότι η κατανομή των εκτάσεων ανά εκμετάλλευση ακολουθεί μια συνάρτηση τύπου γ, δηλαδή οι περισσότερες εκμεταλλεύσεις διαθέτουν μικρής έκτασης θερμοκήπια. Το 50% των εκμεταλλεύσεων διαθέτει θερμοκήπια μικρότερα από 2.000 m² και το 80% μικρότερα από 5.000 m².

Τύποι και υλικά σκελετού και κάλυψης.

Το 88% της έκτασης των θερμοκηπίων της Μαγνησίας αφορά μεταλλικά (83% γαλβανισμένος σίδηρος και 5% αλουμίνιο) και το 12% ξύλινα.

Το 71,1% της έκτασης των μεταλλικών θερμοκηπίων είναι αμφίροικτα (απλά 8,9% και πολλαπλά 91,1%), το 18,8% τοξωτά και το 10,1% απλά και πολλαπλά τροποποιημένα τοξωτά. Τα αμφίροικτα μεταλλικά θερμοκήπια είναι στην πλειοψηφία τους (84% της έκτασης) καλυμμένα με γυαλί στα πλαϊνά και στην οροφή. Στα υπόλοιπα (16%) χρησιμοποιείται μονό πολυαιθυλένιο. Τα τροποποιημένα τοξωτά και τα τοξωτά είναι καλυμμένα ως επί το πλείστον με μονό πολυαιθυλένιο εκτός από 2 σύγχρονα τροποποιημένα τοξωτά (3000 m² το καθένα) που είναι και τα δύο καλυμμένα με γυαλί στα πλαϊνά, ενώ στην οροφή το ένα έχει μονό και το άλλο διπλό πολυαιθυλένιο.

Τα ξύλινα θερμοκήπια είναι αμφίροικτα (απλά 58%, πολλαπλά 42%) και είναι όλα καλυμμένα με μονό πολυαιθυλένιο.

Πίνακας 1. Τύποι και υλικά κάλυψης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων

Τύπος Θερμοκηπίου	Υλικό Κάλυψης		Μονάδες		Έκταση		
	Πλαινών	Οροφής	Αριθμός	%	m ²	%	
Ξύλινα			6	5,5	7.200	5,6	
Αμφίρροικτα απλά	PE	PE	5	4,6	2.200	1,7	
Αμφίρροικτα πολλαπλά	PE	PE	1	0,9	5.000	3,9	
Μεταλλικά			102	94,5	121.200	94,4	
Τοξωτά	PE	PE	32	29,6	12.300	9,6	
Τροποποιημένα τοξωτά			24	22,2	12.700	9,9	
Απλά	PE	PE	21	19,5	4.200	3,3	
Πολλαπλά	PE	PE	1	0,9	2.500	2,0	
	Γυαλί	PE	1	0,9	3.000	2,3	
	Γυαλί	PE2	1	0,9	3.000	2,3	
Αμφίρροικτα			46	42,7	96.200	74,9	
Απλά	PE	PE	5	4,7	3.100	2,4	
	Γυαλί	Γυαλί	4	3,7	2.300	1,8	
	Πολλαπλά	PE	PE	4	3,7	8.900	6,9
	Γυαλί	Γυαλί	33	30,6	82.900	63,8	
ΣΥΝΟΛΟ			108	100	129.400	100	

Τύποι και εξοπλισμός θερμαινόμενων θερμοκηπίων

Από τα 159.300 m² που καταλαμβάνουν τα θερμοκήπια στη Μαγνησία, θερμαίνονται τα 129.400 m² (81%). Τα μεταλλικά αμφίρροικτα γυάλινα θερμοκήπια αντιπροσωπεύουν το 65,6 % των θερμαινόμενων εκτάσεων (Πίνακας 1). Τα θερμαινόμενα θερμοκήπια με κάλυψη πολυαιθυλενίου αντιπροσωπεύουν το 39% των θερμαινόμενων εκτάσεων.

Τα συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιούν για την μετάδοση της θερμότητας στο θερμοκήπιο διατάξεις μετάδοσης:

στον αέρα και στην καλλιέργεια, με συνδυασμό φαινομένων συναγωγής (βεβιασμένης ή ελεύθερης) και ακτινοβολίας (αερόθερμα, εναέριες σωληνώσεις και θερμάστρες),

ή στο έδαφος με αγωγή από την επιφάνεια και στην καλλιέργεια με συναγωγή και ακτινοβολία (επιδαπέδια)

ή και τα δύο προηγούμενα (αερόθερμα+επιδαπέδια και εναέριες σωληνώσεις+επιδαπέδια).

Η μετάδοση-διανομή της θερμότητας με το επιδαπέδιο σύστημα εφαρμόζεται στο 77% των θερμαινόμενων εκτάσεων (55% κατά αποκλειστικότητα και 22% σε συνδυασμό με σύστημα θέρμανσης του αέρα) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Συστήματα διανομής θερμότητας στο θερμοκήπιο που χρησιμοποιούνται στα θερμαινόμενα θερμοκήπια της Μαγνησίας.

Σύστημα Διανομής Θερμότητας	Έκταση m ²	Ποσοστό Θερμαινόμενων Εκτάσεων %
Θέρμανση Αέρα	29.700	22,9
<i>Αερόθερμο</i>	<i>11.600</i>	<i>8,9</i>
<i>Εναέριες σωληνώσεις</i>	<i>13.500</i>	<i>10,4</i>
<i>Θερμάστρες</i>	<i>4.600</i>	<i>3,5</i>
Θέρμανση Εδάφους	70.900	54,8
<i>Επιδαπέδια</i>	<i>70.900</i>	<i>54,8</i>
Θέρμανση Αέρα-Εδάφους	28.800	22,3
<i>Αερόθερμο+Επιδαπέδια</i>	<i>10.800</i>	<i>8,4</i>
<i>Εναέριες σωλ.+Επιδαπέδια</i>	<i>18.000</i>	<i>13,9</i>

Ενεργειακή αξιολόγηση

Από τις δηλώσεις των παραγωγών προκύπτει ότι στη Μαγνησία καταναλώνονται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων περίπου 42.202 GJ ανά έτος (στοιχεία 1996). Το 84% αυτής της ενέργειας προέρχεται από ορυκτά υγρά καύσιμα (πετρέλαιο και μαζούτ), το 13% από ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (πυρηνόξυλο) και το υπόλοιπο (3%) από υγραέριο. Η μεγαλύτερη, αναλογικά, κατανάλωση ενέργειας πραγματοποιείται στα μεταλλικά αμφίρρικτα γυάλινα θερμοκήπια (69,6%, Πίνακας 3). Αυτό ήταν αναμενόμενο εφόσον αυτό ο τύπος αντιπροσωπεύει μεγάλο ποσοστό των θερμαινόμενων εκτάσεων (Πίνακας 2).

Πραγματική και θεωρητική ενεργειακή κατανάλωση

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας των θερμαινόμενων θερμοκηπίων που προκύπτει από τα δεδομένα των παραγωγών είναι κατά 43% μικρότερη από αυτή που υπολογίζεται θεωρητικά (HORTICERN, διατήρηση της θερμοκρασίας της νύκτας στους 15 °C). Η υπερεκτίμηση των πραγματικών καταναλώσεων είναι υπερβολική ειδικότερα στην περίπτωση του ξύλινου πολλαπλού αμφίρικτου θερμοκηπίου (93%), στα τοξωτά (83%) και στα απλά μεταλλικά αμφίρικτα με πολυαιθυλένιο (69%). Η πραγματική μέση ειδική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση από όλα τα θερμαινόμενα θερμοκηπία της Μαγνησίας είναι 346 ± 211 MJ m⁻², ενώ η θεωρητική είναι 631 ± 89 MJ m⁻² (Πίνακας 3).

Τα θερμοκήπια με θέρμανση μόνο του εδάφους έχουν χαμηλότερη μέση ειδική κατανάλωση (288 ± 187 MJ m⁻²) από τα θερμοκήπια με θέρμανση μόνο του αέρα (392 ± 216 MJ m⁻²) ή του αέρα και του εδάφους (498 ± 188 MJ m⁻²) (Πίνακας 4). Τα θερμοκήπια που θερμαίνονται μόνο με αερόθερμο ή εναέριες σωλίνες ζεστού νερού έχουν παρόμοιες ειδικές καταναλώσεις (205 ± 161 και 235 ± 84 MJ m⁻² αντίστοιχα) με αυτά που θερμαίνονται με μόνο επιδαπέδια θέρμανση (288 ± 187 MJ m⁻²).

Πίνακας 3. Προγραμματική και θεωρητική κατανομή ενέργειας για θέρμανση των θερμοκηπίων.

Τύπος Θερμοκηπίου	Υλικό Κάλυψης	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας στη Θέρμανση				Μέση Ετήσια Ειδική Κατανάλωση			
		Προγραμματική GJ y ⁻¹	Οροφής %	Εκτίμηση GJ y ⁻¹	%	Προγραμματική MJ m ² y ⁻¹	Μέση Τιμή ± σ MJ m ² y ⁻¹	Προγραμματική MJ m ² y ⁻¹	Εκτίμηση Μέση Τιμή ± σ MJ m ² y ⁻¹
Ξύλινα		1226	2,9	4070	5,5	410±230		679±96	
Αμφίρρογκα απλά	PE	1025	2,4	1175	1,6	373±213		729±94	
Αμφίρρογκα πολλαπλά	PE	201	0,5	2895	3,9	-	-	224	
Μεταλλικά		40976	97,1	70488	94,5	348±206		627±89	
Τοξοτά	PE	1443	3,4	8323	11,1	184±170		678±14	
Τροποποιημένα τοξοτά		4380	10,4	8320	11,1	324±99		746±219	
Απλά	PE	1580	3,8	3879	5,2	-	-	-	
Πολλαπλά	PE	560	1,3	1513	2,0	-	-	-	
	Γυαλί	840	2,0	1407	1,9	-	-	-	
	Γυαλί	1400	3,3	1521	2,0	-	-	-	
Αμφίρρογκα		35154	83,3	53845	72,3	391±211		639±89	
Απλά	PE	674	1,6	2217	3,0	254±116		712±37	
	Γυαλί	708	1,7	1547	2,1	331±180		672±3	
Πολλαπλά	PE	4393	10,4	5520	7,4	499±247		625±18	
	Γυαλί	29378	69,6	44561	59,8	396±228		547±20	
ΣΥΝΟΛΟ		42202	100	74557	100	346±211		631±89	

Η παραλλακτικότητα των πραγματικών ειδικών ενεργειακών καταναλώσεων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των θεωρητικών είτε ομαδοποιήσουμε τα αποτελέσματα κατά τύπο θερμοκηπίου είτε κατά είδος συστήματος θέρμανσης. Αυτό καθιστά μεν αδύνατη οποιαδήποτε στατιστική σύγκριση μέσων, αλλά δείχνει επίσης ότι οι διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση από το ένα θερμοκήπιο στο άλλο δεν οφείλονται ούτε στα διαφορετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 3) ούτε στα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης-διανομής της θερμότητας (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Πραγματική και θεωρητική μέση ετήσια ειδική κατανάλωση ενέργειας ανά είδος συστήματος θέρμανσης-μετάδοσης.

Σύστημα Διανομής Θερμότητας	Μέση Ετήσια Ειδική Κατανάλωση			
	Πραγματική		Εκτίμηση	
	Μέση Τιμή ± σ		Μέση Τιμή ± σ	
	MJ m ⁻² y ⁻¹	MJ m ⁻² y ⁻¹	MJ m ⁻² y ⁻¹	MJ m ⁻² y ⁻¹
Θέρμανση Αέρα	392 ± 216		648 ± 74	
Αερόθερμο	205 ± 161		688 ± 21	
Εναέριες σωληνώσεις	235 ± 84		560 ± 28	
Θερμιάστρες	591 ± 173		643 ± 90	
Θέρμανση Εδάφους	288 ± 187		612 ± 99	
Επιδαπέδια	288 ± 187		612 ± 99	
Θέρμανση Αέρα-Εδάφους	498 ± 188		666 ± 79	
Αερόθερμο + Επιδαπέδια	461 ± 210		691 ± 85	
Εναέριες σωλ. + Επιδαπέδια	626 ± 90		579 ± 8	

Αποδοτικότητα της ενέργειας

Η αποδοτικότητα της θερμικής ενέργειας που παρέχεται στο σύστημα παραγωγής, υπολογίστηκε σε ετήσια βάση και βρέθηκε ίση με 49 ± 14 kg GJ⁻¹ στην περίπτωση των κηπευτικών και 65 ± 66 φυτά GJ⁻¹ στην περίπτωση των ανθοκομικών. Ειδικότερα για την γαρδένια είναι ίση με 135 ± 102 φυτά GJ⁻¹. Οι μικρότερες τιμές ενεργειακής αποδοτικότητας καταγράφηκαν για καλλιέργεια φίκου (7 φυτά GJ⁻¹) και για καλλιέργεια κέντιας (9 φυτά GJ⁻¹). Οι υψηλότερες τιμές αφορούν καλλιέργεια βολβιδών ειδών σε θερμαινόμενο τροποποιημένο τοξωτό 1000 m² (361 φυτά GJ⁻¹) και ετήσια καλλιέργεια γαρδένιας σε μεταλλικό αμφίρριζο πολλαπλό γυάλινο θερμοκήπιο 10000 m² με επιδαπέδια θέρμανση (373 φυτά GJ⁻¹).

Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας

Στον πίνακα 1 φαίνεται ότι η πλειοψηφία των θερμαινόμενων θερμοκηπίων είναι μεταλλικά πολλαπλά αμφίρριζα με κάλυψη από γυαλί. Σε αυτά πραγματοποιείται και η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση.

Αυτού του είδους τα θερμοκήπια δεν επιδέχονται περαιτέρω κατασκευαστικές βελτιώσεις που να μπορούν να επιφέρουν σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση. Αντίθετα, η μεγάλη παραλλακτικότητα των ειδικών καταναλώσεων ενέργειας αυτών των θερμοκηπίων (396 ± 228 , Πίνακας 3) δείχνει ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας με επεμβάσεις που αφορούν περισσότερο την ορθολογική διαχείριση του κλίματος και την κατάλληλη επιλογή και προγραμματισμό της καλλιέργειας.

Οι θερμοκουρτίνες θα μπορούσαν να εγκατασταθούν μόνο στα μεταλλικά τροποποιημένα τοξοτά και στα αμφίροικτα θερμοκήπια που δεν διαθέτουν ήδη θερμοκουρτίνες, δηλαδή σε έκταση 80.900 m². Χρησιμοποιώντας το θεωρητικό μοντέλο εκτιμήθηκε για κάθε τύπο θερμοκηπίου που μπορεί να δεχθεί θερμοκουρτίνα η ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με θερμοκουρτίνα διπλά επιμεταλλωμένη. Εφαρμόζοντας την ποσοστιαία εξοικονόμηση στις πραγματικές καταναλώσεις ενέργειας των θερμοκηπίων υπολογίστηκε ότι με τις θερμοκουρτίνες μπορούν να εξοικονομηθούν συνολικά 6.093 GJ ανά έτος, δηλαδή 142,7 τόννοι πετρελαίου. Η πραγματική μέση ειδική εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται σε 75,3 MJ m⁻² ανά έτος.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα θερμοκήπια της Μαγνησίας έχουν κατασκευαστεί κυρίως για την καλλιέργεια ανθοκομικών προϊόντων ιδιαίτερα ωπαιτητικών σε θερμοκρασία. Στην πλειοψηφία τους είναι μεταλλικά με κάλυψη γυαλιού θερμοιανόμενα.

Οι πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις διαφέρουν σημαντικά από τις θεωρητικά υπολογιζόμενες για τη διατήρηση 15 °C το θερμοκήπιο όλο το χειμώνα κατά τη διάρκεια της νύκτας. Είναι πολύ πιθανόν συνεπώς οι παραγωγοί να διατηρούν θερμοκρασίες χαμηλότερες από 15 °C το χειμώνα ή να καθυστερούν την έναρξη της θέρμανσης τον χειμώνα. Ελάχιστα θερμοκήπια διαθέτουν προηγμένα συστήματα ελέγχου και καταγραφής του κλίματος. Είναι αδύνατον συνεπώς να γνωρίζουμε με ακριβεία τις θερμοκρασίες του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Για να δικαιολογηθούν όμως οι διαφορές μεταξύ εκτιμώμενης και θεωρητικής κατανάλωσης ενέργειας της τάξεως του 70-90% που παρατηρούνται πρέπει οι θερμοκρασίες του αέρα στα θερμοκήπια να είναι κατά 6-7 βαθμούς χαμηλότερες από τους 15 °C, δηλαδή 8-9 °C. Σε αυτές τις συνθήκες η ανάπτυξη των φυτών είναι πολύ αργή με αποτέλεσμα αυτά απλά να διατηρούνται στο θερμοκήπιο το χειμώνα περιμένοντας την άνοιξη (Μάρτιο-Απρίλιο) για να αρχίσουν να αναπτύσσονται.

Οι ειδικές ενεργειακές καταναλώσεις της θέρμανσης παρουσιάζουν πολύ μεγάλη παραλλακτικότητα τόσο με την ομαδοποίηση κατά τύπο θερμοκηπίου (Πίνακας 3) όσο και κατά είδος συστήματος θέρμανσης (Πίνακας 4). Αντίθετα η παραλλακτικότητα των θεωρητικών τιμών είναι πολύ μικρότερη. Αυτό σημαίνει ότι η μόνο η επίδραση των κατασκευαστικών διαφορών των θερμοκηπίων όπως αυτή λαμβάνεται υπόψη από το θεωρητικό μοντέλο δεν αρκεί για να εξηγηθούν οι τόσο υψηλές διαφορές στην κατανάλωση ενέργειας που καταγράφηκαν μεταξύ των θερμοκηπίων.

Βασίζόμενοι στις θεωρητικές εκτιμήσεις της ειδικής κατανάλωσης, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι για τις κλιματικές συνθήκες της Μαγνησίας η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας επιτυγχάνεται με μεταλλικό πολλαπλό αμφίροικτο γυάλινο θερμοκήπιο (547 ± 20 MJ m⁻², Πίνακας 3) που φέρει εναέριες σωληνώσεις ζεστού νερού (559 ± 28 MJ m⁻², Πίνακας 4).

Οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας από τη θέρμανση των θερμοκηπίων στη Μαγνησία επεμβαίνοντας στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των υπαρχόντων θερμοκηπίων είναι ελάχιστες.

Η πλειοψηφία των θερμαινόμενων θερμοκηπίων είναι μεταλλικά γυάλινα πολλαπλά αμφίρροικτα με πολύ καλή ενεργειακή συμπεριφορά για το κλίμα της περιοχής.

Τα τροποποιημένα τοξωτά και αμφίρροικτα θερμοκήπια στα οποία θα μορούσαν να εγκατασταθούν θερμοκουρτίνες αντιπροσωπεύουν 80.900 m². Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν συνολικά 6.093 GJ ανά έτος, δηλαδή 142,7 τόνοι πετρελαίου. Για αυτό το σκοπό θα πρέπει να επενδυθούν συνολικά 242,7 εκατομμύρια δραχμές (κόστος διπλά επιμεταλλωμένης θερμοκουρτίνας = 3.000 δρχ m²) τα οποία με την σημερινή τιμή του πετρελαίου (100 δρχ ανά λίτρο) θα αποσβεσθούν σε 17 χρόνια (!!!) Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι λόγω των χαμηλών σημερινών καταναλώσεων ενέργειας για θέρμανση στα υφιστάμενα θερμοκήπια, η μέση ειδική εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τις θερμοκουρτίνες είναι πολύ χαμηλή (75,3 MJ m⁻² ανά έτος). Ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας και τον τύπο του θερμοκηπίου αυτή κυμαίνεται από 11,5 έως 317,7 MJ m⁻² ανά έτος. Η υπολογιζόμενη ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολύ μικρότερη από το 30-40% που συναντάται στη βιβλιογραφία [3, 4].

Με τα σημερινά οικονομικά δεδομένα και αν η διάρκεια ζωής μιας θερμοκουρτίνας είναι 7 χρόνια, τότε θα πρέπει η ειδική εξοικονόμηση ενέργειας μετά την εγκατάστασή της να είναι τουλάχιστον ίση με 160 MJ m⁻² ανά έτος. Από τα στοιχεία της μελέτης προκύπτει ότι αυτό ισχύει για υφιστάμενα θερμοκήπια συνολικής έκτασης 6.300 m² μόνο (!!!!), δηλαδή μόνο 8% των θεωρητικά κατάλληλων 80.900 m² για αυτού του είδους την επέμβαση.

Θα πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι η σχετικά χαμηλή πραγματική ενεργειακή κατανάλωση των θερμοκηπίων ίσως είναι και συνάρτηση της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Δηλαδή, ο κάθε παραγωγός ρυθμίζει την κατανάλωση ενέργειας και την παραγωγή σε χαμηλά επίπεδα ανάλογα με τις οικονομικές του δυνατότητες και το κόστος παραγωγής που θέλει να πετύχει. Σε αυτή την περίπτωση η εγκατάσταση θερμοκουρτίνας ίσως να μην επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας αλλά με τα ίδια έξοδα ο παραγωγός θα μπορεί να πετύχει υψηλότερες θερμοκρασίες και να αυξήσει έτσι την παραγωγή του και ποσοτικά και ποιοτικά και με αυτό τον τρόπο να αποσβεσει την θερμοκουρτίνα. Η μελέτη όμως αυτού του σεναρίου προϋποθέτει την ύπαρξη βιολογικών μοντέλων ανάπτυξης των φυτών σε συνάρτηση τουλάχιστον με την θερμοκρασία.

Θα παραμείνουμε συνεπώς στο συμπέρασμα ότι για να επενδύσει κάποιος παραγωγός της Μαγνησίας στην εξοικονόμηση ενέργειας στο θερμοκήπιο θα πρέπει:

- να έχει πολύ υψηλή πραγματική κατανάλωση ενέργειας,
- να αυξηθεί η τιμή του πετρελαίου,
- να υπάρχουν κίνητρα στους υποψήφιους επενδυτές για τη μείωση του χρόνου απόσβεσης της επένδυσης,

Ο εντοπισμός όλων των παραμέτρων που διαμορφώνουν την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων θέρμανσης των θερμοκηπίων αποτελεί μια ενδιαφέρουσα κατεύθυνση για τη συνέχεια και συμπλήρωση αυτής μελέτης. Επίσης ενδιαφέρουσα θα ήταν και η μελέτη των δυνατοτήτων προώθησης της χρήσης των ήπιων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη θέρμανση των θερμοκηπίων της Μαγνησίας και η αξιολόγηση του περιβαλλοντικού οφέλους που μπορούν να επιφέρουν.

Ευχαριστίες: Θα θέλαμε εδώ να ευχαριστήσουμε θερμά όλους όσους βοήθησαν στην καταγραφή των θερμοκηπίων της Μαγνησίας και ειδικότερα τους υπευθύνους του Συλλόγου Ανθοπαραγωγών Μαγνησίας, του Συλλόγου Παραγωγών Γαρδένιας Μαγνησίας και τους συναδέλ-

φους της Διεύθυνσης Γεωργικής Ανάπτυξης της Ν.Α. Μαγνησίας καθώς επίσης και τους υπευθύνους του Περιφερειακού Ενεργειακού Κέντρου Θεσσαλίας που μας παρείχαν στατιστικά κλιματικά στοιχεία για την Μαγνησία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Jolliet O., Lereshe F., 1989. HORTICERN user guide. A programm for calculating greenhouse energy consumption EPFL, Laboratory de Energie Solaire et de Physique du Batiment Lausanne.
2. Pelizzi, G., 1992. Use of energy and labour in italian agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 52:111-119.
3. Bailey B.J., 1981. The Reduction of thermal Radiation in Glasshouse by Thermal Screens. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 26:215-226.
4. Amsen M.G, 1986. Thermal screens in Greenhouses. Diurnal Variations in Heat Consupcion. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 33:79-82.

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ/ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ

Καρύτσας Κων/νος (Δρ. Γεωλόγος - Γεωθερμικός)

*Υπεύθυνος Τμήματος Γεωθερμίας ΚΑΠΕ
ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΠΙΚΕΡΜΙ*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια μονάδα αποτελούμενη από αντλία θερμότητας η οποία είναι συνδεδεμένη και τροφοδοτείται είτε από σύστημα άντλησης υπόγειου νερού από γεώτρηση ή πηγάδι (Ground Water Heat Pump system - GWHPs) που εκμεταλλεύεται την αβαθή υπεδραφική ενέργεια των υπογείων νερών ή με γήινο εναλλάκτη θερμότητας (Ground Coupled Heat Pump system - GCHPs) που εκμεταλλεύεται την αβαθή υπεδραφική ενέργεια των πετρωμάτων μπορεί να προσφέρει σε ένα θερμοκήπιο, σε οποιοδήποτε γεωγραφικό σημείο και αν βρίσκεται, φθηνή και περιβαλλοντικά καθαρή ενέργεια για θέρμανση και δροσισμό. Στην ουσία προσλαμβάνεται η υπεδραφική θερμότητα και με ένα κατάλληλα υπολογισμένο μηχανισμό (ρυθμός άντλησης, μήκος σωληνώσεων κλπ.) προσφέρεται στον εξατμιστή ή τον συμπυκνωτή μίας αντλίας θερμότητας.

ABSTRACT

A heat pump unit coupled either with a borehole or well (Ground Water Heat Pump system - GWHPs) which subtracts thermal energy from the shallow groundwater or with an earth heat exchanger (Ground Coupled Heat Pump system - GCHPs) which subtracts thermal energy from the rocks of the upper geological formations, can offer cheap and environmentally clean energy for heating and cooling to a geothermal greenhouse wherever it may be situated. The thermal energy is retained from the earth's subsurface and with an optimal manner is given to the evaporator or the condenser of a heat pump.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη και η απόδοση των φυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος, που δύναται να διασφαλισθεί από την ανάπτυξη ενός φυτού μέσα σε ένα θερμοκήπιο. Αν θεωρηθεί μάλιστα ότι ο φωτισμός είναι επαρκής σε ένα θερμοκήπιο τότε η θερμοκρασία είναι ο κυριότερος κλιματολογικός παράγοντας που επηρεάζει τον ρυθμό ανάπτυξης των καλλιεργειών και πολλές άλλες λειτουργίες, όπως την φωτοσύνθεση, την διαπνοή, την απορρόφηση του νερού και των θρεπτικών συστατικών κλπ.

Για να αποδώσει όμως η καλλιέργεια του θερμοκηπίου το μέγιστο δυνατό απαιτεί μία ωρισμένη θερμοκρασία, λαμβάνοντας υπ' όψη ότι ακόμα και μικρές αποκλίσεις από την άριστη θερμοκρασία, επηρεάζουν ακόμη και την ποιότητα των προϊόντων. Γι' αυτό τον λόγο φροντίζουμε στο θερμοκήπιό μας να παρέχουμε πάντα την βέλτιστη θερμοκρασία. Παραδείγματος χάριν για καλλιέργεια τριανταφυλλιάς έχουμε βέλτιστη θερμοκρασία αέρα κατά την νύκτα 16-17 °C, κατά την ημέρα 21-24 °C, και θερμοκρασία εδάφους 13-15 °C, και αντίστοιχα για την γαρουφαλιά έχουμε βέλτιστη θερμοκρασία αέρα κατά την νύκτα 10-12 °C, κατά την ημέρα 10-18 °C, και θερμοκρασία εδάφους 10-13 °C.

Μεγάλη σημασία έχει να υλοποιείται η θέρμανση ή ο δροσισμός του θερμοκηπίου με ένα σύστημα θέρμανσης ή δροσισμού που μπορεί αφ' ενός μεν να έχει ακρίβεια και ποιότητα ως προς την σταθερότητα του θερμοκρασιακού επιπέδου αφ' ετέρου να είναι οικονομικό και περιβαλλοντικά ασφαλές [4 και 5].

Ένα τέτοιο σύστημα είναι και το προτεινόμενο, αυτό της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας συνδεδεμένης με σύστημα άντλησης είτε υπόγειου νερού από γεώτρηση/πηγάδι είτε με γήινους εναλλάκτες θερμότητας (Ground Source Heat Pump system - GSHPs) [1,2, 3 και 6], που μπορεί να προσφέρει στο θερμοκήπιο μας, σε οποιοδήποτε γεωγραφικό σημείο και αν βρίσκεται, φθηνή και περιβαλλοντικά καθαρή ενέργεια για θέρμανση και δροσισμό (ΣΧΗΜΑ 1).

Η αξιοποίηση της ενέργειας του υπεδάφους (ομαλής γεωθερμικής ενέργειας) επιτυγχάνεται με την σύζευξη αντλιών θερμότητας νερού - νερού με το υπέδαφος. Οι αντλίες θερμότητας νερού-νερού παρουσιάζουν μικρό σχετικά όγκο, λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού και μετά από κατάλληλη διαστασιολόγηση μόνιμη απόδοση διπλάσια της μέσης απόδοσης της αντλίας θερμότητας αέρα - νερού. Για την επίτευξη του παραπάνω απαραίτητη προϋπόθεση είναι η κατάλληλη επιλογή του γεωθερμικού εναλλάκτη (είτε υδρογεώτρηση είτε γήινος εναλλάκτης θερμότητας) ώστε να προκύπτει ο βέλτιστος συνδυασμός των θερμικών χαρακτηριστικών.

Το υπέδαφος έχει το εξής ιδιόμορφο χαρακτηριστικό ότι κάτω από το βάθος των 7-8 m η θερμοκρασία των πετρωμάτων και των ταμειυτήρων μέσα στους οποίους υπάρχουν υπεδαφικά νερά είναι σταθερή και μάλιστα είναι ένα συγκεκριμένο και απολύτως προσδιοριζόμενο φυσικό μέγεθος αυξανόμενο μάλιστα με το βάθος [1 και 2]. Η θερμοκρασία του ρευστού ή των πετρωμάτων εξαρτώνται από συγκεκριμένες παραμέτρους όπως από την γεωθερμική ροή, την ηλιακή ακτινοβολία (που αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα μέχρι του βάθους των 40-50 m) την γεωθερμική βαθμίδα στην περιοχή, την θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων κλπ.

Το σημαντικότερο γεγονός είναι ότι η προσφερόμενη αυτή ενέργεια είναι περιβαλλοντικά καθαρή, απεριόριστα ανανεώσιμη και εξοικονομεί το 40 έως 60% της ενέργειας, που θα κατανάλωνε η μονάδα για τη λειτουργία και τη συντήρησή της, εάν χρησιμοποιούντο μόνο συμβατικά μέσα θέρμανσης (όπως πετρέλαιο, υγραέριο, ηλεκτρισμός κλπ.).

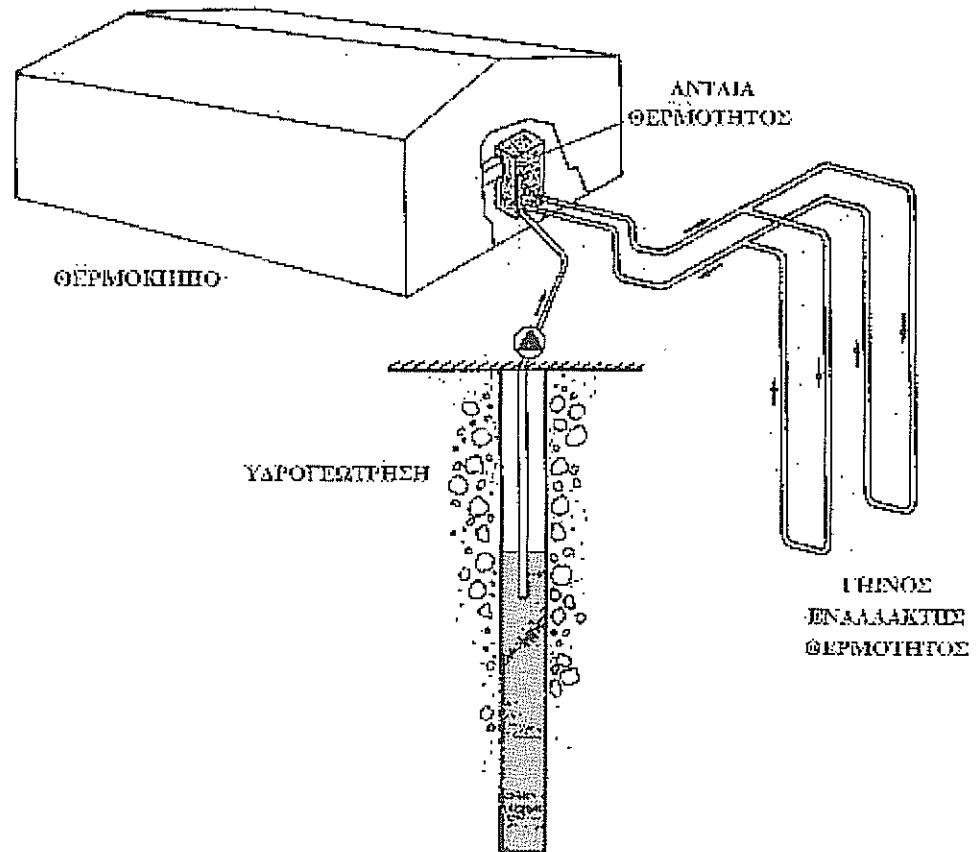
Με την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας και την διάδοσή της στον ευρύτερο ελληνικό χώρο θα δυνάμεθα να προβούμε σε θερμάνσεις θερμοκηπίων με οικονομικότερο και περιβαλλοντικά καθαρό τρόπο σε όλες εκείνες τις περιοχές όπου δύνανται να αναπτυχθούν θερμοκήπια.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Σκοπός του μελετητού είναι η εισαγωγή και προώθηση της τεχνολογίας της χρήσης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στον αγροτικό τομέα και παράλληλα η αποδοτικότερη σχεδίαση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας νερού-νερού (ή νερού-αέρα) εξασφαλίζοντας αφ' ενός μεν μεγαλύτερη απόδοση και οικονομικότητα με την βέλτιστη απαίτηση σε υπεδαφικά ρευστά, αφ' ετέρου δε η προστασία του περιβάλλοντος.

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου μελετάται η περίπτωση δημιουργίας γυάλινων θερμοκηπίων με καλλιέργεια λουλουδιών ή πρώιμων σπυρολαχανικών (τριαντάφυλλα, ζέρμπερες, τομάτα, αγγούρι, πεπόνι κλπ) σε οποιαδήποτε περιοχή της Κεντρικής Ελλάδος (Ηπειρος, Θεσσαλία, και Στερεά Ελλάδα).

Η θέρμανση και ο δροσισμός των θερμοκηπίων αυτών επιτυγχάνεται με την σύζευξη της αντλίας θερμότητας με υδρογεώτρηση ή πηγάδι. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επαρκής ποσότητα



Σχήμα 1: Συνδυασμός Υδρογεώτρησης ή/και Γήινου Εναλλάκτη Θερμότητας με Αντλία Θερμότητας για Θέρμανση/Ψύξη Θερμοκηπίων.

νερού στο υπέδαφος η απομάστευση της γήινης θερμικής ενέργειας επιτυγχάνεται με σύστημα γήινου εναλλάκτη θερμότητας (κατακορύφου ή οριζοντίου). Το νερό του κλειστού κυκλώματος που θα λαμβάνει την ενέργεια από τον συμπυκνωτή θα οδηγείται στο σύστημα θέρμανσης των θερμοκηπίων. Το γεωθερμικό (υπεδαφικό) νερό μετά την θέρμανση (εναλλάκτης εξατμιστή) οδηγείται είτε προς άρδευση ή αποθήκευση ή αόμη και επανεισαγωγή. Τονίζεται ότι το γήινο περιβάλλον αποτελεί έναν μόνιμο χώρο άντλησης ή απόρριψης θερμικής ενέργειας με σταθερή θερμοκρασιακή στάθμη που για τις πεδινές περιοχές της Κεντρικής Ελλάδος κυμαίνεται από τους 12 έως τους 16°C.

Μεταξύ άλλων περιπτώσεων ενδιαφέρον παρουσιάζει μία παρεμφερής εφαρμογή του εφαρμόστηκε με επιτυχία στην Ολλανδία. Πιο συγκεκριμένα, στην Ολλανδία στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος (ΕΕ/040/87/ΝΝ), έγινε χρήση αντλίας θερμότητας για την θέρμανση τμήματος θερμοκηπίου συνολικής έκτασης 19.000 m², με γιούκας. Η αντλία θερμότητας ήταν νερού - νερού με ψυκτική ικανότητα 200 kW ηλεκτρική κατανάλωση 80 kW, και συνολική θερμική ισχύ

280 kW. Το ζεστό νερό από την έξοδο της αντλίας θερμότητας τροφοδοτούσε το σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου. Υπολογίστηκε ότι ο χρόνος αποπληρωμής του συστήματος ήταν 4,1 χρόνια.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης και δροσισμού περιλαμβάνει:

I) την υδρογεώτρηση ή το πηγάδι που θα πρέπει να παρέχουν τουλάχιστον 12-15 m³/h ανά στρέμμα γεωθερμικού θερμοκηπίου με νερό θερμοκρασίας 10-18oC στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας (GWHPs).

Σε περίπτωση μη ανεύρεσης ικανής ποσότητας υπεδαφικού νερού το πρωτεύον σύστημα μεταφοράς της γήινης θερμότητας αποτελούν οι Γήινοι Εναλλάκτες Θερμότητας. Οι Γήινοι Εναλλάκτες Θερμότητας αποτελούνται από συστήματα αβαθών γεωτρήσεων (μέχρι τα 120 m) ή τάφρους (σε βάθη 2-3 m) όπου μέσα τους τοποθετούνται πλαστικοί σωλήνες πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας (MDPE), οι οποίοι έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν με άμεση θερμοεναλλαγή την γήινη θερμότητα μέσω κλειστού κυκλώματος νερού στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας (GCHPs).

Εννοείται ότι υβριδικά συστήματα GWHPs με GCHPs παρουσιάζουν παρόμοιο τεχνολογικό και οικονομικό ενδιαφέρον, ώστε σε περιπτώσεις μερικής κάλυψης της ποσότητας του απαιτούμενου νερού από γεώτρηση το υπόλοιπο φορτίο να καλύπτεται με γήινο εναλλάκτη [1, 2 και 6].

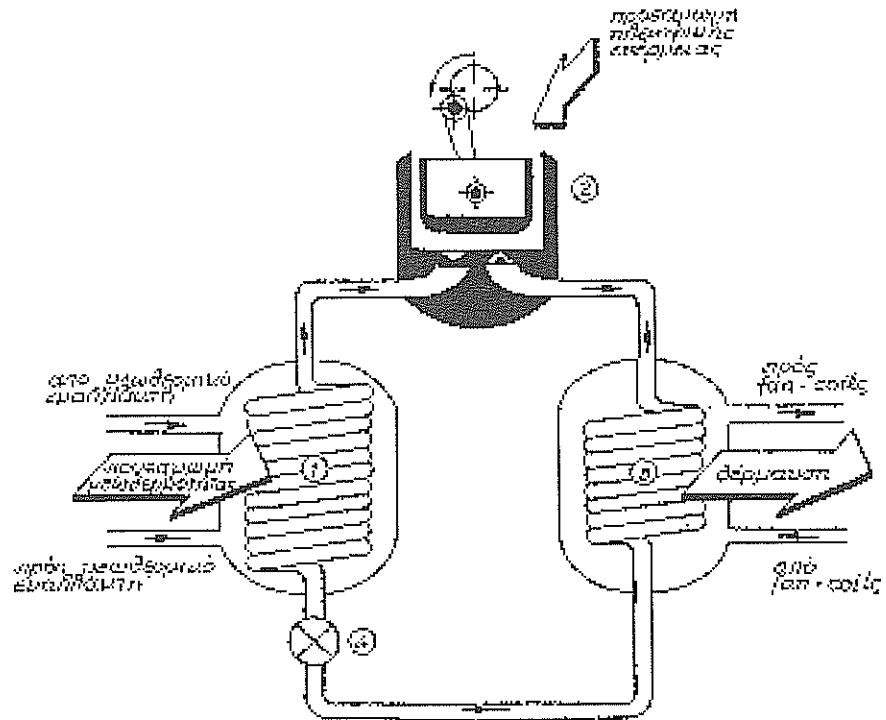
II) την αντλία θερμότητας νερού-νερού ή νερού-αέρα, που λειτουργεί με ένα COP = 3.6 - 4.2, και παράγει απ' ενός μεν θερμό νερό 45-50oC για την θέρμανση τον χειμώνα και απ' ετέρου δε, με αντιστροφή του κύκλου, ψυχρό νερό 7-8 oC για δροσισμό το καλοκαίρι.

Η αντλία θερμότητας νερού-νερού ή νερού-αέρα αποτελείται από τον εξατμιστή, τον συμπιεστή, τον συμπυκνωτή και το στοιχείο εκτόνωσης, η λειτουργία της εξασφαλίζεται από την κυκλοφορία ειδικών ψυκτικών υγρών όπως τα R134a ή R22, τα οποία εκτός των άλλων είναι και φιλικά προς το περιβάλλον (ΣΧΗΜΑ 2) [1,2 και 6].

Η αντλία θερμότητας είναι συσκευή που έχει τη δυνατότητα επέμβασης στον κύκλο ψύξης ενός συστήματος, έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο νερό ή αέρα, ανάλογα πάντα με τις κλιματιστικές ανάγκες του χώρου.

Είναι γνωστό, ότι η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων. Η αντλία θερμότητας όμως έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική της ροή. Αντλεί δηλαδή θερμότητα (για αυτό ονομάζεται έτσι) από χαμηλότερη στάθμη θερμοκρασίας προς μια υψηλότερη. Την ίδια εξ' άλλου ικανότητα έχει και ένα ψυγείο, μόνο που εδώ το ενδιαφέρον παρουσιάζεται άλλοτε για τη θερμότητα και άλλοτε για την ψύξη.

Συχνά αναφέρεται ότι η αντλία θερμότητας "αντιστρέφει" ή "αναστρέφει" τον κύκλο του ψυκτικού ρευστού και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί "ψυκτικό κύκλο" το καλοκαίρι ή "θερμαντικό" το χειμώνα. Πρέπει να τονιστεί ότι η αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται [3]. Το μόνο που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή με το ρόλο του εξατμιστή. Το καλοκαίρι ο εξατμιστής είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχρόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ το χειμώνα ο εξατμιστής είναι τοποθετημένος στο περιβάλλον και το ψύχει εφόσον αντλεί θερμότητα από αυτό. Η αντλία θερμότητας με τη χρήση της τετραόδης βαλβίδας αντιστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο.



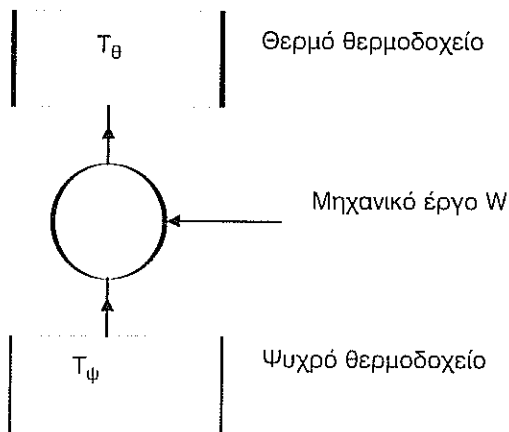
Σχήμα 2: Σχεδιάγραμμα μίας αντλίας θερμότητας.

1: Εξατμιστής, 2: Συμπίεστής 3: Συμπυκνωτής, 4: Στοιχείο Εκτόνωσης

Ο κύκλος θέρμανσης (ΣΧΗΜΑ 3) περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον κύκλο ψύξης. Μόνο που στην περίπτωση αυτή το στοιχείο που εκτελούσε ατμοποίηση εκτελεί συμπύκνωση και το αντίστροφο. Η μετατροπή του ψυκτικού κύκλου σε "θερμαντικό", γίνεται με τη βοήθεια τετράοδης βαλβίδας, όπως προαναφέρθηκε, που οδηγεί το ψυκτικό ρευστό μετά την έξοδό του από το συμπιεστή και την εκτονωτική διάταξη στους εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου - αέρα (ή νερού), ανάλογα με την επιλογή των απαιτήσεων μέσω διακόπτη.

Χαρακτηριστικός αριθμός που καθορίζει την ποιότητα και την αποδοτικότητα της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς COP (Coefficient of Performance). Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς εξαρτάται από:

1. Την θερμοκρασιακή διαφορά $T_0 - T_{\psi}$ "βελτιώνεται όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά ($T_0 - T_{\psi}$)".
2. Από το είδος και την ποιότητα της συσκευής παραγωγής ψυκτικής ισχύος και την αποδοτικότητα του ψυκτικού μέσου.



Σχήμα 3. Κύκλος θέρμανσης αντλίας θερμότητας.

III) τα θερμαντικά σώματα που είναι όμοια με τα χρησιμοποιούμενα για τα συμβατικά συστήματα (επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, αερόθερμα κ.ο.κ.) (και δροσισμού), που λειτουργούν με την κυκλοφορία θερμού (ή και αντίστοιχα ψυχρού νερού). Οι θερμοκρασίες λειτουργίας των συστημάτων αυτών θα είναι 35/45°C για το σύστημα θέρμανσης και 12/8 °C για το σύστημα δροσισμού.

IV) τον εφεδρικό λέβητα που καλείται να καλύψει είτε τα φορτία αιχμής ή τις ανάγκες θέρμανσης/ψύξης σε περίπτωση μη λειτουργίας του γεωθερμικού κυκλώματος λόγω βλάβης.

Πιο συγκεκριμένα μέσα στο μηχανοστάσιο, που θα είναι ένας χώρος στο πλάι του θερμοκηπίου ή και μέσα στο ίδιο το θερμοκήπιο θα τοποθετηθεί εκτός από την αντλία θερμότητας και το σύστημα του εφεδρικού λέβητα και καυστήρα. Το εφεδρικό αυτό σύστημα σχεδιασμένο να λειτουργεί για την κάλυψη των φορτίων αιχμής θα συνδέεται με σύστημα αερόθερμων. Το σύστημα αυτό καλείται να καλύψει εκτός από τα φορτία αιχμής και τις ανάγκες θέρμανσης σε περίπτωση μη λειτουργίας λόγω βλάβης του κυκλώματος της γεωθερμίας/αντλίας θερμότητας.

Η θερμοκρασία εισόδου του αέρα στα αερόθερμα αυτά υπολογίζεται να είναι

10 °C ενώ η θερμοκρασία εξόδου του αέρα θα είναι 38-39 °C, η παροχή αέρα θα είναι 3.1 m³/h, στις 1400 rpm με ένα οριζόντιο βεληνεκές 20 m. Η θερμοκρασία του νερού από το καυστήρα, για να λειτουργεί με αυτές τις προδιαγραφές το αερόθερμο, πρέπει να είναι 80/70 °C ($\Delta T = 10$ °C).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάζονται δύο περιπτώσεις (Σ1 και Σ2) και τα αποτελέσματα της σύγκρισής τους αναλύονται παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα η περίπτωση Σ1 (Σενάριο 1) θεωρεί ότι το σύνολο των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων καλύπτονται από κάποιο συμβατικό σύστημα θέρμανσης (λέβητας/καυστήρας), ενώ η περίπτωση Σ2 (Σενάριο 2) θεωρεί ότι η κάλυψη του 75% των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται με το σύστημα του συνδυασμού υπεδαφικής ενέργειας/αντλίας θερμότητας.

Εφόσον η μέγιστη απαιτούμενη θερμική ισχύς για την θέρμανση ενός στρέμματος γυάλινου θερμοκηπίου με βάση τις μέσες κλιματολογικές συνθήκες της Κεντρικής Ελλάδος εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 200 KW τότε με την λειτουργία του συστήματός μας επί 1750 ώρες τον χρόνο (Load Factor = 20%) επιτυγχάνεται ετήσιο οικονομικό όφελος της τάξεως των 1.840.000 δρχ ανά στρέμμα, εξοικονόμηση μέσω υποκατάστασης 28.3 ΤΙΠ (1 ΤΙΠ = 8.000.000 kcal και 100.000 δρχ/ΤΙΠ) και παράλληλα μη έκλυση CO₂ της τάξεως 90.6 τόννων (υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων 48.9%, που προκύπτει αφού αφαιρέσουμε από την υποκατάσταση καυσίμων την απαιτούμενη για την λειτουργία του συστήματός μας ηλεκτρική ενέργεια και τα καύσιμα για τον εφεδρικό λέβητα).

Σημειώνεται ότι από τις απαιτήσεις αυτές των 200 KW ανά στρέμμα το 75% ή 150 KW σχεδιάζεται να καλύπτονται από το σύστημα γεωθερμίας-αντλίας θερμότητας ενώ το υπόλοιπο 25% ή 50 KW από το σύστημα του εφεδρικού λέβητα (μάλυψη περιόδων αιχμής ή σε περιπτώσεις μη λειτουργίας του γεωθερμικού κυκλώματος). Συνεπώς, το σύστημα των γεωπηρήσεων συνδεδεμένων με την αντλία θερμότητας μπορεί να προσδώσει στο σύστημά μας από το υπέδαφος, με ένα COP ίσο με 4, 112KW ανά στρέμμα και από τον συμπιεστή παίρνουμε τα άλλα 38 KW ανά στρέμμα (από το ηλεκτρικό ρεύμα).

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι η απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου (λαμβάνοντας υπ' όψη μόνον την θέρμανση των θερμοκηπίων) επιτυγχάνεται σε 4,1 έτη, παρ' όλο που η διάρκεια ζωής της μονάδος είναι τουλάχιστον 20 έτη (βλέπε κατωτέρω Πίνακα 1).

Πίνακας 1: Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας - Κόστος - Εξοικονόμηση Ενέργειας και Κεφαλαίου - Ανά Στρέμμα Γεωθερμικού Θερμοκηπίου.

Σ1 - Συμβατικό Σύστημα Ωρες Λειτουργίας = 1750 h	Ενέργεια σε Πετρέλαιο = 37.6 ΤΙΠ	Κόστος Ενεργ.= 3.760.000 Δρχ
Σ2 - Γεωθερμικό Κύκλωμα Ωρες Λειτουργίας = 1750 h	Ενέργεια σε Ηλ. Ρεύμα = 120 MWh	Κόστος Ενεργ.= 1.920.000 Δρχ
Κόστ. Μονάδος = 7.500.000 Δρχ	Εξοικον. ανά έτος = 1.840.000 Δρχ ή 48.9 %	Απόσβεση Κεφαλαίου 4,1 έτη

Στον παραπάνω υπολογισμό ελήφθησαν υπ' όψη οι εξής παραδοχές:

- α) Οι ώρες αιχμής υπολογίζονται στο 10% του συνόλου λειτουργίας του θερμοκηπίου.
- β) Ο Τόννος Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΤΙΠ) λαμβάνεται ίσος με 8.000.000 Kcal, η δε τιμή στις 100.000 δρχ (ή 83,3 δρχ/λίτρο).
- γ) Η τιμή του αγροτικού ρεύματος είναι ίση με 16 Δρχ/KWh.
- δ) Θεωρούμε ότι το κόστος της αγοράς και της εγκατάστασης του συνόλου του συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ανέρχεται σε 50.000 δρχ ανά KW εγκατεστημένης ισχύος.

Ένα ξεχωριστό σημείο που πρέπει να εξετασθεί είναι το άμεσο όφελος που θα προκύψει από την λειτουργία του συστήματος στον κύκλο του δροσισμού.

Η βελτίωση που θα προκύψει στην απόδοση των καλλιεργειών κατά την θερινή περίοδο δροσισμού υπολογίζεται ότι θα υπερκαλύψει το κόστος λειτουργίας της μονάδος (ηλεκτρισμός) κατά 50% προσδίδοντας άλλες 300.000 δρχ/στρέμμα ως καθαρό όφελος.

Τονίζουμε ότι στην μελέτη αυτή όπου εξετάζουμε την οικονομικότητα ανάπτυξης γεωθερμοκηπίων με αντλίες θερμότητας λαμβάνονται υπόψη μόνον το ύψος της επένδυσης που αφορά την εκμετάλλευση της γεωθερμίας για την θέρμανση του θερμοκηπίου και το λειτουργικό κόστος. Αντιθέτως δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του θερμοκηπίου και του συστήματος άρδευσης μια και το ζητούμενο είναι να αποδειχτεί ότι το προτεινόμενο γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης των θερμοκηπίων παρέχει φθηνότερη θερμική ενέργεια από τα συμβατικά καύσιμα και ότι η επένδυση αποσβένεται σε μικρό χρονικό διάστημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ASHRAE 1995 Chapter 29 Geothermal Energy ASHRAE Handbook - Applications American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Eng., Inc.
2. ASHRAE 1995 Commercial Groundsource Heat Pump Systems - ASHRAE Special Issue American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Eng., Inc.
3. Καρύτσας, Κ., Περόγλου, Γ., Χουσουλάκης, Π., Καναβιάκης, Γ., και Καράβωργας, Μ., (1997) Χρήση Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας σε Θέρμανση Θερμοκηπίων - Τελική Έκθεση ΓΓΕΤ - ΠΕΠΕΡ - 95
4. Καρύτσας, Κ., (1997) Δυνατότητες Αξιοποίησης Γεωθερμικής Ενέργειας σε Γεωργικές Εφαρμογές, Διημερίδα ΕΘΙΑΓΕ/ΓΓΕΤ, Λάρισα
5. Μαυρογιαννόπουλος, Γ., (1990) Θερμοκηπία, Περιβάλλον - Υλικά - Κατασκευή - Εξοπλισμός - Εκδόσεις Σταμούλη.
6. Parker, J.D., Kavanaugh, S., and Ramanathan, R., (1984) Performance comparison of air- and ground-coupled heat pump systems. EM-3408, Final Report to the Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA

ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Α. Καλλιβρούσης, Δ. Μανωλάκος, Γ. Παπαδάκης

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα άντλησης με φωτοβολταϊκά θεωρούνται ως μια από τις πιο αξιόπιστες λύσεις για εφαρμογές ύδρευσης και άρδευσης σε απομακρυσμένες περιοχές όταν μια συμβατική πηγή ενέργειας δεν είναι διαθέσιμη. Πολλά συστήματα φωτοβολταϊκών χρησιμοποιούν αντλίες θετικής μετατόπισης. Μια αντλία συνεχούς ρεύματος, θετικής μετατόπισης δοκιμάστηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών με στόχο την αξιολόγησή της, όταν αυτή τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά, στις περιπτώσεις που η αντλία συνδέεται απ' ευθείας με τον κινητήρα συνεχούς ή δια μέσω ενός ενισχυτή ρεύματος. Οι δοκιμές και στις δύο περιπτώσεις έγινε υπό παρόμοιες συνθήκες ακτινοβολίας και στατικού ύψους. Το ενδιαφέρον του πειράματος εστιάστηκε κυρίως στο βαθμό απόδοσης και τον ημερήσιο αντλούμενο όγκο νερού. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρήση ενός Γραμμικού Ενισχυτή Ρεύματος ή συσσωρευτή, βελτιώνει σημαντικά την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος για άντληση με χρήση αντλίας θετικής μετατόπισης.

ABSTRACT

Photovoltaic (PV) powered pumping systems are considered a reliable solution for pumping water for people, irrigation or livestock in remote areas, when a conventional source is not easily available. Many PV pumping systems utilise rotary positive displacement pumps, which seal water in cavities and force it forward. Such systems using a DC-driven rotary positive displacement pump were installed and tested at the Agricultural University of Athens in order to evaluate their performance. The pump was coupled with the photovoltaic generator (A) directly, (B) through a Linear Current Buster and (C) through a battery. The systems were tested under similar operating conditions of solar irradiation and total static head. The major items of interest were the overall efficiency and the daily pumped volume of water. Additionally, the economic performance of each system was evaluated and the unit cost of the pumped water was estimated taking into consideration economic and operational parameters. The results and the experiences obtained indicate that the system equipped with the battery outperformed economically to other systems.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η άντληση νερού, για άρδευση. Ειδικά στην περίπτωση όπου υπάρχει αξιόλογο ηλιακό δυναμικό η άρδευση εκτάσεων γίνεται αποδοτική. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα για άντληση είναι σήμερα μια τεχνολογία που κατέχει μεγάλη αξιοπιστία. Επιπρόσθετα, εμφανίζει το πλεονέκτημα του μικρού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Απαιτεί όμως ένα υψηλότερο κόστος επένδυσης από τα συμβατικά συστήματα, ειδικά στην περίπτωση που υπάρχει αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές, όπου χρησιμοποιούνται φορτιστές και άλλες ρυθμιστικές διατάξεις.

Πολλά συστήματα φωτοβολταϊκών για άντληση χρησιμοποιούν αντλίες θετικής μετατόπισης, ειδικά στην περίπτωση όπου απαιτείται άντληση από μεσαίο και μεγάλο ύψος. Οι αντλίες αυτές συγκεντρώνουν νερό στις κοιλότητές τους και το καταθλίβουν διατηρώντας το ύψος σταθερό ακόμη και στην περίπτωση κατά την οποία η αντλία περιστρέφεται με μικρότερη ταχύτητα περιστροφής της ονομαστικής. Αυτή η ιδιότητα διαφοροποιεί τις αντλίες αυτές από τις φυγόκεντρες οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στην απόδοσή τους όταν μεταβάλλεται η ταχύτητα περιστροφής. Το γεγονός ότι οι αντλίες θετικής μετατόπισης προσφέρουν καλό βαθμό απόδοσης σε μερικό φορτίο τις κάνει ελκυστικές για χρήση σε συστήματα φωτοβολταϊκών για άντληση.

Το παρόν άρθρο ασχολείται με την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων για άντληση με χρήση κινητήρα συνεχούς ρεύματος και περιστροφική αντλία θετικής μετατόπισης.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το υπό δοκιμή φωτοβολταϊκό σύστημα για άντληση χρησιμοποιεί κινητήρα συνεχούς ρεύματος, χαμηλής κατανάλωσης το οποίο συνδέεται είτε απ' ευθείας με το φωτοβολταϊκό, είτε δια μέσω ενός Γραμμικού Ενισχυτή Ρεύματος, (διάγραμμα 1). Η αντλία που χρησιμοποιείται είναι ονομαστικής ισχύος 0.5 HP και λειτουργεί στα 12 V DC, (διάγραμμα 1). Οι μέγιστες τιμές λειτουργίας για την ένταση και την τάση είναι 16 A και 18 V αντιστοίχως. Το μέγιστο ύψος αναρρόφησης της αντλίας είναι 6 m ενώ της κατάθλιψης είναι 85 m. Στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η επίδραση της τάσης λειτουργίας και του ύψους στην ισχύ εισόδου και εξόδου της αντλίας. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για τη λειτουργία της αντλίας σε καθορισμένο ύψος αυξάνει καθώς αυξάνεται η τάση λειτουργίας. Η παροχή επίσης αυξάνεται αναλογικά αλλά μειώνεται ελαφρώς με τη αύξηση του ύψους.

Στο διάγραμμα 3 παρουσιάζεται η απόδοση του συστήματος κινητήρα-αντλίας σε σχέση με την ισχύ εισόδου, σε συνάρτηση με το ολικό ύψος. Η απόδοση δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από από το ύψος και την ισχύ εισόδου. Αυξάνεται όταν το συνολικό ύψος αυξάνεται. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η καλή λειτουργία του συστήματος σε μερικό φορτίο αφού ο βαθμός απόδοσης δεν εμφανίζει σημαντική μείωση ως συνάρτηση της ισχύος εισόδου. Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές I-V της φωτοβολταϊκής συστοιχίας των δυο φωτοβολταϊκών στοιχείων. Κάθε στοιχείο είναι ονομαστικής ισχύος 48 Wp στους 25 οC. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται επίσης η χαρακτηριστική I-V της περιστροφικής αντλίας θετικής μετατόπισης σε διάφορα ύψη και ακτινοβολίες. Από το διάγραμμα αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό σε ποιές τιμές ακτινοβολίας είναι δυνατόν το σύστημα να αντλεί.

Η αντλία συνδέθηκε με δύο και τρία φωτοβολταϊκά στοιχεία εν παραλλήλω, (διάγραμμα 1). Επίσης συνδέθηκε ένας γραμμικός ενισχυτής ρεύματος και ένας συσσωρευτής. Η χρήση ενός γραμμικού ενισχυτή ρεύματος, βοηθά στη μετάδοση της ισχύος από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία στο σύστημα κινητήρα-αντλίας. Η συσκευή αυτή μειώνει την τάση με ανάλογη αύξηση του ρεύματος. Το όριο λειτουργίας του είναι τα 20 A ρεύμα εισόδου και 50 V DC τάση ανοιχτού κυκλώματος. Το ρεύμα εξόδου μπορεί να φτάσει τα 45 A ενώ η τάση εισόδου έχει ρυθμιστεί μεταξύ 12 και 36 V.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τρεις τρόποι σύνδεσης της αντλίας με το φωτοβολταϊκό δοκιμάστηκαν στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, υπό παρόμοιες συνθήκες ακτινοβολίας και υδραυλικού ύψους. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών η αντλία αντλούσε νερό από υπόγεια δεξαμενή (στατικό ύψος αναρρόφη-

σης 2 m) το οποίο κατάθλιβε σε δεξαμενή τοποθετημένη σε ύψος 15 m. Με τη βοήθεια ψηφιακού καταγραφικού συστήματος μετρούντο διάφορα μεγέθη όπως, η ηλιακή ακτινοβολία, η τάση και η ένταση της συστοιχίας, η θερμοκρασία της συστοιχίας, η τάση και το ρεύμα του κινητήρα και η παροχή. Για να συγκριθούν οι τρεις διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης της αντλίας με το φωτοβολταϊκό, υπολογιζόταν ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος.

3.1 Αντλία απ' ευθείας συνδεδεμένη με τη φωτοβολταϊκή συστοιχία

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων όταν η αντλία είναι απ' ευθείας συνδεδεμένη με δύο ή τρία φωτοβολταϊκά στοιχεία. Είναι φανερό ότι και στις δυο περιπτώσεις η απόδοση του συστήματος είναι χαμηλή. Η απόδοση όμως σε αντλούμενο νερό αυξάνεται κατά περίπου 52% όταν τρία στοιχεία συνδέονται παράλληλα. Τα διαγράμματα 5 και 6 δείχνουν τη συσχέτιση μεταξύ ηλιακής ακτινοβολίας, παροχής νερού και τάσης, όταν η αντλία συνδέθηκε με δύο και τρία στοιχεία αντίστοιχα. Η μεταβολή της ακτινοβολίας και της παροχής της αντλίας συνδεδεμένης με δύο και τρία φωτοβολταϊκά στοιχεία, σε δύο ημέρες δοκιμών φαίνεται στα διαγράμματα 7 και 8. Στα διαγράμματα 7 και 8 φαίνεται επίσης ότι η ακτινοβολία στην οποία ξεκινά η άντληση διαφέρει σημαντικά στις δύο συνδέσεις. Με δυο φωτοβολταϊκά στοιχεία η αντλία ξεκινά να αντλεί όταν η ηλιακή ακτινοβολία φτάσει τα 540 W/m² και σταματά να αντλεί όταν η ακτινοβολία είναι μικρότερη των 450 W/m². Η παροχή μεταβάλλεται ελαφρώς από 340 l/h σε 375 l/h. Με δύο φωτοβολταϊκά στοιχεία παράλληλα, η αντλία ξεκινά να αντλεί όταν η ακτινοβολία φτάσει τα 800 W/m² και σταματά όταν η ακτινοβολία φτάσει τα 520 W/m². Η ακτινοβολία επίσης μεταβάλλεται ελάχιστα από τα 335 l/h σε 350 l/h καθώς η ακτινοβολία αυξάνει.

Όταν η αντλία είναι απ' ευθείας συνδεδεμένη με τα φωτοβολταϊκά η ακτινοβολία εκκίνησης της αντλίας εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των στοιχείων που συνδέονται εν παράλληλω. Αύξηση των στοιχείων συνδεδεμένων εν παράλληλω αυξάνει το ρεύμα και συνεπώς μειώνει την ακτινοβολία εκκίνησης, αυξάνοντας ταυτόχρονα το χρόνο λειτουργίας. Επίσης η αύξηση της τάσης λειτουργίας κάνει απαραίτητη την προστασία του κινητήρα από υπερτάσεις. Επίσης όταν η αντλία συνδέθηκε με τρία φωτοβολταϊκά και επειδή ξεκίνησε νωρίτερα και λειτουργήσει σε μεγαλύτερη ταχύτητα εμφάνισε μεγαλύτερη παραγωγή σε αντλούμενο νερό.

Η υπολογισμένη αποδιδόμενη ισχύς στο μέγιστο σημείο ισχύος των φωτοβολταϊκών, η ισχύς εισόδου στον κινητήρα και η ισχύς εξόδου παρουσιάζονται στα διαγράμματα 9 και 10. Φαίνεται καθαρά ότι η ισχύς για την αντλία αυξάνεται όσο αυξάνεται η ακτινοβολία. Η αντλία λειτουργεί σε σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης γεγονός που δικαιολογείται επειδή η αντλία έχει μεγαλύτερο ονομαστικό ύψος από αυτό στο οποίο δοκιμάστηκε. Η απόδοση μειώνεται περαιτέρω καθώς η ακτινοβολία αυξάνεται.

Ο βαθμός απόδοσης της συστοιχίας (διαγράμματα 9 και 10) είναι χαμηλός και γίνεται χαμηλότερος καθώς η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνεται, λόγω της απομάκρυνσης από το σημείο μέγιστης ισχύος το οποίο συνεχώς μεταβάλλεται λόγω μεταβολής της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης εξηγείται επίσης από το γεγονός ότι υπάρχουν μεγάλες απώλειες στο σύστημα λόγω του ότι η άντληση γίνεται μόνον όταν η ακτινοβολία υπερβαίνει μια καθορισμένη τιμή. Η χαμηλή απόδοση των φωτοβολταϊκών και του υποσυστήματος αντλίας-κινητήρα οδηγούν σε χαμηλή απόδοση όλο το σύστημα. Η μέγιστη υπολογιζόμενη ισχύς εξόδου P_a σε ακτινοβολία H_1 και θερμοκρασία στοιχείου T_1 , χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψη οι απώλειες των εν παράλληλω συνδεδεμένων στοιχείων, υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1).

$$P_a = NP_{mo}[1 - \beta(T_1 - T_0)]H_1/H_0 \quad (1)$$

P_{mo} = Μέση μέγιστη ισχύς στοιχείου στην ηλιακή ακτινοβολία αναφοράς, H_{1p} ,

(1 kW/m²) και στη θερμοκρασία αναφοράς T_0 , (25 °C)

β = Συντελεστής θερμοκρασίας σε % ανά °C, (0.35%/°C)

N = Αριθμός στοιχείων συνδεδεμένων παράλληλα.

3.2 Αντλία συνδεδεμένη με τη Φ/Β συστοιχία μέσω Γραμμικού Ενισχυτή Ρεύματος, (ΓΕΡ)

Στον Πίνακα 1 φαίνονται τα στοιχεία που αφορούν τη λειτουργία του συστήματος φωτοβολταϊκού-αντλίας θετικής μετατόπισης όταν η σύνδεση γίνεται δια μέσω ΓΕΡ. Το σύστημα αποτελείται από δύο φωτοβολταϊκά στοιχεία εν παράλληλω. Η ύπαρξη ΓΕΡ επιτρέπει την αντλία να ξεκινά νωρίτερα το πρωί και να συνεχίζει τη λειτουργία της αργότερα το απόγευμα. Με τον τρόπο αυτό ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας αυξάνεται κατά περίπου 80%. Το σύστημα εμφανίζει καλύτερο βαθμό απόδοσης και δυνατότητα άντλησης περισσότερου νερού, σε σχέση με την απ' ευθείας σύνδεση με 2 ή τρία φωτοβολταϊκά. Πιο συγκεκριμένα η αντλία συνδεδεμένη με ΓΕΡ παρουσιάζει 53% αύξηση στην παραγωγή νερού σε σχέση με την απ' ευθείας σύνδεση με δύο φωτοβολταϊκά και 3% σε σχέση με τα τρία φωτοβολταϊκά. Η χρήση του ΓΕΡ βελτιώνει το βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού γιατί προσαρμόζει καλύτερα τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού με αυτά του κινητήρα της αντλίας αυξάνοντας ταυτόχρονα το συντελεστή χρησιμοποίησης του φωτοβολταϊκού.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα λειτουργίας.

Είδος	2 στοιχεία	3 στοιχεία	2 στοιχεία και ΓΕΡ
Ηλιακή ακτινοβολία, (Wh/day m ²)	7252	7335	7244
Παραγωγή Φ/Β, (Wh/day)	295	492	458
Ενέργεια σε κινητήρα-αντλία, (Wh/day)	280	460	449
Όγκος νερού που αντλήθηκε, (l/day)	1840	2805	2880
Παραγωγικότητα στοιχείων, (kWh/day kWp)	3.1	3.4	4.7
Μέση απόδοση Φ/Β, (%)	5.1	5.6	7.9
Μέση απόδοση κινητήρα-αντλίας (%)	30.7	28.7	30.1
Συνολική απόδοση συστήματος, (%)	1.5	1.7	2.3

Η σχέση μεταξύ ηλιακής ακτινοβολίας, παροχής και τάσης εισόδου φαίνεται στο διάγραμμα 11. Στο διάγραμμα 12 φαίνεται η μεταβολή της ακτινοβολίας και της παροχής ως συνάρτηση του χρόνου. Η αντλία ξεκινά όταν η ακτινοβολία υπερβεί τα 300 W/m². Καθώς η ακτινοβολία μεταβάλλεται από τα 300 W/m² στα 600 W/m² η παροχή αυξάνει με ταχύ ρυθμό. Κατόπιν, η παροχή αυξάνει ελαφρά σε σχέση με την ακτινοβολία και φτάνει περίπου στα 300 l/h. Η υπολογισμένη ισχύς εξόδου (εξίσωση 1) στο σημείο μέγιστης ισχύος, η ισχύς εισόδου στο σύστημα αντλίας-κινητήρα και η ισχύς εξόδου της αντλίας φαίνεται στο διάγραμμα 13.

Φαίνεται καθαρά ότι ο ρυθμός αύξησης της ισχύος εισόδου αντλίας-κινητήρα είναι μεγαλύτερος από αυτόν της ισχύος εξόδου της αντλίας, καθώς η ακτινοβολία αυξάνει. Αυτό συνεπάγεται μικρότερο βαθμό απόδοσης του συστήματος αντλίας-κινητήρα σε υψηλές ακτινοβολίες. Παρόλο που χρησιμοποιήθηκε ΓΕΡ οι απώλειες του φωτοβολταϊκού παραμένουν υψηλές λόγω του ότι το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί μακριά από το σημείο μέγιστης ισχύος. Στο διάγραμμα 14 παρουσιάζεται το προφίλ ρεύματος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του κινητήρα. Ο ΓΕΡ, που εξασφαλίζει περισσότερο αντλούμενο νερό, επίσης εξασφαλίζει το ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα.

3.3 Σύστημα με συσσωρευτή

Τα δεδομένα για σύστημα άντλησης με φωτοβολταϊκά και συσσωρευτή φαίνονται στον Πίνακα 2. Η απόδοση του συστήματος φτάνει το 2,4%. Το κλάσμα επαναφόρτισης του συσσωρευτή είναι σχετικά υψηλό, 1,25. Αυτό δείχνει ότι ο συσσωρευτής φορτίζεται επαρκώς για το συγκεκριμένο φορτίο. Το διάγραμμα 15 δείχνει ότι σχεδόν όλη η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το σύστημα κινητήρα-αντλίας και συσσωρευτή. Επιπροσθέτως, οι απώλειες λόγω λειτουργίας μακριά από το σημείο μέγιστης ισχύος, είναι μικρότερες σε σχέση με τα δύο προηγούμενα συστήματα. Στο διάγραμμα 16 παρουσιάζεται το προφίλ της παροχής και της τάσης για μια καλοκαιρινή ημέρα. Η ύπαρξη συσσωρευτή διασφαλίζει τη σταθερότητα στην τάση. Μεταβολές μεταξύ 12 και 14 V στην τάση λειτουργίας εμφανίζονται καθώς η ακτινοβολία αυξάνει. Επίσης, καθώς η τάση λειτουργίας αυξάνει, η παροχή αυξάνεται διότι η ταχύτητα περιστροφής αυξάνεται. Το σύστημα αυτό αποδίδει περίπου 3,5% περισσότερο σε σχέση με το σύστημα με ΓΕΡ.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα λειτουργίας με συσσωρευτή.

Είδος	2 στοιχεία
Ηλιακή ακτινοβολία, (Wh/day m ²)	7167
Παραγωγή Φ/Β, (Wh/day)	497
Ενέργεια σε κινητήρα-αντλία, (Wh/day)	446
Όγκος νερού που αντλήθηκε, (l/day)	2985
Παραγωγικότητα στοιχείων, (kWh/day kWp)	5.2
Μέση απόδοση Φ/Β, (%)	8.7
Μέση απόδοση κινητήρα-αντλίας, (%)	31.3
Συνολική απόδοση συστήματος, (%)	2.4
Κλάσμα επαναφόρτισης συσσωρευτή	1.25

4. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα τρία συστήματα συγκρίθηκαν εφαρμόζοντας ανάλυση κύκλου λειτουργίας 20 ετών. Το αποτέλεσμα είναι η καθαρή παρούσα αξία και το ολικό και κόστος λειτουργίας των συστημάτων για την συγκεκριμένη περίοδο.

Για την οικονομική ανάλυση με τη μέθοδο του discounted cash θεωρήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα:

- Χρόνος ζωής των συστημάτων
- Discount rate
- Ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Κόστος κεφαλαίων εξαρτημάτων
- Κόστος αντικατάστασης εξαρτημάτων

Επιπλέον, η συμπεριφορά του συστήματος προσομοιάσθηκε για ένα έτος ούτως ώστε να υπολογισθεί το κόστος ανά μονάδα αντλούμενου νερού. Το αποτέλεσμα ήταν ο όγκος του αντλούμενου νερού. Τα βασικά δεδομένα φαίνονται στον Πίνακα 3. Για ύψος άντλησης 17 m τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στον Πίνακα 4. Η ανάλυση δείχνει ότι το πιο οικονομικό σύστημα είναι αυτό με τον συσσωρευτή. Από το διάγραμμα 17 γίνεται φανερό ότι η προσδοκώμενη ελάττωση του κόστους των φωτοβολταϊκών επιδρά θετικά στο κόστος ανά μονάδα αντλούμενου νερού.

Πίνακας 3. Δεδομένα για οικονομική αξιολόγηση.

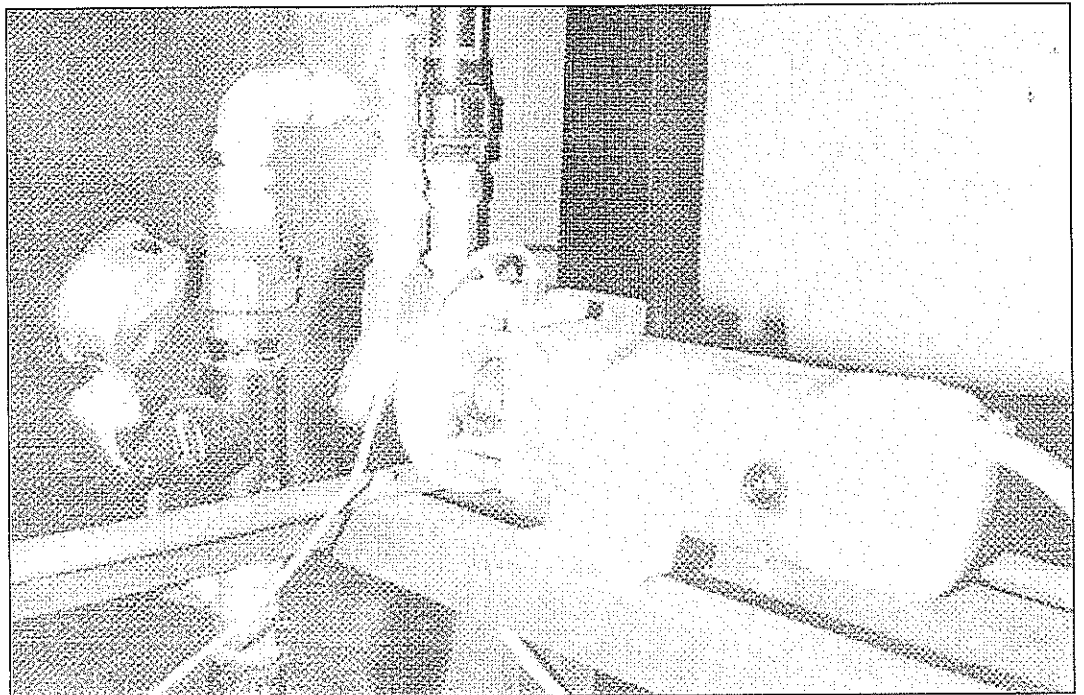
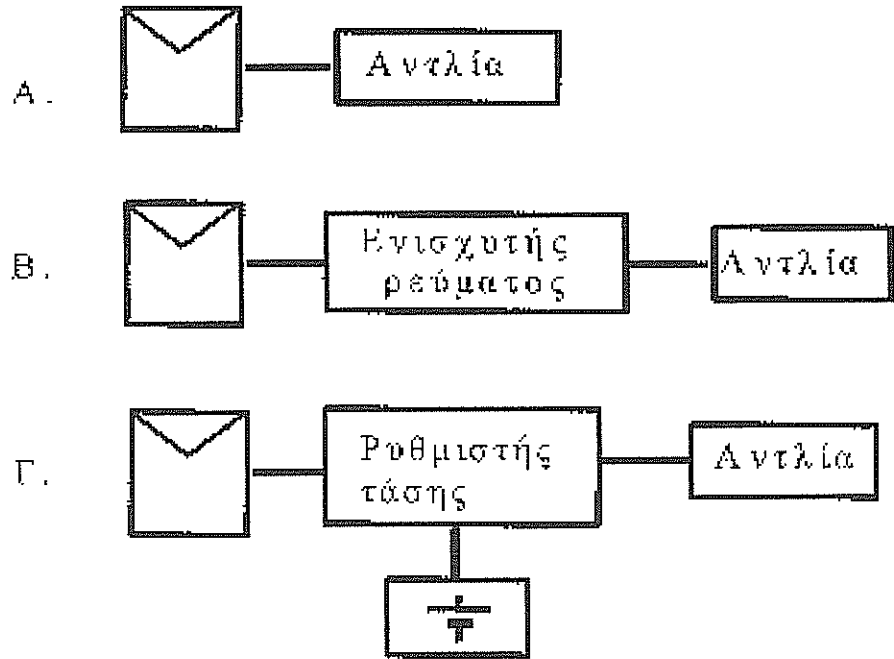
Οικονομική ζωή συστήματος	20 χρόνια
Discount rate	10 %
Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	2 % επί του κόστους επένδυσης
Αρχικό κόστος επένδυσης (Α)	1050 ECU
Αρχικό κόστος επένδυσης (Β)	1280 ECU
Αρχικό κόστος επένδυσης (Γ)	1390 ECU

Πίνακας 4. Οικονομική αξιολόγηση του συστήματος και κόστος νερού.

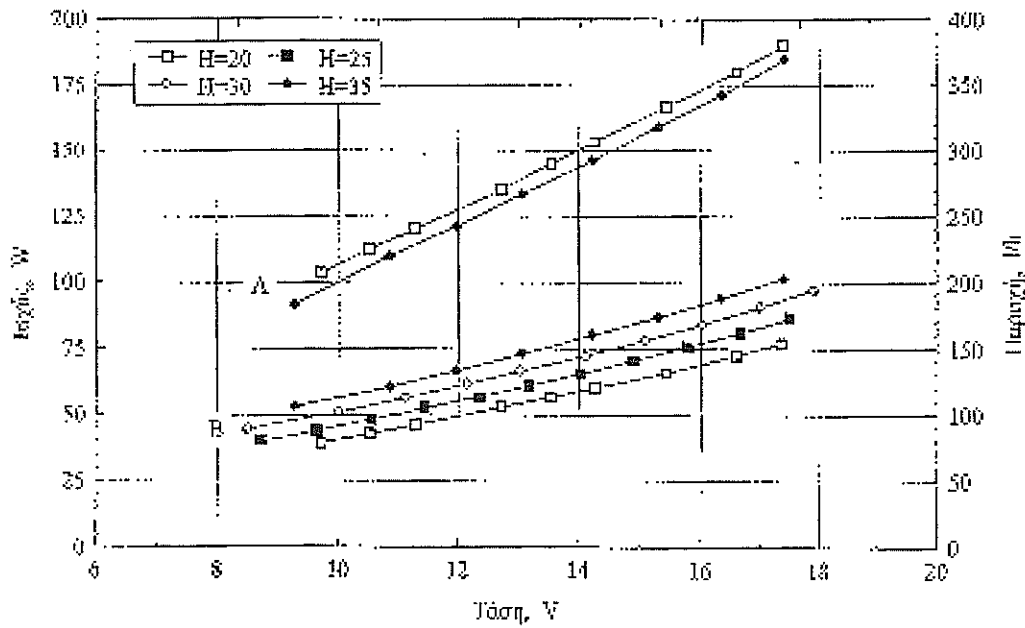
Σύστημα	NVP_{20}	Ετήσιο κόστος (ECU)	Όγκος νερού ($m^3/year$)	Κόστος νερού (ECU/ m^3)
(Α)	1374	161	335	0.48
(Β)	1725	202	720	0.28
(Γ)	1931	227	910	0.25

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

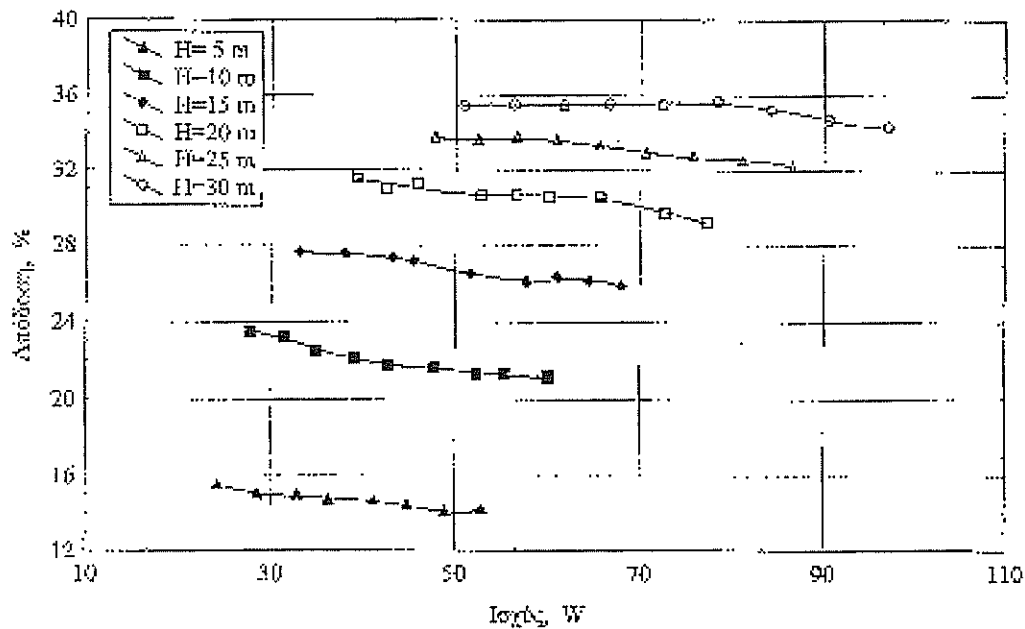
Η μέθοδος άντλησης με χρήση αντλίας θετικής μετατόπισης είναι αξιόπιστη και αποδοτική για χρήση άρδευσης. Η χρήση ΓΕΡ ή η αύξηση του αριθμού των φωτοβολταϊκών στοιχείων που συνδέονται εν παραλλήλω ή η χρήση συσσωρευτή, αυξάνουν δραστικά τον όγκο του αντλούμενου νερού. Η συμπεριφορά του συστήματος όμως φαίνεται να βελτιώνεται μόνον όταν στο σύστημα ανσωματώνεται ΓΕΡ ή συσσωρευτής, αφού αυξάνει την απόδοση του συστήματος.



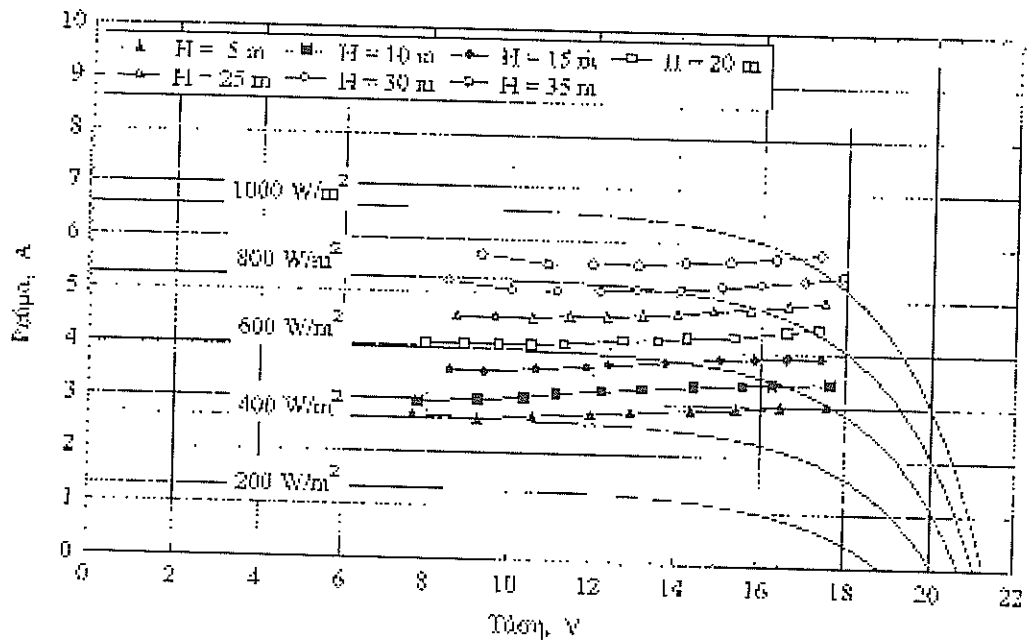
Διάγραμμα 1. Διατάξεις συστημάτων, Α, Β, και Γ και φωτογραφία με τον κινητήρα και την αντλία.



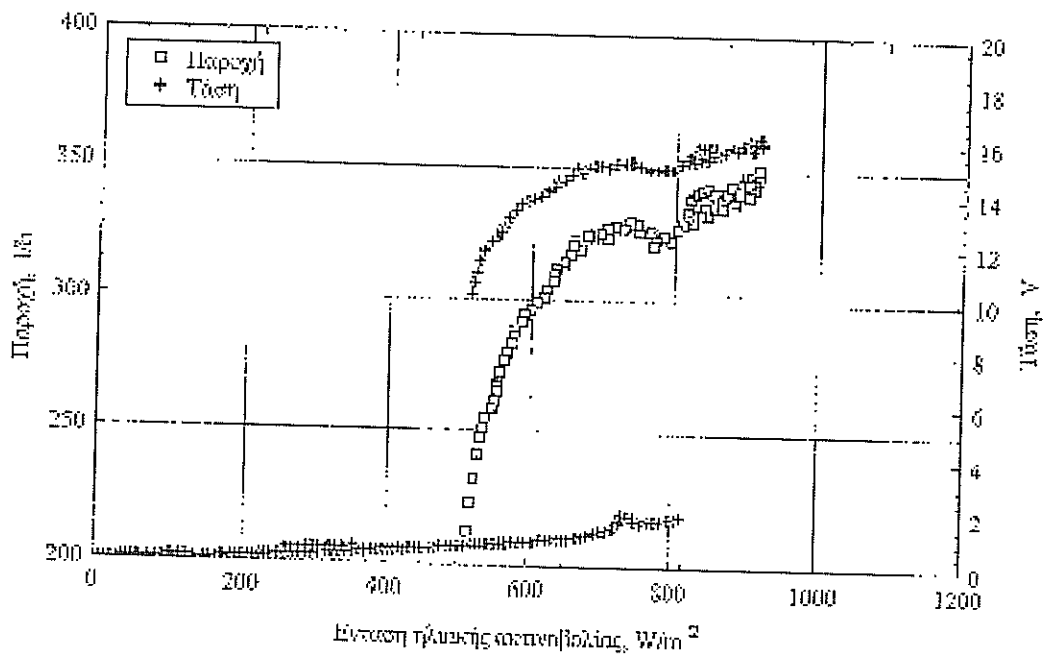
Διάγραμμα 2. Ισχύς εισόδου (Α) και εξόδου (Β) της αντλίας ως συνάρτηση της τάσης λειτουργίας και το συνολικό ύψος της αντλίας.



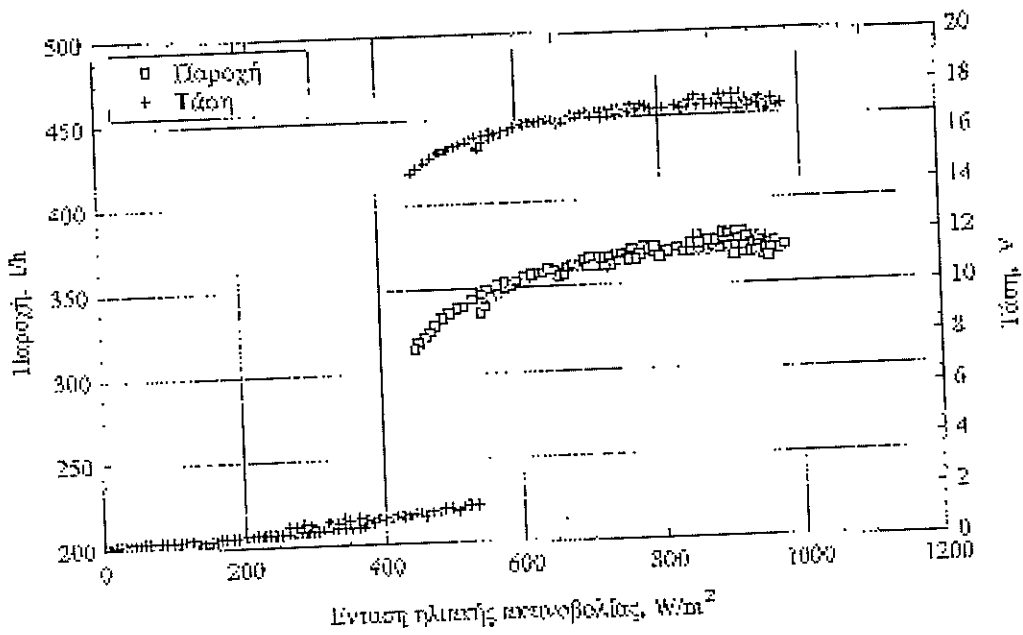
Διάγραμμα 3. Απόδοση του συστήματος ζινητήρα-αντλίας σε συνάρτηση με την ισχύ εισόδου για διάφορα ολικά ύψη αντλίας.



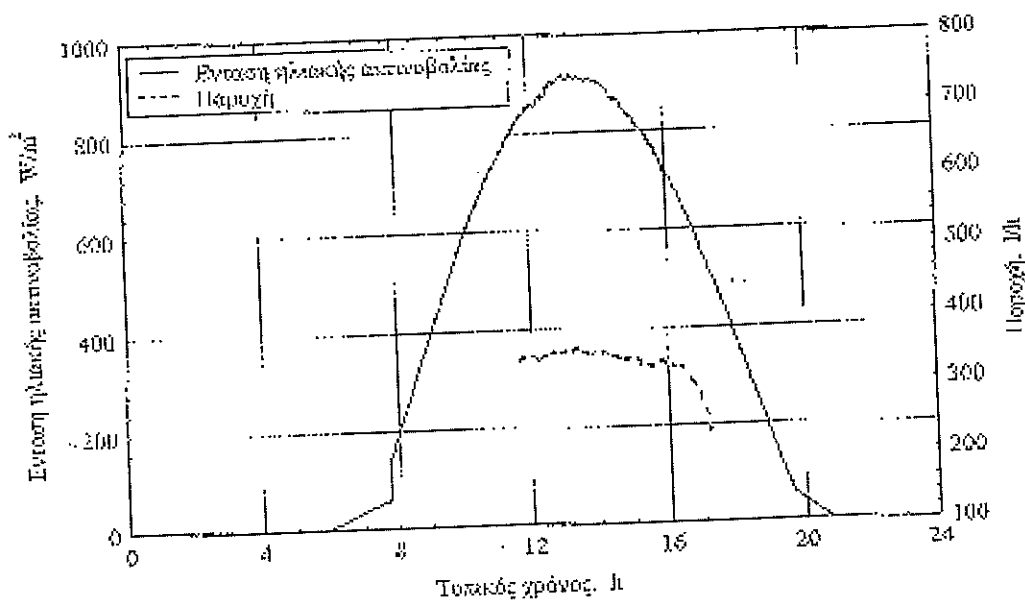
Διάγραμμα 4. Χαρακτηριστικές I-V της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του κινητήρα της αντλίας για διάφορα οριζαία ύψη αντλίας.



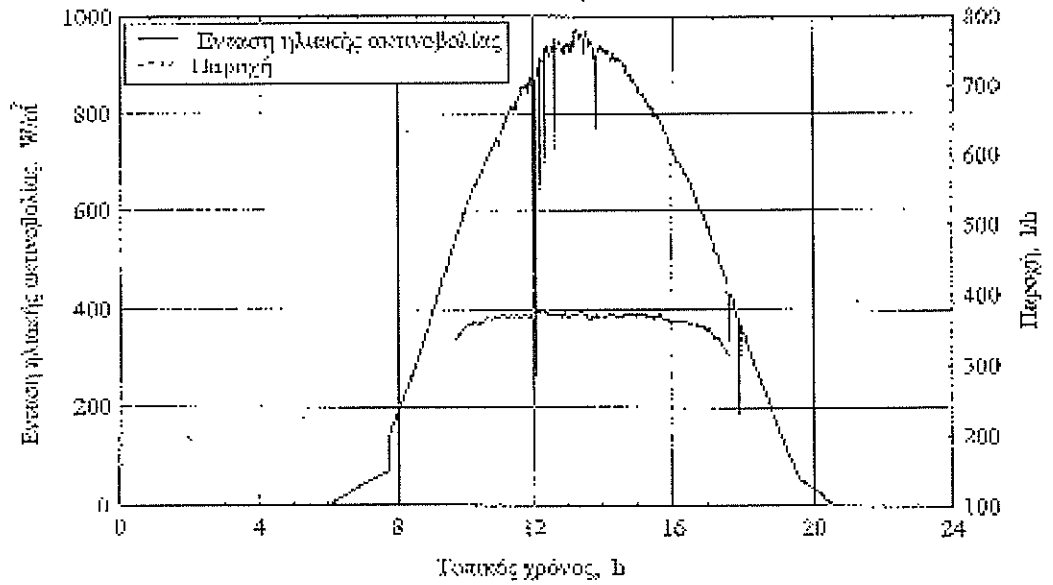
Διάγραμμα 5. Παροχή νερού και τάση εισόδου κινητήρα ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, για σύνδεση της αντλίας με δύο στοιχεία.



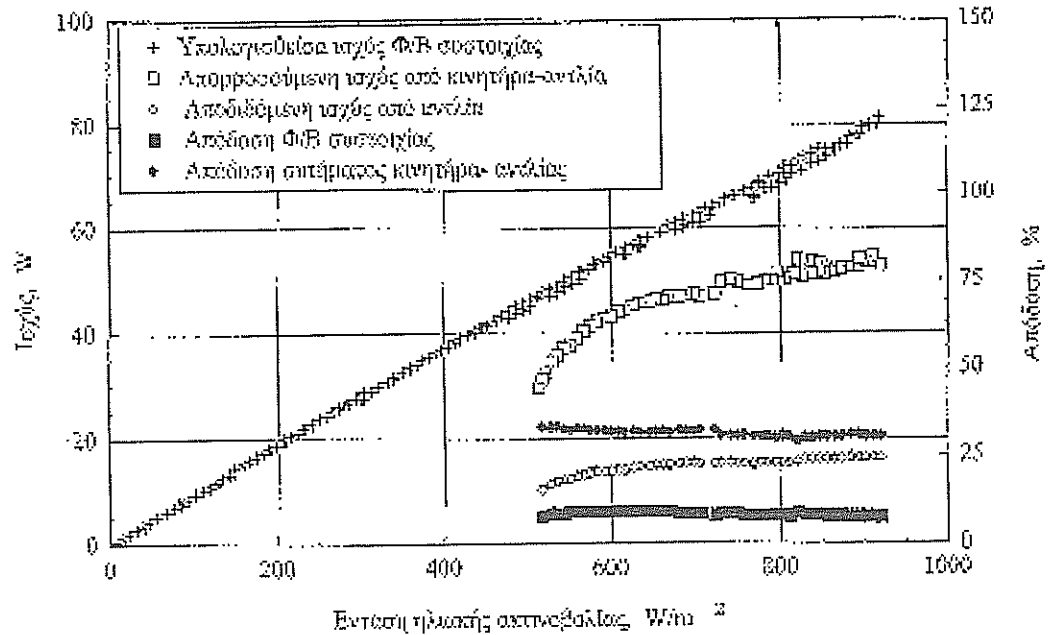
Διάγραμμα 6. Παροχή νερού και τάση εισόδου κινητήρα ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολία για σύνδεση της αντλίας με τρία στοιχεία.



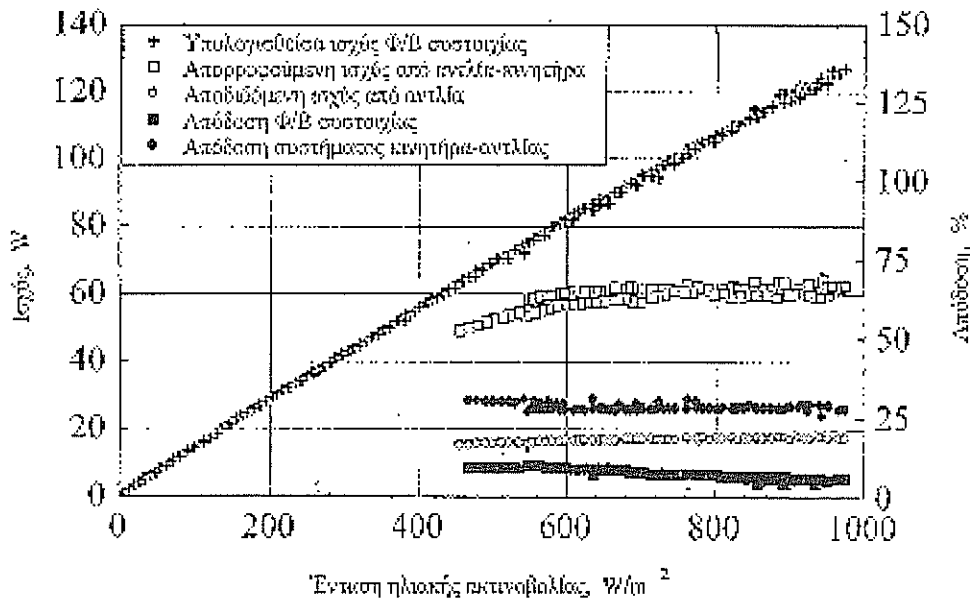
Διάγραμμα 7. Μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της παροχής νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας για σύνδεση αντλίας με δύο στοιχεία.



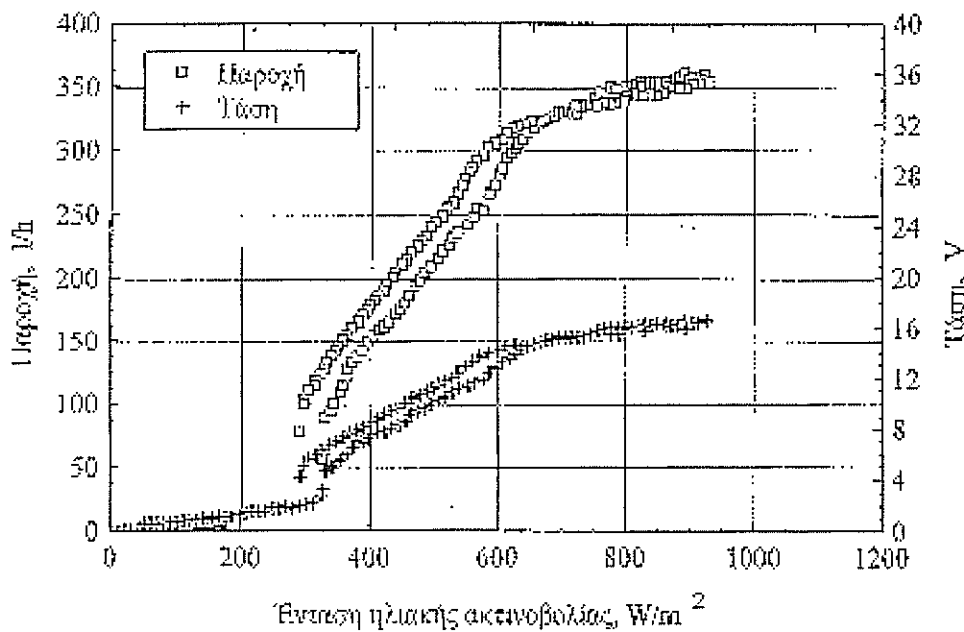
Διάγραμμα 8. Μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της παροχής νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας για σύνδεση αντλίας με τρία στοιχεία.



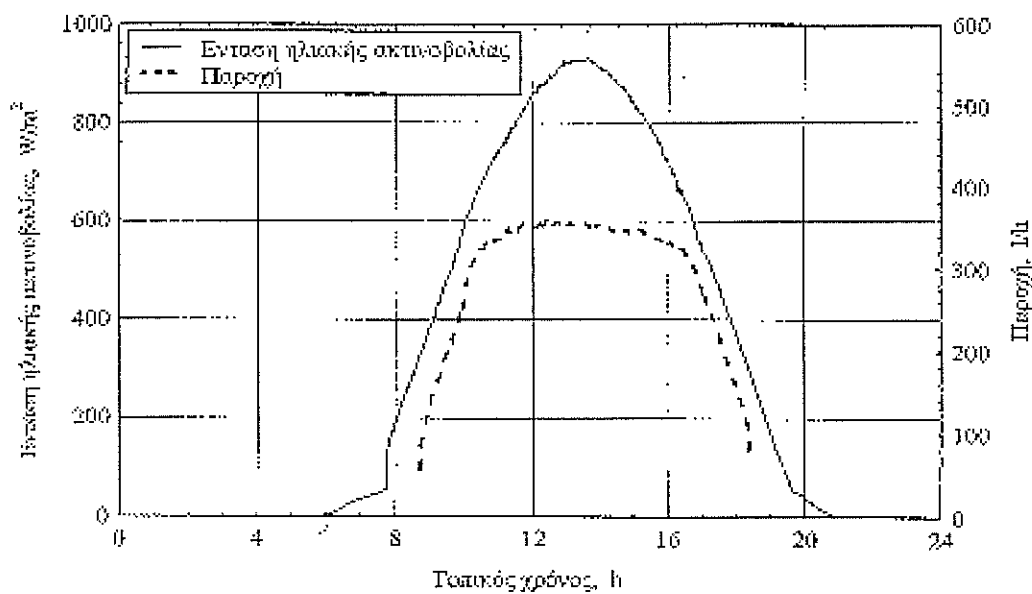
Διάγραμμα 9. Αποδόσεις και υπολογισμένη αποδιδόμενη ισχύς φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ισχύς εισόδου κινητήρα-αντλίας και ισχύς εξόδου αντλίας ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη συστοιχία για σύνδεση αντλίας με δύο στοιχεία.



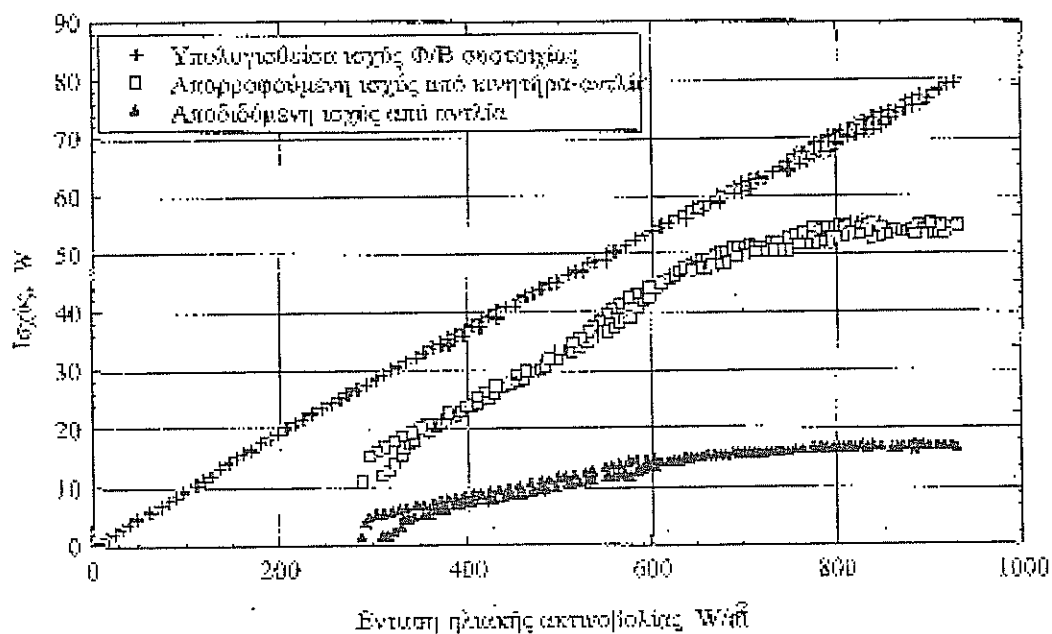
Διάγραμμα 10. Αποδόσεις και υπολογισμένη αποδοσίμενη ισχύς φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ισχύς εισόδου κινητήρα-αντλίας και ισχύς εξόδου αντλίας ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη συστοιχία για σύνδεση αντλίας με τρία στοιχεία.



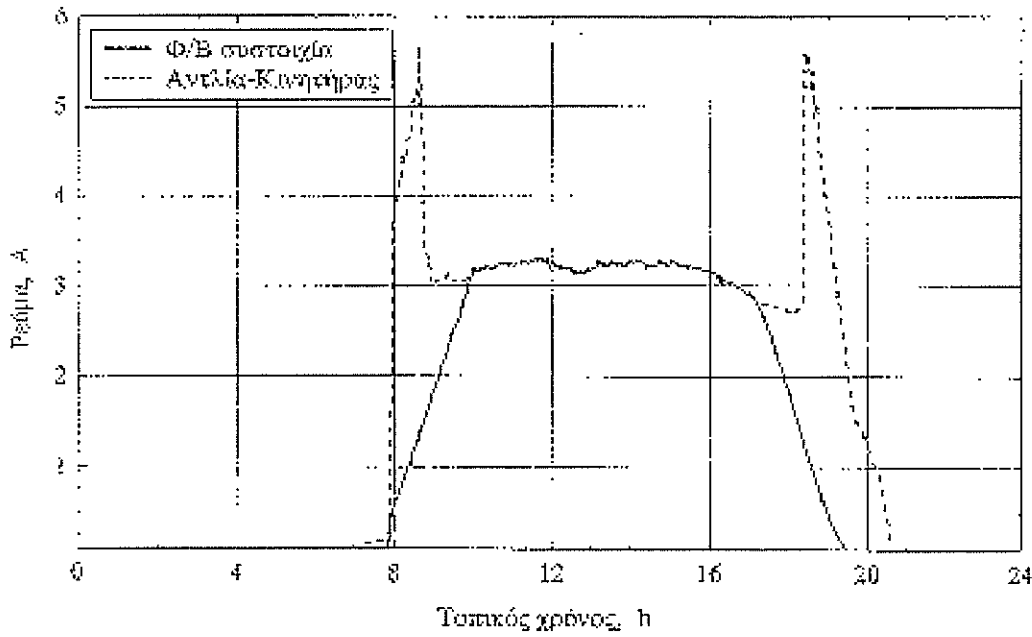
Διάγραμμα 11. Παροχή νερού και τάση εισόδου στον κινητήρα της αντλίας ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.



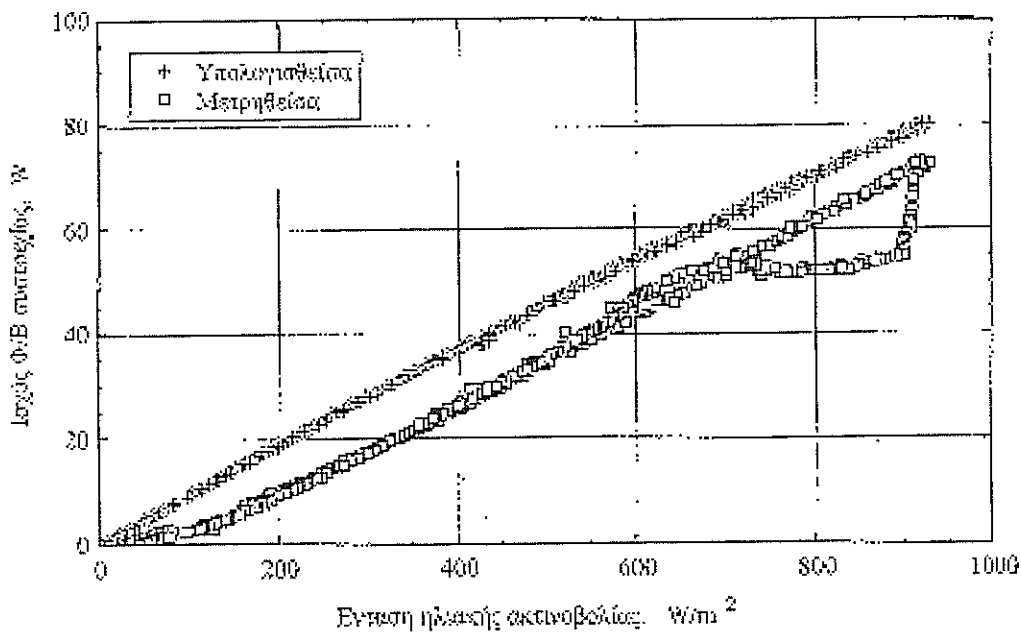
Διάγραμμα 12. Παροχή νερού και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια της ημέρας.



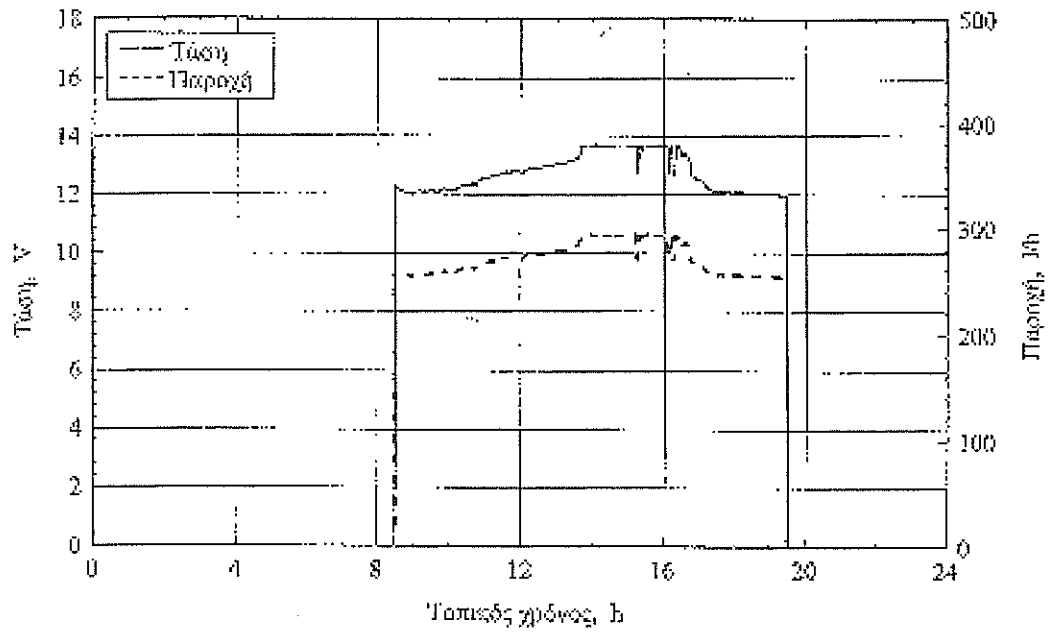
Διάγραμμα 13. Υπολογισμένη ισχύς εξόδου φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ισχύς εισόδου κινητήρα αντλίας και ισχύς εξόδου αντλίας ως συνάρτηση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας στη συστοιχία.



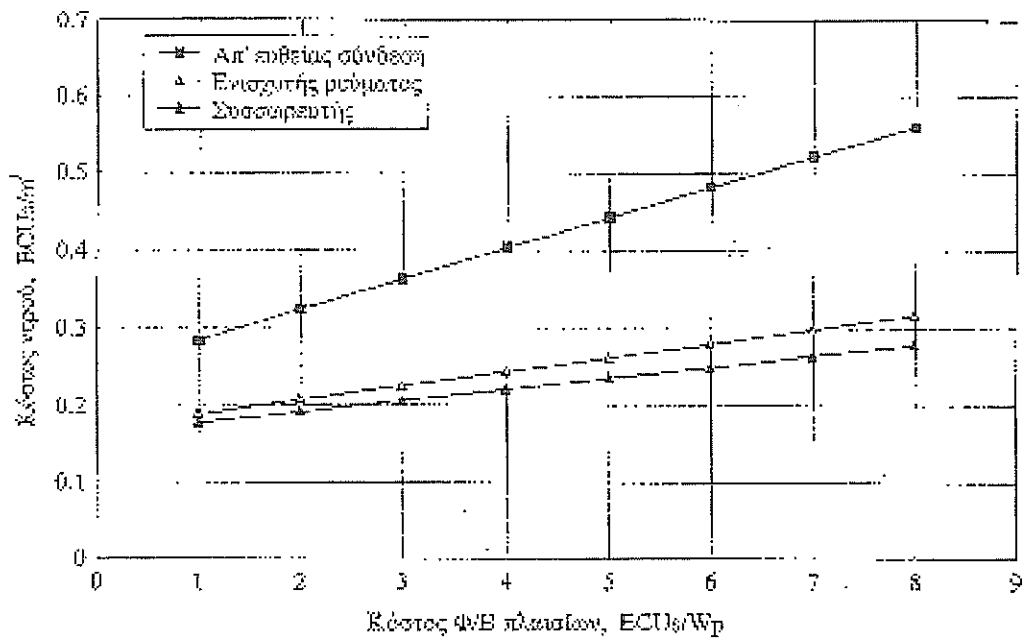
Διάγραμμα 14. Μεταβολή ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας και κινητήρα κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Διάγραμμα 15. Υπολογισμένη και μετρημένη ισχύς εξόδου φωτοβολταϊκής συστοιχίας ως συνάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.



Διάγραμμα 16. Μεταβολή της τάσης λειτουργίας του κινητήρα της αντλίας και της παροχής νερού κατά τη διάρκεια μιας καλοκαιρινής ημέρας.



Διάγραμμα 17. Επίδραση του κόστους των φωτοβολταϊκών στο κόστος ανά μονάδα όγκου αντλούμενου νερού.

ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Γεώργιος Γκιθώνας

*Μηχανολόγος - Μηχανικός
Διεύθυνση Τυποποίησης ΕΛΟΤ*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς προϋποθέτει ότι τα προϊόντα δύνανται να κυκλοφορούν ελεύθερα στο εσωτερικό της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η αρχή αυτή διατυπώνεται στο κείμενο της συνθήκης της Ρώμης και έχει εφαρμοσθεί ευρέως από το Δικαστήριο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Η αμοιβαία αναγνώριση των εθνικών κανόνων που ισχύουν για τα προϊόντα, έχει παρά ταύτα μια εξαίρεση, όταν μια βασική απαίτηση, όπως είναι η προστασία της υγείας του περιβάλλοντος ή των καταναλωτών δικαιολογεί εθνική νομοθετική ρύθμιση.

Στην περίπτωση αυτή επιδιώκεται η εναρμόνιση, σε κοινοτικό επίπεδο, αυτών των κανόνων και η νέα προσέγγιση που υιοθετήθηκε από την Ένωση κατά τα έτη 1984-85 στον τομέα της εναρμόνισης των τεχνικών προδιαγραφών βασίζεται στην εναρμόνιση των βασικών απαιτήσεων - με βάση ένα υψηλό επίπεδο προστασίας - και ρυθμίζεται από μια κοινοτική οδηγία που παραπέμπει στα πρότυπα για τις προδιαγραφές κατασκευής. Μια τέτοια παραπομπή στα πρότυπα δεν είναι προφανώς δυνατή παρά μόνον αν στον εν λόγω τομέα είναι δυνατή η τυποποίηση.

Η τεχνική τυποποίηση συνιστά λοιπόν ουσιώδη ενέργεια για την υλοποίηση της εσωτερικής αγοράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η σημασία που έχει αποδοθεί σε αυτή από τις δημόσιες διοικήσεις είναι ένα πρόσφατο φαινόμενο σ' ένα μεγάλο αριθμό κρατών-μελών, αλλά η διακήρυξη των αρχηγών κρατών και κυβερνήσεων της Ένωσης τον Ιούνιο του 1987, με την οποία ο τομέας αυτός ορίζεται ως τομέας προτεραιότητας, αντικατοπτρίζει σαφώς το ζωτικό ρόλο της τυποποίησης στα πλαίσια της διαδικασίας ολοκλήρωσης της εσωτερικής αγοράς.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από τις σημαντικότερες δραστηριότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης συνίσταται στην εξάλειψη των τεχνικών εμποδίων και στην εναρμόνιση των εθνικών νομοθεσιών. Τα πρότυπα είναι στενά συνδεδεμένα με αυτά τα δύο θέματα και, παράδοξως, εκ πρώτης όψεως, κατά τρόπο αντιφατικό: θεωρούνται, δηλαδή, ως πηγή των εμποδίων και ταυτόχρονα σαν μέσο εναρμόνισης.

Βέβαια, το παράδοξο αυτό υπάρχει μόνο επιφανειακά, αλλά βασίζεται στο γεγονός ότι τα πρότυπα θεωρήθηκαν κατά το αρχικό στάδιο, κυρίως σε κοινοτικό επίπεδο, σαν πηγή εμποδίων χρησιμοποιούμενα από τα κράτη μέλη για την προστασία των αγορών τους, αυτή δε η εικόνα είναι συνδεδεμένη με την ιδέα των προτύπων. Οι δημόσιες διοικήσεις δεν έχουν λοιπόν σκεφθεί εξαρχής να χρησιμοποιήσουν τα ευρωπαϊκά πρότυπα σαν μέσο ανταγωνιστικότητας και οικοδόμησης μιας ενιαίας εσωτερικής αγοράς, η οποία θεωρείται ότι αποτελεί τον ουσιώδη στόχο και σε εθνικό επίπεδο.

Η αντίληψη αυτή ότι τα πρότυπα αποτελούν τεχνικά εμπόδια έχει ευτυχώς μεταβληθεί τα τελευταία έτη, και αρκετά κείμενα και κοινοτικές αποφάσεις, από το έτος 1980, αναγνωρίζουν στα πρότυπα θετικό ρόλο στα πλαίσια της κοινοτικής δράσης. Κατά αυτόν τον τρόπο η τυποποίηση έ-

χει περάσει σε χρονικό διάστημα μερικών ετών από την σφαίρα του ελουσιώδους στο επίκεντρο της κοινοτικής μέριμνας, σαν όργανο για την δημιουργία μιας εσωτερικής αγοράς ανταγωνιστικής σε παγκόσμια κλίμακα και όχι περιορισμένης στα εδαφικά της όρια.

Έγγραφο εγκεκριμένο από έναν αρμόδιο ή αναγνωρισμένο οργανισμό

Ο αρμόδιος ή αναγνωρισμένος οργανισμός μπορεί να είναι εθνικός, περιφερειακός ή διεθνής. Αυτός είναι αναγνωρισμένος είτε από τις δημόσιες διοικήσεις (μέσω συνάφειας συμβάσεως ή συνθήκης, ή ενός κειμένου νομοθετικού ή κανονιστικού χαρακτήρα), είτε απλά μέσω συμφωνίας των οικονομικών εταιρών, με ή χωρίς επίσημη αναγνώριση, από τους οποίους δημιουργείται στις περισσότερες περιπτώσεις. Αυτός διαφοροποιείται από τους οργανισμούς των παραγωγών, για να διατηρεί την αναγκαία ουδετερότητα και ανεξαρτησία.

Οι οργανισμοί αυτοί είναι καταρχήν οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης, μέλη του ISO. Ο διεθνής αυτός οργανισμός που ιδρύθηκε το 1947 και συμπεριλαμβάνει τους εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης 88 χωρών (72 μέλη και 16 αντεπιστέλλοντα μέλη, ιδιότητα που αντιστοιχεί στο καθεστώς του παρατηρητή σε διεθνείς οργανισμούς, μέλη των οποίων είναι οι κυβερνήσεις των χωρών). Υπάρχει μόνο ένα μέλος από κάθε χώρα. Ο ISO έχει δημοσιεύσει, μέχρι σήμερα, περισσότερα από 8.000 διεθνή πρότυπα που έχουν καταρτιστεί από 2.100 περίπου φορείς τυποποίησης.

Διάφοροι τύποι προτύπων

- Διαρθρωτική τυπολογία: εδώ διακρίνονται πρότυπα μέσων και πρότυπα αποτελεσμάτων.

Το πρότυπο μέσων περιγράφει κατά τρόπο ακριβή τα χρησιμοποιούμενα μέσα για να εμφανίσει το αντικείμενο του τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Τα πρότυπα αυτά είναι συνελώς πολύ λεπτομερή, δύνανται δε να καταλήγουν στη λεπτομερέστατη περιγραφή των διαφορετικών σταδίων παραγωγής, όλων των τεχνικών χαρακτηριστικών και των χρησιμοποιουμένων υλικών και συστατικών.

Το πρότυπο αποτελεσμάτων αρκείται στο να περιγράφει κατά τρόπο ακριβή τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του αντικειμένου του, χωρίς να ασχολείται με την εσωτερική σύσταση, ούτε και με μέσα τα οποία πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

- Διοικητική τυπολογία: πρόκειται για την διάκριση των προτύπων βάσει των διοικητικών τους ταξινομήσεων στις διάφορες εθνικές συλλογές προτύπων.
- Λειτουργική τυπολογία: πρόκειται για τη διάκριση των διαφορετικών τύπων των προτύπων βάσει του περιεχομένου των.

Κύρια Πρότυπα

Πρότυπα βάσης: πρότυπα με γενική εφαρμογή, τα οποία περιέχουν γενικές διατάξεις και τα οποία εφαρμόζονται είτε σε ιδιαίτερους τομείς, είτε γενικότερα (η κατηγορία αυτή περιέχει για παράδειγμα τα πρότυπα μέτρων).

Πρότυπα ορολογίας: πρότυπα που περιέχουν απογλειστικά όρους και συνοδεύονται συνήθως από τον προσδιορισμό τους, μερικές φορές δε από σύμβολα, επεξηγηματικές σημειώσεις, εικονογραφήματα, παραδείγματα.

Πρότυπα προϊόντων: πρότυπα που καθορίζουν το σύνολο ή μέρος των απαιτήσεων τις οποίες πρέπει να πληροί ένα προϊόν, ή μια ομάδα προϊόντων για να ανταποκρίνεται στο στόχο του.

Πρότυπα δοκιμών: πρότυπα περιέχοντα τις μεθόδους δοκιμών που στόχο έχουν να εξετάσουν την συμφωνία ενός προϊόντος ή ενός υλικού προς τα απαιτούμενα από αυτό χαρακτηριστικά. Τα πρότυπα δύνανται να περιλαμβάνουν επίσης τις σχετικές με την εν λόγω δοκιμή διατάξεις, όπως τη δειγματοληψία, τη χρήση, τις στατιστικές μεθόδους.

Πρότυπα ασφαλείας: πρότυπα περιέχοντα τις διατάξεις που αποσκοπούν στην εγγύηση της ασφαλείας των προσώπων, των ζώων και των αγαθών.

Πρότυπα υπηρεσίας: πρότυπα που καθορίζουν το σύνολο ή μέρος των απαιτήσεων με τις οποίες πρέπει να συμφωνεί μία υπηρεσία για την εκπλήρωση του σκοπού της.

Πρότυπα σχετικά με τον μηχανισμό ή τον προγραμματισμό.

Το πρότυπο στο πλαίσιο των ενδοβιομηχανικών και εμπορικών σχέσεων

Τα πρότυπα χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλες τις φάσεις της οικονομικής ζωής: όταν μια επιχείρηση δημοσιεύει πρόσκληση για υποβολή προσφορών ή αναζητεί προμηθευτές, ενεργεί βάσει προτύπων που καθορίζουν το προϊόν το οποίο επιθυμεί να αγοράσει, και τα οποία, ενδεχομένως, να συμπληρώνονται από πρόσθετες προδιαγραφές, που εξαρτώνται από ειδικές ανάγκες της. Αυτή θα ρυθμίσει το ποσό της παραγγελίας της μέσω τυποποιημένων διαδικασιών (επιταγές, μεταφορά σε λογαριασμό...). Η διαδικασία παραγωγής στο εσωτερικό της επιχείρησης, οι δοκιμές, τα μέτρα, ο έλεγχος ποιότητας είναι επίσης οργανωμένα βάσει προτύπων, χωρίς να αναφέρουμε την αλυσίδα της διανομής των εμπορευμάτων, τυποποιημένη από τη φάση της συσκευασίας τους έως την τοποθέτησή τους στα ανάλογα τμήματα των πολυκαταστημάτων, για παράδειγμα.

Η χρησιμοποίηση του προτύπου στις δημόσιες ρυθμίσεις

Για να αποφευχθεί η λεπτομερειακή περιγραφή στις διάφορες κανονιστικές διατάξεις των απαιτήσεων, τις οποίες πρέπει να πληροί η μία ή η άλλη κατηγορία προϊόντων, οι δημόσιες διοικήσεις, σε πολλές χώρες, βασίζονται πολύ συχνά στα πρότυπα. Αυτή η εφαρμογή της τυποποίησης σε κανονιστική διάταξη μπορεί να έχει πολλές μορφές:

- το πρότυπο καθίσταται υποχρεωτικό
- το πρότυπο συνίσταται ή προτείνεται μέσω της οδού της "αναφοράς" ή "παραπομπής" στα πρότυπα. Η τεχνική της αναφοράς παρουσιάζει διάφορες παραλλαγές αναλόγως των χωρών που αφορά και τους επιδιωκόμενους στόχους. Αυτή μπορεί να συνίσταται σε αναφορά σε συγκεκριμένο πρότυπο, χρονολογημένο, σ' αυτή δε την περίπτωση θα πρέπει, στην συνέχεια, να τροποποιήσουν το περιεχόμενο της κανονιστικής διάταξης, αν και όταν το πρότυπο αναθεωρηθεί, ή σε αναφορά που αφήνει περιθώρια παρεκλίσεων και τότε στη ρύθμιση αναφέρεται ο αριθμός που αντιστοιχεί στο ή στα πρότυπα, χωρίς την ένδειξη της ημερομηνίας. Τέλος, μπορεί να πρόκειται για γενική αναφορά στα πρότυπα υπό μορφή "αναγνωρισμένων τεχνικών προδιαγραφών", σύμφωνα με την ευχερώς χρησιμοποιούμενη έκφραση. Το σύνολο των προτύπων που αναφέρονται στο αντικείμενο που προβλέπεται από τη σχετική ρύθμιση θεωρείται ότι επιτρέπει στα προϊόντα που τηρούν τα πρότυπα αυτά να είναι σύμφωνα με την εν λόγω ρύθμιση.

Για να εξαντλήσουμε το θέμα μας πρέπει να αναφέρουμε ότι τα πρότυπα έχουν επίσης πολύ συχνά χρησιμοποιηθεί από δημόσιους οργανισμούς όταν προβαίνουν σε προμήθειες, είτε διότι αυτοί υποχρεούνται εκ του νόμου, είτε διότι προσφεύγουν στη μέθοδο αυτή εκούσια

Πρότυπα και πιστοποίηση

Η πιστοποίηση είναι η πράξη η οποία συνίσταται στην επιβεβαίωση του γεγονότος ότι ένα προϊόν, ή μία υπηρεσία, είναι σύμφωνο προς τις καθορισμένες τεχνικές προδιαγραφές (και συνεπώς, κατά κύριο λόγο, προς τα πρότυπα).

ΜΕΣΑ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ**Τα εθνικά μέσα**

Κοινά σημεία και διαφορές των συστημάτων τυποποίησης

Οι οργανισμοί τυποποίησης είναι τα κύρια όργανα εφαρμογής της πολιτικής της τυποποίησης στις χώρες της Ευρώπης. Οι περισσότεροι από αυτούς έχουν ιδρυθεί στις αρχές του 20ου αιώνα, κυρίως δε στο χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο παγκοσμίων πολέμων.

Οι οργανισμοί αυτοί εμφανίζουν επιπλέον μεγάλες ομοιότητες, αφενός ως προς τη νομική μορφή τους, αφετέρου ως προς τους τρόπους λειτουργίας τους: σχεδόν πάντα πρόκειται για ενώσεις, οι οποίες προέρχονται από επαγγελματικές οργανώσεις και εκπονούν και δημοσιεύουν τα πρότυπα βάσει μιας διαδικασίας που εγγυάται τη δυνατότητα συμμετοχής όλων των ενδιαφερόμενων οικονομικών εταίρων. Οι δημόσιες διοικήσεις αναγνωρίζουν τα κατ' αυτόν τον τρόπο εκπονηθέντα πρότυπα σαν εθνικά πρότυπα, τα χρησιμοποιούν δε κατά προνομιούχο τρόπο σαν μέσα αναφοράς στις συγγραφές υποχρεώσεων των δημοσίων συμβάσεων, ή ακόμη σαν πρότυπα αναφοράς για την εφαρμογή των τεχνικών προδιαγραφών.

Αντίθετα προς το σύστημα που επικρατεί στις ΗΠΑ και στον Καναδά, όπου εκατοντάδες οργανισμοί δημοσιεύουν πρότυπα, καθένας στον τομέα του, οι χώρες της Ευρώπης ευνοούν συγκεντρωτικές δομές, με εξαίρεση όμως, και αυτό για ιστορικούς λόγους, του τομέα της ηλεκτροτεχνικής.

Η κατάσταση αυτή και η ομοιότητα με τους τρόπους λειτουργίας των εθνικών οργανισμών έχει επιτρέψει στην Ευρώπη να διαδραματίσει ένα "ρόλο-κλειδί" στα πλαίσια του διεθνούς συστήματος τυποποίησης εφαρμόζοντας, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, τα εθνικά σχήματα:

- οι κατά τομέα "τεχνικές επιτροπές" στις οποίες συμμετέχουν εμπειρογνώμονες επί των εγγεγραμμένων στο πρόγραμμα εργασίας θεμάτων, με σκοπό την εκπόνηση σχεδίων προτύπου. Οι εν λόγω εμπειρογνώμονες δεν αμείβονται και αποστέλλονται κυρίως από τις βιομηχανίες για τις οποίες η τυποποίηση αποτελεί μια ζωτικής σημασίας επένδυση για την ανάπτυξη τους.
- ένα σύστημα δομών στήριξης, ευρέως αποκεντρωμένο, μεταξύ εθνικών οργανισμών, που εξασφαλίζει τα απαραίτητα μέσα διοικητικής μέριμνας και επιτηρεί μέσω ενός συστήματος δημόσιας έρευνας την υλοποίηση του σχεδίου.
- ένα σύστημα εμπορικών δημοσιεύσεων και διανομών των εκπονηθέντων προτύπων.

ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ**Η CEN/CENELEC**

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) είναι μία διεθνής ένωση, συσταθείσα σύμφωνα με τις διατάξεις του βελγικού δικαίου, μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα, οι δραστηριότητες της δε εκτείνονται στον επιστημονικό και τεχνικό τομέα. Το καταστατικό της δημοσιεύθηκε στις 29 Ιανουαρίου 1976 στο "Moniteur Belge". Η CEN ιδρύθηκε το έτος 1961, από το 1975 δε έχει την έδρα της στις Βρυξέλλες, όπου συστεγάζεται με τον οργανισμό CENELEC που έχει αντίστοιχες αρμοδιότητες. Οι δύο αυτοί οργανισμοί τυποποίησης αποτελούν αυτό που αποκαλείται "Κοινός Ευρωπαϊκός Οργανισμός Τυποποίησης".

Το εμφανές μέρος της CEN είναι η κεντρική γραμματεία της που αριθμεί τριάντα περίπου άτομα, με τάση διαρκούς αύξησης, λαμβανομένης υπόψη της ανάπτυξης της ευρωπαϊκής τυποποίησης. Εντούτοις πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι η κεντρική της γραμματεία δεν αποτελεί παρά μόνο την "ορατή κορυφή του παγόβουνου CEN", το οποίο συντίθεται από δεκαέξι εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ευρωπαϊκής Ένωσης Ελευθέρων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ).

Η λειτουργία της Ευρωπαϊκής τυποποίησης

Η εσωτερική δομή της CEN είναι παρόμοια με της CENELEC, με την διαφορά ότι στην δεύτερη η γενική συνέλευση εκτελεί ταυτόχρονα και καθήκοντα διοικητικού συμβουλίου.

Η λειτουργία της ευρωπαϊκής τυποποίησης περιγράφεται στον κοινό εσωτερικό κανονισμό των CEN/CENELEC, ο οποίος έχει τεθεί σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 1987.

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά της ευρωπαϊκής τυποποίησης αναπτύσσονται παρακάτω:

- Οι τεχνικές εργασίες διεξάγονται, κατά κανόνα, από τις τεχνικές επιτροπές των οποίων η γραμματεία έχει ανατεθεί σε κάποιο από τα μέλη της CEN/CENELEC, σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες κατανομής αρμοδιοτήτων, αλλά πάντα σε εθελοντική βάση και, κατά το δυνατόν, βάσει της αρχής ότι η γραμματεία στην Ευρώπη έχει ανατεθεί στο μέλος που ασκεί, ταυτόχρονα, τα καθήκοντα γραμματείας του οργανισμού ISO και της CEI αντιπολίτως.
- Για να εξασφαλιστεί ο σχεδιασμός, ο προγραμματισμός και ο συντονισμός των δραστηριοτήτων της ευρωπαϊκής τυποποίησης σ' ένα δεδομένο τομέα, ο οργανισμός CEN/CENELEC μπορεί επίσης να συστήσει τις "επιτροπές προγραμματισμού", οι οποίες επιφορτίζονται με την εκπόνηση ενός προγράμματος ευρωπαϊκής τυποποίησης. Το σημείο αυτό αποτελεί μια καινοτομία εισαχθείσα από το νέο εσωτερικό κανονισμό και σκοπό έχει να λαμβάνει υπόψη, κατά τον καλύτερο τρόπο, τις προτεραιότητες που έχουν τεθεί στα πλαίσια της οικοδόμησης της Ευρώπης.
- Για να εξασφαλιστεί η μεγαλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα των ευρωπαϊκών προτύπων και να μην σπαταλάται άσκοπα το ανθρώπινο δυναμικό και οι οικονομικοί πόροι, τα μέλη των CEN/CENELEC υποχρεούνται να μην δημοσιεύουν εθνικά πρότυπα που αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο επί του οποίου ταυτόχρονα εργάζονται ευρωπαϊκοί οργανισμοί τυποποίησης.

Η μετατροπή σε εθνικά πρότυπα για την εφαρμογή στις συναλλαγές

Όπως αναφέραμε ανωτέρω, η ευρωπαϊκή τυποποίηση βασίζεται επί της αρχής του συντονισμού των εθνικών μηχανισμών. Χάρη λοιπόν σ' αυτούς τους τελευταίους, τα ευρωπαϊκά πρότυπα βρίσκουν την κύρια εφαρμογή τους σαν πρότυπα στα οποία εφαρμόζεται πλήρως το καθεστώς που ισχύει για τα εθνικά πρότυπα, από τα οποία δεν διακρίνονται παρά μόνο από την ονομασία και τον κωδικό αναφοράς: EN, BSI EN, ΕΛΟΤ EN ...

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Μετά την γενική αυτή εξέταση της τυποποίησης στην Ευρώπη, όσον αφορά την έννοια που έχει, τους φορείς που την καθιέρωσαν και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται, θα είναι πλέον αντιληπτό ότι από την τυποποίηση αυτή εξαρτάται η επιτυχία της νέας μεθόδου προσέγγισης που εφαρμόζεται στην Ευρώπη για την τεχνική εναρμόνιση των νομοθεσιών. Εντούτοις, δεν πρέπει να νομίσουμε ότι το 1992, που συνδέθηκε με την ημερομηνία ολοκλήρωσης της "Μεγάλης

Εσωτερικής Αγοράς" στην Ευρώπη, σήμανε το τέλος των προσπαθειών στον τομέα της ευρωπαϊκής τυποποίησης. Η τυποποίηση αποτελεί κατ' εξοχήν δραστηριότητα που πρέπει να αναπροσαρμόζεται συνεχώς στην τρέχουσα κατάσταση. Η τυποποίηση είναι αποτελεσματική μόνο εάν συμβαδίζει με την εξέλιξη των τεχνολογιών και την οργάνωση της οικονομίας.

3η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

Προεδρείο: Κ. Κίττας, Χ. Μαρτζοπούλου

Συγγραφείς: Δ. Μπριασούλης, Γ. Τσιρογιάννης, Α. Μυστριώτης
Ν. Βασιλείου, Χ. Νικήτα-Μαρτζόπουλου, Γ. Μαρτζόπουλος
Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας, Κ. Κίττας
Θ. Μπαρτζάνας, Α. Baille, Κ. Κίττας

ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Δημήτρης Μπριασούλης¹, Γιάννης Α. Τσιρογιάννης², Αντώνης Μυστριώτης

¹Εργ. Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθήνας
²Υπότροφος Ι.Κ.Υ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θερμοκήπια είναι ελαφριές κατασκευές που σκοπεύουν στο να επιτρέπουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διαφάνεια ως προς την ηλιακή ακτινοβολία και να δημιουργούν το κατάλληλο μικροκλίμα για τη βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών ενώ παράλληλα να αντέχουν σε δράσεις λόγω συνδυασμού φορτίων (π.χ. άνεμος, χιόνι, βροχή και χαλάζι). Συχνά προκαίπουν ζημιές σε θερμοκήπια από καταγίδες και πολύ βαριές χιονοπτώσεις λόγω ανεπαρκούς σχεδιασμού ή λανθασμένου ορισμού των φορτίων, των συνδυασμών τους ή και των δύο. Για να έχουν οι θερμοκηπιακές κατασκευές ικανά περιθώρια ασφάλειας και να αποφεύγονται εκτεταμένες ζημιές, πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς που προσφέρουν οδηγίες για τον υπολογισμό των φορτίων σχεδιασμού.

Εθνικοί κανονισμοί για γυάλινα και πλαστικής κάλυψης θερμοκήπια υπάρχουν σε αρκετές χώρες. Ήδη, προετοιμάζεται μέσω της αρμόδιας επιτροπής (CEN/TC-284), ένας κανονισμός για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Κοινότητας (CEN), η βάση οποίου είναι οι Ευρωπαϊκές για δράσεις και σχεδιασμό κατασκευών (CEN, CEN). Γενικά εθνικοί κανονισμοί για δράσεις χρησιμοποιούνται σε αρκετές χώρες, και αυτό συμβαίνει όταν δεν υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί για θερμοκήπια.

Οι δυνάμεις του ανέμου εμφανίζονται ως πίεση και αναρρόφηση στην επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου. Η δυναμική ανεμοπίεση εξαρτάται από το ενεργό ύψος του θερμοκηπίου, μέγεθος όμως που δεν ορίζεται με τον ίδιο τρόπο από τους διάφορους κώδικες (CEN, ANSI/ASCE). Ο συντελεστής ανεμοπίεσης που ορίζει την πίεση και αναρρόφηση ως συνάρτηση της δυναμικής ανεμοπίεσης, εξαρτάται από το σχήμα και την θέση του τμήματος της κάλυψης για το οποίο γίνονται οι υπολογισμοί. Γενικά ο συντελεστής αυτός διαφέρει μεταξύ των διαφόρων κανονισμών.

Σε διάφορους κανονισμούς για κατασκευές περιλαμβάνονται τόσο τυπικές ταχύτητες ανέμου που δίνονται μέσω μετεωρολογικών δεδομένων της υπό μελέτη περιοχής όσο και η μορφολογία του μετώπου του ανέμου, που περιγράφει την επιρροή του ανάγλυφου στην μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος. Τα φορτία σχεδιασμού υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη την διατομή του κτιρίου σε σχέση με τον άνεμο, το σχήμα και το ύψος, το υψόμετρο και την τοπογραφία της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένο καθώς και την αναμενόμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής (περίοδος αναφοράς). Τόσο η εσωτερική όσο και η εξωτερική πίεση πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν γίνονται υπολογισμοί φορτίων ανέμου στην κατασκευή.

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε μια υπό εξέλιξη έρευνα που αφορά την ουστηματική ανάλυση των στοιχείων που υπεισέρχονται στον υπολογισμό των φορτίων ανέμου στις κατασκευές στους διάφορους εθνικούς κανονισμούς, τον Ευρωπαϊκό για δράσεις και το προσχέδιο του Ευρωπαϊκού για σχεδιασμό θερμοκηπίων υπογραμμίζοντας τις διαφορές τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος Computational Fluid Dynamics (CFD) ως ένα πιο ενέλικτο και φτηνό μέσον για τον ορισμό της κατανομής της ανεμοπίεσης σε διάφορες τυπικές θερμοκηπια-

κές κατασκευές (επειδή τα πειράματά ανεμοσήραγγας είναι εξαιρετικά δαπανηρά και χρονοβόρα). Οι συνοριακές συνθήκες των αριθμητικών πειραμάτων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να προσομοιώνεται το τυπικό ατμοσφαιρικό επιφανειακό στρώμα σε αγροτικές περιοχές όπου συνήθως είναι εγκατεστημένα τα θερμοκήπια. Μοντέλα για αυτές τις οριακές συνθήκες μπορούν ακόμη να βρεθούν σε κώδικες για φορτία και δράσεις σε κατασκευές. Με τη βοήθεια αυτών των αριθμητικών προσομοιώσεων είναι δυνατόν να αναλυθούν θεωρητικά και αριθμητικά και να συγκριθούν με αντίστοιχες περιπτώσεις δημοσιευμένων πειραμάτων πλήρους κλίμακας και ανεμοσήραγγας οι επιδράσεις των διαφορετικών παραδοχών των διαφόρων κωδίκων. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής αναμένεται να συνεισφέρουν σε ένα πιο ρεαλιστικό καθορισμό των ανεμοπιέσεων για το σχεδιασμό θερμοκηπίων και να βοηθήσουν την αντίστοιχη έρευνα για το προσχέδιο του Ευρωπαϊκού κανονισμού.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Το φορτίο ανέμου είναι μία από τις πιο σημαντικές δράσεις για τα θερμοκήπια. Η κατανομή της πίεσης λόγω του ανέμου εξαρτάται βασικά από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτηρίου. Η επίδραση του σχήματος στην κατανομή αυτή περιγράφεται από τον αδιάστατο συντελεστή πίεσης c_p , ο οποίος ορίζεται ως:

$$Pe = \frac{1}{2} c_p \rho v_w^2 \quad (1)$$

όπου Pe είναι η εξωτερική πίεση στο κάλυμμα του θερμοκηπίου, v_w είναι η ταχύτητα του ανέμου υπολογισμένη σε ένα ύψος αναφοράς και ρ είναι η πυκνότητα του αέρα.

Οι συντελεστές πίεσης για τους πιο κοινούς τύπους κτηρίων βασίζονται σε δημοσιευμένη έρευνα στην βιβλιογραφία και δίνονται από τους Εθνικούς Κανονισμούς για το σχεδιασμό κατασκευών και τους Ευρωκώδικες για δράσεις. Παρόλα αυτά οι τιμές των συντελεστών πίεσης που δίνονται στους κανονισμούς έχουν χαρακτηριστεί ως υπεραπλουστευτικές προσεγγίσεις της πραγματικότητας που θέτουν περιορισμούς στην αξιοπιστία του σχεδιασμού ως προς το φορτίο ανέμου (Stathopoulos & Saathoff). Για το λόγο αυτό η βελτιστοποίηση συγκεκριμένων σχεδίων θερμοκηπίων απαιτεί τον καθορισμό των συντελεστών πίεσης με βάση ένα μεγάλο αριθμό μετρήσεων σε υπάρχουσες πραγματικές κατασκευές και σε πειράματα ανεμοσήραγγας. Μέχρι τώρα μόνο μερικοί τύποι θερμοκηπίων έχουν μελετηθεί όσο αφορά τους συντελεστές πίεσης τους. Πιο συγκεκριμένα, οι συντελεστές πίεσης των θερμοκηπίων τύπου Venlo, που είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος στην Βόρεια Ευρώπη, έχουν μετρηθεί στο Silsoe Institute of Agricultural Engineering, Great Britain σε κατασκευές πραγματικής κλίμακας (Wells & Hoxey).

Αν υποθεθεί ότι τα θερμοκήπια μπορούν να θεωρηθούν κανονικές αμφικλινούς στέγης κατασκευές, οι συντελεστές που ισχύουν για τις άλλες χαμηλού ύψους κατασκευές όπως είναι οι αποθήκες και στάβλοι αλλά και οι τυπικές αστικές χαμηλές κατασκευές μπορούν να εφαρμοστούν στο σχεδιασμό τους. Πολλά τυπικά χαμηλού ύψους κτήρια έχουν μελετηθεί με πειράματα ανεμοσήραγγας. Τα πειράματα ανεμοσήραγγας έχουν το πλεονέκτημα των πλήρως ελεγχόμενων συνοριακών συνθηκών σε σχέση με τα πειράματα πραγματικής κλίμακας που γίνονται σε εξωτερικές συνθήκες όπου η ροή του ανέμου παραλλάσσεται από τα περιώρια του κτηρίου. Οι συνθήκες εισόδου των ανεμοσήραγγων τροποποιούνται κατάλληλα ώστε να προσομοιώνουν το ατμοσφαιρικό επιφανειακό στρώμα. Συγκριτικές μελέτες που έχουν δημοσιευτεί στην διεθνή βι-

βλιογραφία δείχνουν μια σχετικά καλή συμφωνία μεταξύ πειραμάτων ανεμοσήραγγας και πλήρους κλίμακας (Richards & Hoxey). Μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται στις περιοχές όπου οι συντελεστές πίεσης παίρνουν μεγάλες αρνητικές τιμές. Ο λόγος για αυτή τη διαφοροποίηση δεν έχει γίνει πλήρως κατανοητός μέχρι στιγμής, αλλά έχει πιθανότητα σχέση με τη μεγάλη τυρβώδη δραστηριότητα που εμφανίζεται σε περιοχές ισχυρής αναρρόφησης.

Μια οικονομική και εύκολη εναλλακτική των πειραμάτων ανεμοσήραγγας (που όμως δεν τα υποκαθιστά) είναι η μέθοδος της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics (CFD)). Οι προσομοιώσεις CFD επιτρέπουν την εύκολη τροποποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κτηρίου και των συνοριακών συνθηκών περιγράφοντας κατάλληλα το ατμοσφαιρικό επιφανειακό στρώμα. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να μετρηθούν οι συντελεστές πίεσης για ένα μεγάλο αριθμό κατασκευών. Συγκρίσεις που βρέθηκαν στην βιβλιογραφία δείχνουν μια καλή συμφωνία μεταξύ των αριθμητικών αποτελεσμάτων και αυτών που προκύπτουν από τα πειράματα πλήρους κλίμακας. Παρόλα αυτά σε περιοχές μεγάλης τυρβώδους δραστηριότητας που αντιστοιχεί σε ροή αποκόλλησης, τα πειραματικά και τα αριθμητικά αποτελέσματα δεν συμφωνούν ποσοτικά. Στις περιοχές αυτές, ή η αριθμητική προσέγγιση συνεχώς υπερεκτιμά την δύναμη αναρρόφησης ή οι μετρητικές τεχνικές την υποεκτιμούν (ή και τα δύο) (Richards & Hoxey, Hoxey et al., Mistrionis et al., Mistrionis et al.,). Για το λόγο αυτό οι συντελεστές πίεσης που υπολογίζονται με CFD πρέπει να γίνονται αποδεκτές με προσοχή. Από την άλλη πλευρά, αποτελέσματα από πειράματα πλήρους κλίμακας ή μοντέλα ανεμοσήραγγας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο ενδεικτικά αφού αφορούν μόνο πολύ ειδικούς συνδυασμούς κατασκευών και συνθηκών, ενώ μπορεί να έχουν επηρεαστεί και από τις τεχνικές μέτρησης. Έτσι η αριθμητική ανάλυση είναι σε πολλές περιπτώσεις η μόνη οικονομική μέθοδος για συστηματική μελέτη της επίδρασης των συγκεκριμένων γεωμετρικών παραμέτρων στους συντελεστές πίεσης.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΩΔΙΚΕΣ

Κανονισμοί για τον υπολογισμό των δράσεων ανέμου

Υπάρχουν μερικές διαφορές στον τρόπο με τον οποίο διαφορετικοί κανονισμοί προσεγγίζουν το αντικείμενο του υπολογισμού των δράσεων ανέμου στις κατασκευές γενικά και φυσικά και στις θερμοκηπιακές κατασκευές, όταν εφαρμόζονται με την κατάλληλη χρησιμοποίηση των σχετικών παραμέτρων. Στη συνέχεια περιγράφονται εν συντομία ο Ευρωκώδικας για δράσεις, ο αντίστοιχος Αμερικάνικος κώδικας για κτήρια και άλλες κατασκευές καθώς και το προσχέδιο του προτεινόμενου κανονισμού για τον σχεδιασμό θερμοκηπίων που λαμβάνονται υπόψη σε αυτή την εργασία:

ENV 1991-2-4 :1995

Αυτός ο κανονισμός αποτελεί μέρος των Κατασκευαστικών Ευρωκωδίκων που συνιστούν ένα σύνολο κανονισμών για κατασκευαστικό και γεωτεχνικό σχεδιασμό κτηρίων και έργων πολιτικού μηχανικού. Παρέχει κανόνες και μεθόδους για τον υπολογισμό των φορτίων ανέμου σε κατασκευές. Παρέχει δύο διαδικασίες για τον υπολογισμό των φορτίων ανέμου :

- την απλοποιημένη μέθοδο που εφαρμόζεται στα κτήρια εκείνα που οι κατασκευαστικές τους ιδιότητες δεν τα κάνουν επιδεκτικά σε δυναμική διέγερση (για χρήση σε κτήρια χαμηλότερα των 200 μέτρων ή σε εκείνα των οποίων ο δυναμικός συντελεστής είναι μικρότερος του 1,2)

- την λεπτομερειακή μέθοδο που εφαρμόζεται στα κτήρια εκείνα που οι κατασκευαστικές τους ιδιότητες τα κάνουν επιδεικτικά σε δυναμική διέγερση (όλες οι άλλες περιπτώσεις)

ANSI/ASCE 7-93

Ο κανονισμός αυτός περιλαμβάνει στοιχεία για διάφορους τύπους δράσεων συμπεριλαμβανομένης και αυτής του ανέμου. Το χαρακτηριστικό της τελευταίας έκδοσης είναι ότι περιέχει μία εκτενή αναθεώρηση του τμήματος που αφορά τα φορτία ανέμου ώστε να συμπεριλάβει όλες τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα αυτό.

prEN 13031-1

Αυτό το προσχέδιο (ήδη υπό τροποποίηση) αφορά ειδικά στα θερμοκήπια. Για τον υπολογισμό των δράσεων ανέμου, το προσχέδιο υποτίθεται ότι στηρίζεται στις μεθόδους που παρέχονται από το ENV 1991-2-4. Στην πραγματικότητα το prEN 13031-1 δεν είναι ένας κανονισμός για τον υπολογισμό των φορτίων ανέμου αλλά περιέχει πληροφορία που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το ENV1991 (π.χ. συντελεστές πίεσης για συγκεκριμένα θερμοκήπια).

Κοινή βάση και κύριες διαφορές

Σε όλους τους παραπάνω κανονισμούς, που περιλαμβάνουν κανόνες για τον υπολογισμό των φορτίων ανέμου (EC1 και ANSI/ASCE), η απλή διαδικασία για τον υπολογισμό αφορά τον καθορισμό της ταχύτητας ανέμου, την επιλογή και καθορισμό των κατάλληλων συντελεστών που περιγράφουν τις επιδράσεις ριπών και τέλος την επιλογή των κατάλληλων συντελεστών πίεσης και δύναμης. Εξετάζοντας τις αναλυτικές μεθόδους που συνιστώνται για κτήρια που επιδέχονται δυναμική διέγερση, ένα σύνολο παραμέτρων ορίζει τις επιδράσεις ριπών του ανέμου στις κατασκευές. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήσαμε την απλή μέθοδο. Δεν περιλαμβάνεται στους σκοπούς αυτής της εργασίας η παρουσίαση εκτεταμένων αριθμητικών συγκρίσεων των κανονισμών όπως αυτοί εφαρμόζονται σε διάφορους τύπους θερμοκηπίων. Αντίθετα, η κοινή βάση και κάποιες κύριες διαφορές τονίζονται σε μια προσπάθεια να ξεκαθαρίσουν μερικά θέματα που αφορούν τις αρχές του υπολογισμού των "δράσεων ανέμου" που στηρίζονται στο υπό τροποποίηση προσχέδιο pr EN 13031-1 για τον σχεδιασμό θερμοκηπίων. Μερικά γενικά σχόλια σχετικά με τον υπολογισμό των πιέσεων ανέμου παρουσιάζονται συνοπτικά στην συνέχεια:

Πρώτα ο ANSI/ASCE διακρίνει τον υπολογισμό του φορτίου ανέμου που εφαρμόζεται στο κύριο σύστημα αντίστασης στον άνεμο από αυτόν που εφαρμόζεται για την κάλυψη και τα διάφορα στοιχεία της κατασκευής. Ο ENV-1991 παρέχει μία μέθοδο για όλες τις περιπτώσεις.

Ο ENV-1991 χρησιμοποιεί λογαριθμικό νόμο για την περιγραφή της μεταβολής της ταχύτητας με το ύψος ενώ ANSI/ASCE χρησιμοποιεί εκθετικό νόμο. Υπάρχουν ακόμη ορισμένες διαφορές μεταξύ των ομάδων των συντελεστών που χρησιμοποιεί ο κάθε κανονισμός (για παράδειγμα ο ANSI/ASCE χρησιμοποιεί τον συντελεστή σημαντικότητας ενώ δεν υπάρχει παρόμοιος συντελεστής ENV) και ακόμη στον τρόπο που εκφράζονται συντελεστές παρόμοιας σημασίας (π.χ. ο συντελεστής έκθεσης). Τέλος υπάρχουν διαφορές στον ορισμό του χαρακτηριστικού ύψους κάθε τύπου κατασκευής. Άλλες διαφορές αφορούν τους συντελεστές ασφάλειας και παραμέτρους όπως ο συντελεστής σημαντικότητας του ANSI/ASCE που μειώνει την αντίστοιχες πιέσεις ανέμου για τα αγροτικά κτήρια.

Η ΜΕΘΟΔΟΣ CFD

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 (Awbi):

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \nabla \cdot \varphi \mathbf{v} = \nabla \cdot \left(\Gamma_{\varphi} \nabla \varphi \right) + S_{\varphi} \quad (2)$$

όπου είναι το διάνυσμα της ταχύτητας, είναι ο συντελεστής διάχυσης και είναι ο όρος πηγής. Το σύμβολο εκφράζει τη συγκέντρωση του μεταφερόμενου μεγέθους (μάζας, ορμής, ενέργειας, κ.λ.π.). Για παράδειγμα, στη περίπτωση της εξίσωσης διατήρησης της μάζας (εξίσωση συνέχειας), το αντιστοιχεί στη πυκνότητα ρ . Αν το μεταφερόμενο μέγεθος είναι η ορμή, το αντιστοιχεί σε $\rho \mathbf{v}$. Σε αυτή τη περίπτωση η εξίσωση (2) αντιπροσωπεύει τις τρεις εξισώσεις διατήρησης της ορμής (εξισώσεις Navier-Stokes) που αντιστοιχούν στις τρεις συνιστώσες του διανύσματος.

Η επίλυση του συστήματος μερικών διαφορικών εξισώσεων (2) γίνεται στη γενική περίπτωση της τυρβώδους ροής μόνο με αριθμητικές μεθόδους γνωστές ως Υπολογιστική Ρευστοδυναμική (Computational Fluid Dynamics (CFD)). Η επίλυση γίνεται πάνω σε ένα διάκριτο 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.

Παρ' όλα αυτά, στη περίπτωση της τυρβώδους ροής, όπου εμφανίζονται δυναμικά φαινόμενα σε κλίμακα μικρότερη από τη κλίμακα του δικτύματος επίλυσης, η παραπάνω μέθοδος δε δίνει σωστά αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν μοντέλα της τυρβώδους ροής ώστε να αντιμετωπίζεται η πολυπλοκότητα της τυρβώδους δυναμικής. Στα μοντέλα αυτά, τα μεγέθη που περιγράφουν τη ροή περιγράφονται ως άθροισμα δύο συνιστωσών, δηλαδή ενός αργά μεταβαλλόμενου και ενός γρήγορα μεταβαλλόμενου μέρους.

Τα τελευταία χρόνια, το πιο δημοφιλές μοντέλο τυρβώδους ροής είναι το k-ε μοντέλο. Στο μοντέλο αυτό η τυρβώδης δυναμική περιγράφεται από δύο επιπλέον εξισώσεις μεταφοράς που είναι συζευγμένες με τις εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή (εξισώσεις Navier-Stokes). Οι δύο αυτές εξισώσεις εκφράζουν τη διατήρηση δύο φαινομενολογικών ποσοτήτων, της τυρβώδους κινητικής ενέργειας k, και του ρυθμού απόσβεσής της ε. Το βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι ότι δεν απαιτεί τον ορισμό επιπλέον εμπειρικών παραμέτρων που εξαρτώνται από τη θέση. Έτσι είναι δυνατόν να επιλυθούν περίπλοκες ροές που περιγράφονται από ελλειπτικές εξισώσεις, όπως ροές που διαχωρίζονται και ανακυκλώνονται.

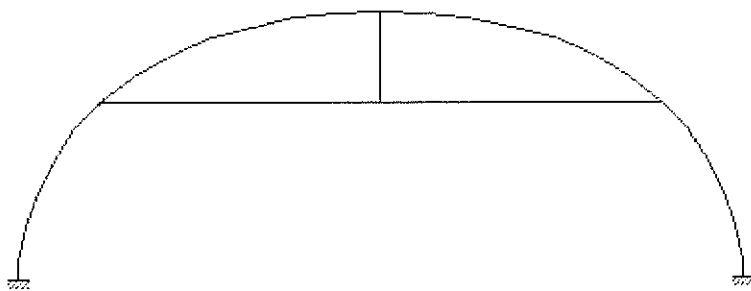
Στα αριθμητικά πειράματα με τη μέθοδο CFD, το ατμοσφαιρικό επιφανειακό στρώμα προσομοιώνεται με παρόμοιο τρόπο όπως και στα πειράματα ανεμοσήραγγας, διαμορφώνοντας κατάλληλα την εισερχόμενη ροή αέρα. Πρόσφατοι υπολογισμοί με τη μέθοδο CFD (Richards & Hoxey, 1992; Hoxey et al, 1993; Mistrionis et al, 1997) έδειξαν συμφωνία σε ικανοποιητικό βαθμό μεταξύ αριθμητικών και πραγματικών πειραμάτων ανεμοσήραγγας ή φυσικής κλίμακας.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Επιλογή του τόπου, των τύπων θερμοκηπίων και της ταχύτητας ανέμου

Στα πλαίσια των συγκριτικών μελετών της εργασίας αυτής, υπολογίστηκαν οι ανεμοπιέσεις στα θερμοκήπια που υποθέτουμε ότι βρίσκονται στην Κρήτη. Αυτό συμβαίνει επειδή ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής έκτασης θερμοκηπίων στην χώρα μας βρίσκεται εκεί (44% το 1996) (Τσιρογιάννης).

Για τους σκοπούς της παρούσας ανάλυσης εστιάσαμε το ενδιαφέρον μας σε ένα τυπικό τοξωτό θερμοκήπιο με ύψος 3,3m και άνοιγμα 9m (ΣΧΗΜΑ 1).

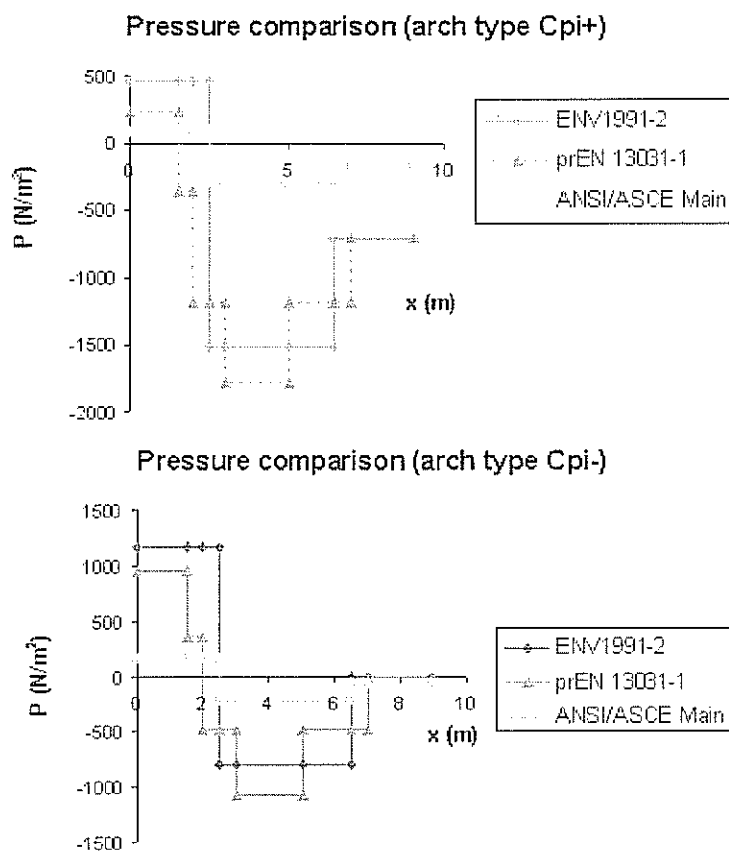


ΣΧΗΜΑ 1.

Όσο αφορά την εκτίμηση της ταχύτητας ανέμου, χρησιμοποιήθηκε η εργασία των Τζιανίκη Μ.Ι. & Τρέζου Κ.Γ., όπου παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της βασικής ταχύτητας αναφοράς του ανέμου στην Ελλάδα για τον υπολογισμό του φορτίου ανέμου στις κατασκευές. Σύμφωνα με την εργασία αυτή η Ελλάδα μπορεί να χωριστεί σε δύο ζώνες: η πρώτη με βασική τιμή της ταχύτητας αναφοράς του ανέμου ίση με 36m/s περιλαμβάνει τα νησιά και την ακτογραμμή για μια ζώνη πλάτους 10 km, ενώ η δεύτερη με 30 m/s περιλαμβάνει την υπόλοιπη χώρα. Οι ίδιες τιμές βρίσκονται και στο Παράρτημα Α του Ευρωκώδικα 1 για δράσεις ανέμου (CEN, 1995). Βάση της πληροφορίας αυτής επιλέχθηκε η ταχύτητα των 36 m/s. Ακόμη η περίοδος αναφοράς θεωρήθηκε ίση με 10 χρόνια (μια μέση ζωή σχεδιασμού για τα θερμοκήπια). Τέλος θεωρήθηκε ότι το θερμοκήπιο βρίσκεται εγκατεστημένο σε τυπική αγροτική γη μακριά από λόφους και γκρεμούς.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΠΙΕΣΗΣ, ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Στην παρούσα ανάλυση υπολογίστηκε με βάση τους κανονισμούς ENV 1991-2-4, ANSI/ASCE 7-93 και το προσχέδιο κανονισμού prEN 13031-1 καθώς και αριθμητικά (CFD) το φορτίο ανέμου για το θερμοκήπιο που αναφέρθηκε προηγουμένως, υποθέτοντας διεύθυνση ανέμου κάθετη στον άξονα του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα που αφορούν την κατανομή της πίεσης ανέμου στο τοξωτό θερμοκήπιο παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.

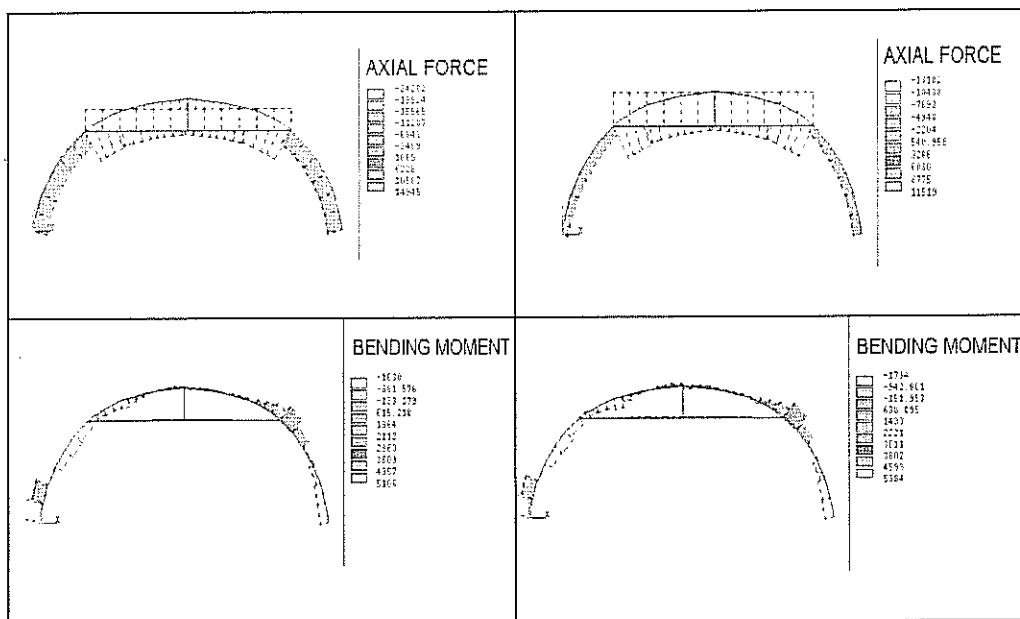


ΣΧΗΜΑ 2. Κατανομές πιέσεων ανέμου που υπολογίστηκαν σύμφωνα με διάφορους κανονισμούς (θεωρώντας θετικούς και αρνητικούς συντελεστές εσωτερικής πίεσης C_{pi} ίσους με $+0.2$ και -0.4 και GC_{pi} ίσο με 0.153 και -0.153 για το Ευρωπαϊκό και Αμερικάνικο κανονισμό αντίστοιχα)

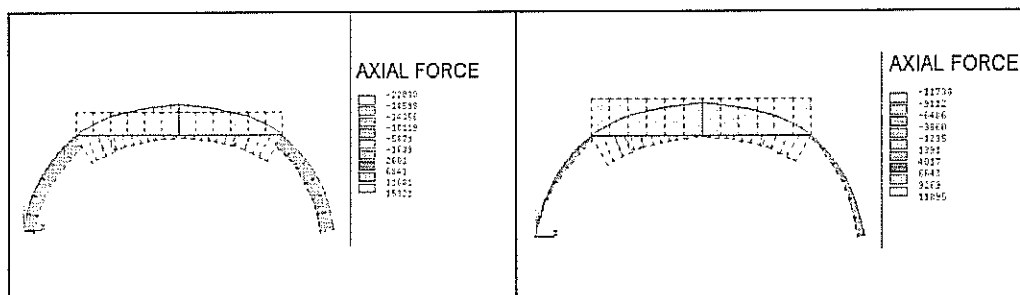
Το θερμοκήπιο αναλύθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ANSYS για τις αντίστοιχες κατανομές ανεμοπιέσεων του σχήματος 2. Στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε μόνο γραμμική ελαστική συμπεριφορά για το μεταλλικό τόξο και χρησιμοποιήθηκαν τα σχετικά χαρακτηριστικά του υλικού και της κατασκευής που συνήθως χρησιμοποιούνται στην πράξη στην χώρα μας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.

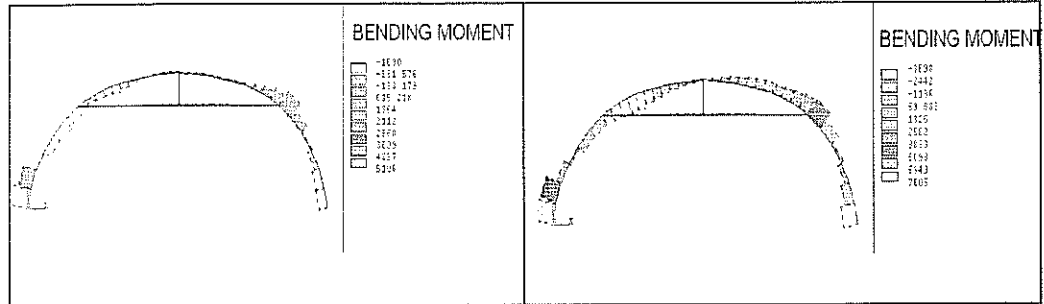
Μια πρώτη παρατήρηση είναι ότι η κατασκευή υπόκειται σε πολύ μικρότερες εσωτερικές δυνάμεις (ροπές και αξονικές δυνάμεις) κάτω από πιέσεις ανέμου που υπολογίστηκαν βάση του κώδικα ANSI, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν από τους EC1 και pr EN 13031-1. Η διαδικασία του EC1 οδηγεί σε χαρακτηριστικά υψηλότερες ροπές κάμψης από αυτές που δίνει το υπό τροποποίηση προσχέδιο prEN 13031. Το προσχέδιο prEN 13031-1 δίνει λίγο μεγαλύτερες αξονικές δυνάμεις (μεγάλες παραμορφώσεις και μη-γραμμικές επιδράσεις του υλικού είναι αντικείμενο της συνεχιζόμενης έρευνας π.χ. προβλήματα λυγισμού).

Όσο αφορά την καταπόνηση που αναπτύσσεται κάτω από τις υπολογισμένες πιέσεις χρησιμοποιώντας τους 3 κώδικες, παρατηρείται ότι η μέγιστη ορθή τάση σε διατομή κάθετη στον άξονα του τόξου ξεπερνά την αντίστοιχη τάση διαρροής του υλικού σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν. Ειδικότερα στην περίπτωση του EC1 και του prEN 13031-1, υπάρχουν μεγάλες περιοχές του τόξου όπου η μέγιστη ορθή τάση (υπολογισμένη βάση γραμμικής ελαστικής ανάλυσης) ξεπερνά την αντίστοιχη τάση διαρροής. Στην περίπτωση του ANSI, οι περιοχές αυτές του τόξου είναι πιο περιορισμένες. Θεωρήσαμε λοιπόν απαραίτητο να αναλυθεί στην συνέχεια η κατασκευή χρησιμοποιώντας μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων για μη-γραμμική ανάλυση κατασκευών.

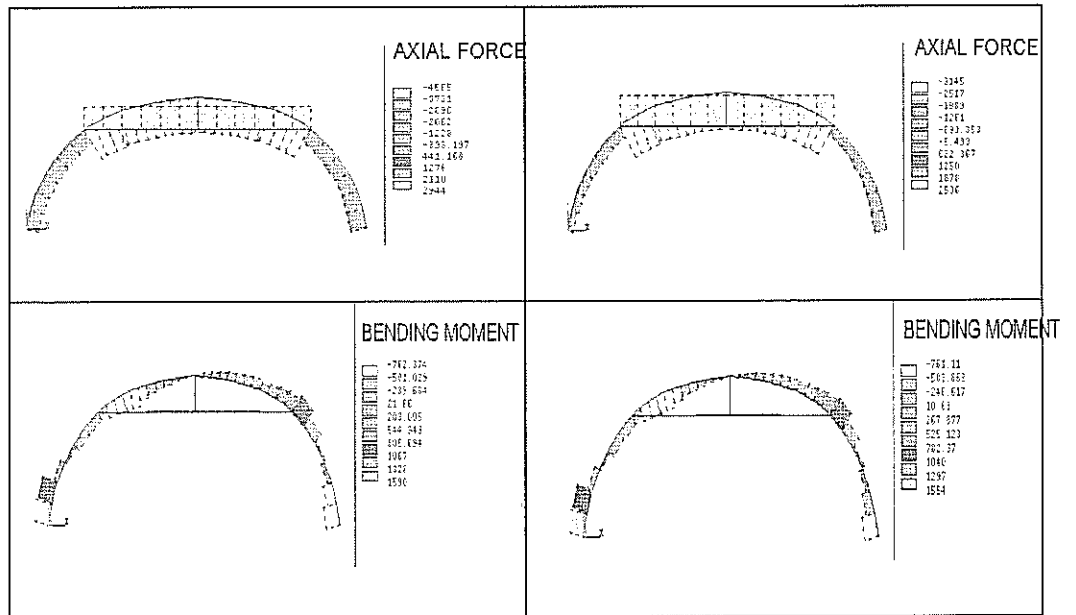


ΣΧΗΜΑ 3α. Αποτελέσματα δομοστατικής ανάλυσης για το θερμοκήπιο κάτω από φορτίο ανέμου υπολογισμένο με τον prEN 13031-1 (αριστερά: θετικές τιμές Cr1; δεξιά: αρνητικές τιμές Cr1).

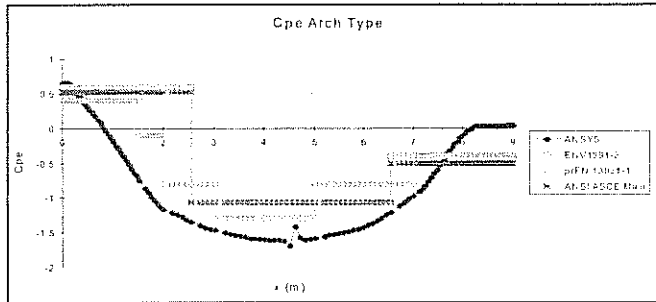




Σχήμα 3β. Αποτελέσματα δομοστατικής ανάλυσης για το θερμοκήπιο κάτω από φορτίο ανέμου υπολογισμένο με τον EC1 (αριστερά: θετικές τιμές C_{pi} ; δεξιά: αρνητικές τιμές C_{pi}).

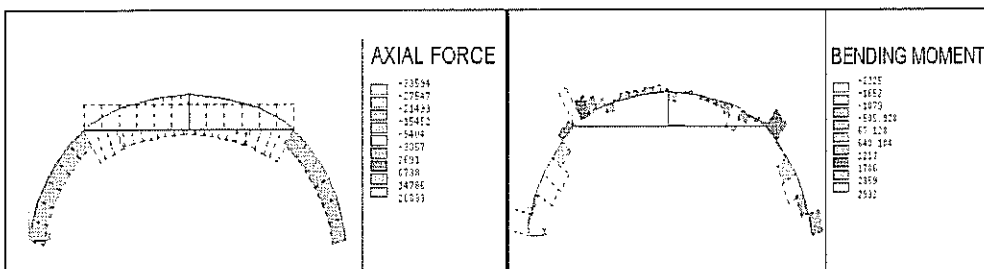


Σχήμα 3γ. Αποτελέσματα δομοστατικής ανάλυσης για το θερμοκήπιο κάτω από φορτίο ανέμου υπολογισμένο με τον ANSI/ASCE (αριστερά: θετικές τιμές C_{pi} ; δεξιά: αρνητικές τιμές C_{pi}).



ΣΧΗΜΑ 4. Σύγκριση κατανομών εξωτερικής πίεσης υπολογισμένες βάσει διαφόρων κανονισμών και αυτής που υπολογίστηκε με την μέθοδο CFD

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης μπορούν να υπολογιστούν επίσης χρησιμοποιώντας την μέθοδο CFD. Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για το τοξωτό θερμοκήπιο που αναλύουμε υπολογίστηκαν με το λογισμικό ANSYS-FLOTRAN. Ως συνοριακή συνθήκη εισόδου χρησιμοποιήθηκε ένα λογαριθμικό προφίλ του ατμοσφαιρικού επιφανειακού στρώματος σε αγροτική γη. Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται στο σχήμα 4. Είναι φανερό ότι οι αντίστοιχες κατανομές ανεμοπίεσης είναι σχετικά όμοιες με αυτές που παρέχουν οι διάφοροι κανονισμοί αλλά υψηλότερες σε μέγεθος στο κεντρικό τμήμα του τόξου. Οι κατανομές των αξονικών δυνάμεων και των ροπών κάμψης (φάνονται στο Σχήμα 5 για την περίπτωση θετικού συντελεστή εσωτερικής πίεσης) δείχνουν μια δραματική αύξηση των αξονικών δυνάμεων εκ παραλλήλου με μικρότερες ροπές κάμψης αν συγκριθούν με αυτές που υπολογίστηκαν με τους ευρωπαϊκούς κώδικες.



ΣΧΗΜΑ 5. Αποτελέσματα δομοστατικής ανάλυσης για το τοξωτό θερμοκήπιο που υπόκειται σε φορτίο ανέμου υπολογισμένου βάσει του CFD (θετικές Cpi τιμές).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Φαίνεται ότι ο υπολογισμός των κατανομών της ανεμοπίεσης σε θερμοκηπιακές κατασκευές εξαρτάται πάρα πολύ όχι μόνο από τις υποθέσεις που γίνονται για την συγκεκριμένη περίπτωση που εξετάζεται αλλά και στους διάφορους κανονισμούς που χρησιμοποιούνται. Αυτή η τελευταία-

α εξάρτηση φαίνεται να είναι πολύ σημαντική και μπορεί να οδηγήσει ή σε υπέρ-σχεδιασμένες ή υπό-σχεδιασμένες κατασκευές. Οι αντίστοιχες αριθμητικές αναλύσεις επιβεβαιώνουν ότι η όλη διαδικασία δεν είναι αρκετά επιβεβαιωμένη ακόμη και χρειάζεται πιο έντονη και συστηματική έρευνα στον τομέα αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Comite Europeen de Normalisation (C.E.N.), 1996 prEN 13031-1-Final Draft "Greenhouses : Design and construction Part 1 : Commercial production greenhouses", Brussels.
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.), 1995. Eurocode 1 : Basis of design and actions on structures- Part 2-5 : Actions on structures "Snow loads", Brussels.
4. ANSI/ASCE. 1996 "Minimum design loads for buildings and other structures", New York
5. Stathopoulos T. and Saathoff P., Wind pressure on roofs of various geometries, J. of Wind Eng. and Industrial Aerod., 38 (1991), 273.
6. Wells, D.A. & R.P. Hoxey, 1980. Measurements of wind loads on full scale glasshouses. J. of Wind Eng. and Industrial Aerod., 6 (1980), 139.
7. Richards P.J. and Hoxey R.P., Computational and wind tunnel modelling of mean wind loads on the Silsoe Structures Building. J. of Wind Eng. and Industrial Aerod., 41-44 (1992), 1641.
8. Hoxey R.P., Robertson A.P., Basara B., and Younis B.A., Geometric parameters that affect wind loads on low-rise buildings: full-scale and CFD experiments, J. of Wind Eng. and Industrial Aerod., 50 (1993), 243.
9. Mistriotis A., T. de Jong, M. Wagemans, and G.P.A. Bot (1997): "Computational Fluid Dynamics (CFD) as a tool for the analysis of ventilation and indoor microclimate in agricultural buildings". Netherlands J. of Agricultural Science 45 (1997), 81.
10. Mistriotis A., G.P.A. Bot, P. Picuno, G. Scarascia-Mugnozza, "Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics", J. of Agricultural and Forest Meteorology, 85 (1997), 217.
11. Awbi H.B. Ventilation in Buildings, E & FN Spon, London, G. Britain. Chapter 7, (1991).
12. Tsirogiannis Y.L., "Greenhouse types in Greece and their failure", Diploma Thesis A.U.A. (1996) (in Greek).
13. Tzanakis M.I., Trezos K.G. 1986. "Estimation of the reference wind speed over Greece for the design of structures", Technical Annals 1 No.6: 243-270 (in Greek).

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΕ ΔΙΠΛΟ ΤΟΞΩΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

N. N. Βασιλείου¹, X. Νικήτα-Μαρτζοπούλου², Γ. Γ. Μαρτζόπουλος³

¹*Civil Engineer, Agric. Bank of Greece, Athens*

²*Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Greece*

³*Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Greece*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο άνεμος είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το περιβάλλον των θερμοκηπίων ακόμα και σε χαμηλές ταχύτητες. Είναι συνήθως η πιο σημαντική παράμετρος καθορισμού των φυσικών αλλαγών του αέρα σ'ένα θερμοκήπιο.

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι η πειραματική διερεύνηση της επίδρασης του ανέμου στο φυσικό αερισμό ενός διπλού τοξωτού θερμοκηπίου με απλή κάλυψη πλαστικού και πλευρικά ανοίγματα αερισμού. Το θερμοκήπιο κατασκευάσθηκε στο Αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας του Α. Π. Θ. Ο τύπος αυτός είναι αντιπροσωπευτικός τύπος κατασκευής στην Ελλάδα και γενικότερα στις Μεσογειακές χώρες.

Ο προσδιορισμός του βαθμού αερισμού (N) βασίσθηκε σε μετρήσεις που έγιναν με χρήση CO₂ σαν μέσο ανάχνευσης. Οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου (V10) και της διεύθυνσής του έγιναν με ηλεκτρονικά όργανα τοποθετημένα σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Τα πειραματικά αποτελέσματα οδήγησαν στον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ του βαθμού αερισμού και της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου. Η μαθηματική έκφραση αυτής της σχέσης είναι:

α. $N = 17.7 V10$ για διεύθυνση ανέμου κανονική προς τα πλευρικά ανοίγματα του θερμοκηπίου, και

β. $N = 8.48 V10$ για διεύθυνση ανέμου κατά μήκος των πλευρικών ανοιγμάτων.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω σχέσεις είναι ότι για δεδομένη ταχύτητα ανέμου, η επιφάνεια αερισμού που απαιτείται για την επίτευξη σταθερού βαθμού αερισμού με διεύθυνση ανέμου παράλληλη προς τα πλευρικά ανοίγματα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από αυτήν που απαιτείται όταν η διεύθυνση ανέμου είναι κανονική προς τα ανοίγματα.

DETERMINATION OF NATURAL VENTILATION RATE IN A DOUBLE SPAN, ARCH TYPE, GREENHOUSE

N. N. Vassiliou, C. Nikita-Martzopoulou, G. G. Martzopoulos

ABSTRACT

The wind is an important factor influencing the greenhouse environment.

This is normally the most significant parameter affecting the natural air changes in the greenhouse, even at low speeds. The scope of this study is the experimental investigation of the wind effect on the natural ventilation of a double arched greenhouse with single plastic covering and vent openings only on the sides. This greenhouse was erected in the University Farm of the

School of Agriculture. This type of greenhouse is representative in continental Greece as well as in most of the Mediterranean countries.

The determination of the rate of the air changes (N) was based on measurements carried out with the use of CO₂ as a trace media. The wind velocity (V10) measurements and the wind direction were taken by electronic sensors located on a height of 10 m above the ground level.

The results of the experiment led to the determination of the relationship between ventilation rate and wind velocity and direction. The mathematical expression of this relationship is:

$N=17.7 V_{10}$ for wind direction normal to the sides opening of the greenhouse, and

$N=8.48 V_{10}$ for wind direction along the side opening of the greenhouse

The conclusion derived of the above relationships is that for a certain wind speed, the ventilation area required to succeed a constant ventilation rate in a greenhouse with wind direction parallel to the side openings must be as much as twice of this required when the wind direction is normal to the opening.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ροή αέρα μέσω ενός ανοίγματος αερισμού σε ένα θερμοκήπιο προκαλείται από τη διαφορά πίεσης ΔΡ του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο και του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Η διαφορά πίεσης ΔΡ οφείλεται στον άνεμο και στη θερμοκρασιακή διαφορά του αέρα, μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Όταν η διαφορά πίεσης ΔΡ του αέρα έξω από το θερμοκήπιο με αυτόν μέσα είναι θετική, τότε έχουμε ροή προς το θερμοκήπιο. Αν αντίθετα η ΔΡ είναι αρνητική έχουμε ροή αέρα από το θερμοκήπιο προς τον περιβάλλοντα χώρο.

Οι μηχανισμοί αερισμού στηρίζονται σε:

α. Κίνηση αέρα οφειλόμενη στη διαφορά θερμοκρασίας.

β. Κίνηση αέρα οφειλόμενη στον άνεμο.

γ. Κίνηση αέρα οφειλόμενη σε συνδυασμένη δράση ανέμου και θερμοκρασιακής διαφοράς.

Οι πρώτες εργασίες για τον αερισμό των θερμοκηπίων εμφανίζονται τη δεκαετία του 1950.

Οι Morris και Neale (1954) χρησιμοποίησαν για αέριο ανάχνευσης το CO₂ για να υπολογίσουν τον αερισμό απλών αμφίρροικτων γυάλινων θερμοκηπίων, με ανοίγματα αερισμού στην οροφή και στις πλευρές. Ο Boi (1980) παρουσίασε ένα μοντέλο του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, για ένα γυάλινο θερμοκήπιο με ανοίγματα αερισμού μόνο στην οροφή. Ο Bouille (1975) μελέτησε τον αερισμό τοξωτών χαμηλών σκεπάστρων. Ο αερισμός γινόταν με τρύπες που ανοίχθηκαν στις πλευρές και στην οροφή.

Οι Kozai και Sase (1978) ήταν οι πρώτοι που παρουσίασαν ένα μοντέλο αερισμού. Κάνοντας σημαντικές απλοποιήσεις υπολογίζουν τις ανανεώσεις του αέρα N σε απλά και πολλαπλά αμφίρροικτα θερμοκήπια με ανοίγματα αερισμού στις πλευρές και στην οροφή. Η σχέση μεταξύ ταχύτητας ανέμου και ανανεώσεων αέρα βρέθηκε γραμμική.

Οι Kozai, Sase και Nara (1980) καθώς και οι Sase, Kozai, Nara και Negishi συνεχίζουν την έρευνα παρουσιάζοντας και τους συντελεστές πίεσης και αντίστασης στη ροή που μέχρι τότε είχαν ληφθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία. Οι Sase, Takakura και Nara (1984) μελέτησαν τη ροή του ανέμου και την κατανομή της θερμοκρασίας σε δύο απλά αμφίρροικτα θερμοκήπια. Καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η κατασκευαστική διαμόρφωση των ανοιγμάτων αερισμού, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου επηρεάζουν τη ροή του αέρα και την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.

Οι Sase και Nara (1985) παρουσιάζουν έναν αλγόριθμο για τη ρύθμιση του αερισμού σε αμφίρροπο θερμοκήπιο με ανοίγματα αερισμού στην οροφή και στις πλευρές.

Οι Κίττας και συνεργάτες (1985 και 1987) προτείνουν έναν εμπειρικό τύπο που συνδέει τη θερμοκρασία μέσα και έξω από το θερμοκήπιο, την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του αέρα και την αδράνεια του συστήματος οφειλόμενη κυρίως στο έδαφος του θερμοκηπίου. Ο τύπος αυτός έχει προέλθει από πειραματικά αποτελέσματα σε ένα τοξωτό θερμοκήπιο χωρίς φυτό. Με τη βοήθεια αυτού του τύπου υπολογίζεται ο αριθμός ανανεώσεων του αέρα N , όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μηδενική, σε ένα θερμοκήπιο με δυναμικό αερισμό.

Ο Baytoğum (1986) και οι Mekikdjan και Sevilla (1988) μελέτησαν τον αερισμό απλού αμφίρροπου θερμοκηπίου ο πρώτος και τοξωτού θερμοκηπίου οι δεύτεροι χρησιμοποιώντας σαν αέριο ανάχνευσης το CO_2 .

Ο Kabbaj (1988) μελέτησε τον αερισμό τροποποιημένου τοξωτού θερμοκηπίου χρησιμοποιώντας σαν αέριο ανάχνευσης το N_2O .

Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, έγινε δυνατή η αριθμητική επίλυση μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων της ροής των ρευστών, συμπεριλαμβανομένης και της ροής του ανέμου. Εμφανίζεται έτσι η υπολογιστική δυναμική των ρευστών. Πολλοί ερευνητές όπως ο Hanson (1982), οι Bottcher και Willits (1987), οι Okushima, Sase και Nara (1988) και οι Παπιά, Μουζάκης, Μπεργελές (1990) μελετούν τη ροή του ανέμου με την εφαρμογή της υπολογιστικής αεροδυναμικής.

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι η πειραματική διερεύνηση της επίδρασης του ανέμου στο φυσικό αερισμό ενός διπλού τοξωτού θερμοκηπίου με πλευρικά ανοίγματα αερισμού. Σαν μέσο ανάχνευσης χρησιμοποιήθηκε το CO_2 .

2. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

2. 1. Περιγραφή θερμοκηπίου

Για τις ανάγκες του πειράματος κατασκευάστηκε ένα διπλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο στο αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας του Α. Π. Θ. Το θερμοκήπιο αυτό είναι ένα τυπικό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο που συναντάται σε πολλές περιοχές της Ηπειρωτικής Ελλάδας.

Το υλικό κάλυψης ήταν μαλακό πλαστικό τριών στρώσεων (co-extruded) KRITIFIL TUV 390 THERMOFILLO.

Η κάτοψη, οι πλευρές και οι όψεις του θερμοκηπίου φαίνονται στο σχήμα 1. Τα χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου είναι τα ακόλουθα:

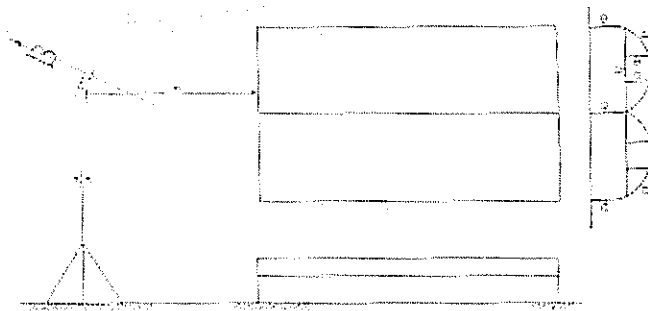
Μήκος	24 m
Πλάτος	$2 \times 7, 05 = 14, 10$ m
Ύψος υδρορροής	2, 20 m
Ύψος κορφιάς	3, 60 m
Εμβαδόν καλυμμένου εδάφους	338, 4 m ²
Όγκος θερμοκηπίου	1. 054 m ³

Η υδρορροή σχηματίζει γωνία 25° με το βορρά.

Τα ανοίγματα αερισμού ήταν στις πλευρές του θερμοκηπίου και είχαν κατά μήκος διάσταση $L=20$ m. Τα ανοίγματα άνοιγαν με τη βοήθεια μανιβέλας. Το μέγιστο ύψος του ανοίγματος H ήταν 0, 70 m. Όταν τα ανοίγματα είχαν ύψος 0, 70 m το ποσοστό αερισμού ήταν:

$$\frac{\text{Εμβαδόν ανοιγμάτων αερισμού}}{\text{Εμβαδόν καλυμμένου εδάφους}} = \frac{2 \times 0,70 \times 20}{338,4} \times 100 = 8,27\%$$

Το κάλυμμα της οροφής στερεώθηκε με clips στην υδρορροή και στα γείσα. Επειδή ήταν ένα μονοκόμματο φύλλο η στεγανότητά του ήταν πλήρης. Για τη στήριξη του καλύμματος των πλευρών στο έδαφος, ανοίχθηκε ένα μικρό χαντάκι διαστάσεων 0,20 x 0,20 m περίπου μέσα στο οποίο στηρίχθηκε το υλικό κάλυψης.



Σχήμα 1. Προσανατολισμός θερμοκηπίου.

2. 2. Αέριο ανάχνευσης για την εκτίμηση του αερισμού

Προκειμένου ένα αέριο να χρησιμοποιηθεί σαν αέριο ανάχνευσης για την εκτίμηση του βαθμού αερισμού, πρέπει να πληροί τις πιο κάτω προϋποθέσεις:

- Να μετράται εύκολα στις μικρές συγκεντρώσεις
- Να είναι αδρανές
- Να μην είναι εύφλεκτο
- Να μην είναι τοξικό
- Το μοριακό βάρος του να είναι πλησίον του μέσου βάρους των συστατικών του αέρα.

Για τον υπολογισμό του αερισμού από τους ερευνητές χρησιμοποιήθηκαν διάφορα αέρια.

Οι Morris και Neale (1954) χρησιμοποίησαν CO₂

Οι White και Lawrence (1960) χρησιμοποίησαν H₂

Ο Bot (1983) χρησιμοποίησε CO₂

Ο Baytorun (1986) χρησιμοποίησε CO₂

Οι Mekikdjan και Sevilla (1988) χρησιμοποίησαν CO₂

Ο Kabbaj (1988) χρησιμοποίησε N₂O

Τα αέρια που συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη προτίμηση είναι το CO₂ και το N₂O. Και τα δύο έχουν μοριακό βάρος 44. Το CO₂ έχει το μειονέκτημα να απορροφάται από τα φυτά. Το γεγονός αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη. Αντίθετα το N₂O είναι αδρανές. Μειονέκτημα του N₂O είναι το υψηλό κόστος.

Για τον υπολογισμό των ανανεώσεων του αέρα χρησιμοποιήθηκε CO₂. Η επιλογή αυτή έγινε διότι το αντικείμενο της μελέτης ήταν η εκτίμηση της ροής του αέρα στην πρώτη φάση μίας καλλιέργειας, όπου το ύψος των φυτών είναι μικρό. Επομένως επειδή η μάζα των φυτών είναι μικρή, η ροή του αέρα επηρεάζεται πολύ λίγο από αυτά.

Οι μετρήσεις συνεπώς έγιναν στο θερμοκήπιο χωρίς φυτά, μια και αυτά όταν έχουν μικρό ύψος δεν επηρεάζουν τη ροή του αέρα.

2.3. Όργανα μετρήσεων

Η μέτρηση της διεύθυνσης και ταχύτητας του ανέμου έγινε με ένα ανεμόμετρο και έναν ανεμοδείκτη που τοποθετήθηκαν στην κορυφή ενός ιστού σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους. Ο ιστός τοποθετήθηκε σε απόσταση 13, 40 m από το θερμοκήπιο ώστε η ροή του ανέμου να μην επηρεάζεται από την παρουσία του θερμοκηπίου (σχ. 1).

Χρησιμοποιήθηκε ένα ανεμόμετρο με περιστρεφόμενα κύπελλα A100R της Vector instruments Ltd που έχει εύκολη ενδοεπικοινωνία (interfaced) με το data logger CR10 που χρησιμοποιήθηκε. Το ανεμόμετρο αυτό είναι μεγάλης ακριβείας.

Για τη μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου χρησιμοποιήθηκε ένας ανεμοδείκτης W200P της ίδιας εταιρείας, ο οποίος έχει εύκολη ενδοεπικοινωνία με το data logger CR10.

Με τη μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος χώρου χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρια θερμοκρασίας 107 Cambell Scientific Ltd.

Ένα από αυτά τοποθετήθηκε στον ιστό σε ύψος 2, 50 m και το άλλο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1, 80 m. Και τα δύο τοποθετήθηκαν σε μετεωρολογικούς κλωβούς. Τα αισθητήρια αυτά είναι μεγάλης ακριβείας. Σύμφωνα με την εμπειρία της κατασκευάστριας εταιρείας το πιθανό σφάλμα των μετρήσεων είναι μικρότερο του *0, 2 οC.

Η παροχή CO₂ στο θερμοκήπιο έγινε από μία φιάλη η οποία χωρούσε 50 kg CO₂. Για να εξασφαλισθεί ομοιόμορφη παροχή CO₂ μέσα στο θερμοκήπιο, η έγχυση του CO₂ γινόταν μέσω ενός διάτρητου ελαστικού αγωγού διαμέτρου 1 cm. Ο αγωγός αυτός τοποθετήθηκε πάνω στους ελκυστήρες των ζευκτών.

Η δειγματοληψία για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ έγινε σε δύο σημεία του θερμοκηπίου και σε ύψος 1, 80 m από το έδαφος με τη βοήθεια δύο μικρών αντλιών που διοχέτευαν το αέριο στο μετρητή του CO₂.

Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ χρησιμοποιήθηκε ένας αναλυτής CO₂ Servomex 1370.

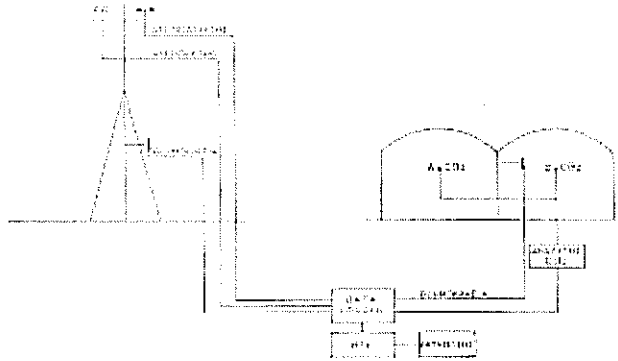
Για τη συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων από τους αισθητήρες και τον αναλυτή CO₂ χρησιμοποιήθηκε ένα Data Logger CR10 του οίκου Gambell Scientific. Η μονάδα έχει δυνατότητα δειγματοληψίας των τιμών όλων των αισθητήρων που είναι συνδεδεμένα στις εισόδους της σε τακτά και προγραμματιζόμενα χρονικά διαστήματα στη διάρκεια του 24ωρου. Οι τιμές αυτές μετά από επεξεργασία καταχωρούνται σε μνήμη εξόδου από όπου μεταφέρονταν σε ένα φορητό υπολογιστή Toshiba μέσω ενός συστήματος ενδοεπικοινωνίας RS 232 Interface.

Ο CR 10 έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- 12 αναλογικά κανάλια εισόδου με δυνατότητα και διαφορικής σύνδεσης
- Μνήμη RAM 64 K (περιλαμβάνεται πρόσθετη μνήμη) και ενσωματωμένο ρολόι πραγματικού χρόνου μεγάλης ακριβείας (* 2 min το μήνα).
- Πληκτρολόγιο και οθόνη LCD RS

- 2 απαριθμητικές εισόδους
- 8 εξόδους ελέγχου (Control Ports).

Στο σχήμα 2 δίνεται το συνοπτικό διάγραμμα του πειραματικού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του αερισμού στο τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο.



Σχήμα 2. Συνοπτικό διάγραμμα πειραματικού εξοπλισμού.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3.1. Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου καθ' ύψος

Για την καθ' ύψος μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου έγινε αποδεκτός ο εκθετικός νόμος:

$$V_z / V_{10} = (z / 10)^{\alpha} \quad (1)$$

Οπου: V_{10} = μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους (m s⁻¹)

V_z = μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z (m s⁻¹)

z = ύψος από την επιφάνεια του εδάφους (m)

α = αδιάστατος εκθέτης του οποίου η τιμή εξαρτάται από τη μορφή (τραχύτητα) του εδάφους

Για την εύρεση της τιμής του α μετρήθηκαν ταυτόχρονα οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 2, 35 m και 10 m από την επιφάνεια του εδάφους για διεύθυνση του ανέμου παράλληλα και κάθετα στην υδρορροή. Χαρακτηριστικές μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 10 m και 2, 35 m δίνονται:

α. για διεύθυνση ανέμου παράλληλη στην υδρορροή στον πίνακα 1.

β. για διεύθυνση ανέμου κάθετη στην υδρορροή στον πίνακα 2.

Για κάθε δοκιμή βρέθηκαν οι μέσες ταχύτητες V_{10} και $V_{2,35}$ του ανέμου σε ύψος 10 m και 2, 35 m. Η τιμή του α που αντιστοιχεί για διεύθυνση του ανέμου κάθετα στην υδρορροή είναι η μέση τιμή των α που προκύπτουν από τις αντίστοιχες δοκιμές και την εφαρμογή της εξίσωσης (1).

Η ίδια μέθοδος ακολουθείται και για διεύθυνση του ανέμου παράλληλη στην υδρορροή.

Η τιμή του α βρέθηκε:

α. Για διεύθυνση ανέμου κάθετη στην υδρορροή $\alpha = 0, 24$.

β. Για διεύθυνση ανέμου παράλληλη στην υδρορροή $\alpha = 0, 27$.

3. 2. Αρχές υπολογισμού του αερισμού θερμοκηπίων

Ο υπολογισμός των ανανεώσεων του αέρα σε ένα θερμοκήπιο γίνεται με τη βοήθεια CO₂ που χρησιμοποιήθηκε ως αέριο ανάχνευσης (tracer gas).

Η μέθοδος βασίζεται στην αρχή του ισοζυγίου μάζας του αερίου αυτού στο θερμοκήπιο. Σύμφωνα με αυτή, η συγκέντρωση C_i του αερίου ανάχνευσης στο θερμοκήπιο, δίνεται από την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης:

$$\text{Vol} (dC_i / dt) = -\Phi(t) C_i + Q(t) \quad (2)$$

Όπου: Vol = όγκος θερμοκηπίου (m³)

C_i = συγκέντρωση ανάχνευσης στη χρονική στιγμή t (ppm ή ml m⁻³)

Φ(t) = ροή αέρα στη χρονική στιγμή t (m³ s⁻¹)

t = χρόνος (s)

Q(t) = ροή (παροχή) αερίου ανάχνευσης στο θερμοκήπιο (ml s⁻¹)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μετρήσεις ταχύτητας ανέμου με διεύθυνση παράλληλη στην υδρορροή.

Ταχύτητα σε ύψος 2, 35 m (m s ⁻¹)	Ταχύτητα σε ύψος 10 m (m s ⁻¹)
1, 89	3, 50
1, 26	3, 00
3, 02	3, 42
1, 88	3, 08
1, 81	3, 50
0, 56	2, 00
1, 46	2, 25
1, 78	3, 17
1, 70	3, 00
2, 38	2, 33
1, 58	2, 58
2, 79	3, 00
2, 76	2, 75
2, 14	2, 25
1, 43	1, 75
1, 22	2, 00

Για τον υπολογισμό των ανανεώσεων του αέρα υπάρχουν δύο μέθοδοι:

α. Η μέθοδος της συνεχούς ροής (continuous flow method)

β. Η μέθοδος της μειούμενης συγκέντρωσης (decay rate method)

Η πρώτη μέθοδος είναι ακριβής, αλλά απαιτείται μεγάλη ποσότητα αερίου ανάχνευσης και η χρονική διάρκεια, μέχρι η μεταβολή της συγκέντρωσης του αερίου ανάχνευσης να γίνει μηδενική, είναι μεγάλη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Μετρήσεις ταχύτητας ανέμου με διεύθυνση κάθετη στην υδρορροή.

Ταχύτητα σε ύψος 2, 35 m (m s ⁻¹)	Ταχύτητα σε ύψος 10 m (m s ⁻¹)
2, 11	3, 08
3, 12	3, 58
1, 54	3, 83
2, 22	2, 75
2, 36	2, 50
1, 49	2, 83
1, 45	3, 50
1, 75	2, 33
1, 87	2, 92
2, 18	2, 67
3, 39	3, 33
2, 30	3, 83
2, 48	3, 17
1, 96	2, 50
1, 76	3, 17
2, 44	2, 83
1, 64	2, 50
1, 95	2, 50
1, 65	2, 17
1, 91	1, 75
1, 55	2, 08
1, 33	2, 33
1, 62	2, 42
0, 81	2, 33
2, 62	2, 92
1, 75	3, 08
2, 10	2, 42
1, 61	2, 67

Με τη μέθοδο της μειούμενης συγκέντρωσης ο αέρας του θερμοκηπίου εμπλουτίζεται με αέριο ανάχνευσης. Τη χρονική στιγμή t_0 διακόπτεται η παροχή αερίου ανάχνευσης. Από τη χρονική στιγμή αυτή και μετά $Q(t) = 0$. Επομένως η σχέση (2) γίνεται:

$$\text{Vol} (dC_t/dt) = -\dots(t) C_t \quad (3)$$

$$dC_t / dt = (-\Phi(t) / Vol) C_t \quad (4)$$

$$\text{επειδή } N = 3600 \Phi / Vol \quad (5)$$

Η σχέση (4) γίνεται:

$$dC_t / dt = (-N / 3.600) C_t$$

Και επειδή $N/3600 = R$ η σχέση αυτή λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

$$dC_t / dt = -R C_t \quad (6)$$

Όπου R : ρυθμός ανανεώσεων αέρα ανά s .

Εάν το R είναι σταθερό, τότε η επίλυση της (6) δίνει:

$$C_t = C_0 e^{-Rt} \quad (7)$$

όπου: C_t = η συγκέντρωση του αερίου ανάχνευσης τη χρονική στιγμή t (ppm)

C_0 = η συγκέντρωση του αερίου ανάχνευσης τη χρονική στιγμή t_0 που διεκόπτεται η παροχή αερίου ανάχνευσης στο θερμοκήπιο (ppm)

$t_0=0$ = δηλαδή σαν αρχή του χρόνου λαμβάνεται η χρονική στιγμή t_0 .

3. 3. Υπολογισμός ανανεώσεων του αέρα N στο πειραματικό θερμοκήπιο

Για τον υπολογισμό του N επιλέγει η μέθοδος της μειούμενης συγκέντρωσης. Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι μείγμα αερίων, ένα εκ των οποίων είναι το CO_2 . Η μέση συγκέντρωση CO_2 στον αέρα είναι 330 ppm. Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις μετρήσεις.

Εάν C_{00} είναι η συγκέντρωση του CO_2 στον ατμοσφαιρικό αέρα, τότε η σχέση (7) λαμβάνει τη μορφή:

$$C_t - C_{00} = (C_0 - C_{00}) e^{-Rt} \quad (8)$$

$$\text{ή } -Rt = \ln [(C_t - C_{00}) / (C_0 - C_{00})]$$

$$\text{ή } R = \ln [(C_0 - C_{00}) / (C_t - C_{00})] / t$$

Για τον υπολογισμό του R και στη συνέχεια του N χρησιμοποιήθηκε η σχέση (8)

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

4. 1. Μετρήσεις

Οι μετρήσεις έγιναν νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα, που η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρή για να μην αυξάνεται αισθητά η διαφορά θερμοκρασίας $\Delta\theta$ όταν τα ανοίγ-

ματα αερισμού έκλειναν, προκειμένου να εμπλουτισθεί ο αέρας του θερμοκηπίου με CO₂. Με τον τρόπο αυτό η επίδραση της θερμοκρασίας στον αερισμό ήταν μικρή. Η μέση ΔΘ ήταν 4 οC.

Έγιναν μετρήσεις για δύο διευθύνσεις ανέμου. Μία παράλληλη προς την υδρορροή του θερμοκηπίου και μία κάθετη προς αυτή.

Λαμβάνονταν μετρήσεις για διευθύνσεις ανέμου οι οποίες είχαν απόκλιση από τις πιο πάνω διευθύνσεις μέχρι *15ο.

Ο βορράς αντιστοιχούσε στις 0ο και στις 360ο. Επειδή η υδρορροή σχημάτιζε γωνία 25ο με το βορρά (σχ. 1), η διεύθυνση του ανέμου παράλληλα προς την υδρορροή αντιστοιχούσε στις 335ο και η διεύθυνση κάθετα σε αυτή στις 245ο.

Για δεδομένη διεύθυνση ανέμου οι μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO₂ στο θερμοκήπιο γίνονταν όταν η ταχύτητα του ανέμου δεν είχε αυξομειώσεις. Αρχικά γινόταν μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ στον περιβάλλοντα το θερμοκήπιο αέρα (C₀₀). Στο τέλος κάθε δοκιμής για λόγους ελέγχου γινόταν πάλι μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂, (C₀).

Στη συνέχεια έκλειναν τα ανοίγματα αερισμού και εμπλουτιζονταν ο αέρας του θερμοκηπίου με CO₂. Μετά τον εμπλουτισμό του θερμοκηπίου με CO₂, άνοιγαν τα ανοίγματα αερισμού και αρχίζαν οι καταγραφές των πιο κάτω μεγεθών με συχνότητα 5 δευτερολέπτων:

- α. Διεύθυνση ανέμου
 - β. Ταχύτητα ανέμου
 - γ. Θερμοκρασία αέρα θερμοκηπίου
 - δ. Θερμοκρασία αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος
 - ε. Συγκέντρωση CO₂ μέσα στο θερμοκήπιο
- Συνολικά έγιναν 20 δοκιμές.

4. 2. Υπολογισμοί - Αποτελέσματα

Για τον υπολογισμό των ανανεώσεων του αέρα χρησιμοποιήθηκε η σχέση (8)

$$C_t - C_{00} = (C_0 - C_{00})e^{-Rt}$$

Από το διάγραμμα διασποράς βρίσκεται η καμπύλη παλινδρόμησης της συγκέντρωσης του CO₂ ως προς τον χρόνο t. Η καμπύλη αυτή είναι εκθετικής μορφής όπως φαίνεται και από την σχέση (8) και βρίσκεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Από αυτή βρίσκεται το R και στη συνέχεια το N. Οι εκθετικές εξισώσεις που αντιστοιχούσαν στις καμπύλες άριστης προσαρμογής (Best fit line) για κάθε δοκιμή δίνονται στον πίνακα 3.

Στον πίνακα 4 δίνεται το N και η μέση ταχύτητα του ανέμου που αντιστοιχούν στις δοκιμές με διεύθυνση αέρα κάθετα προς την υδρορροή και στο πίνακα 5 το N και η μέση ταχύτητα του ανέμου που αντιστοιχούν στις δοκιμές με διεύθυνση αέρα παράλληλα προς την υδρορροή.

Για τον υπολογισμό των καμπύλων αερισμού για διευθύνσεις παράλληλα και κάθετα προς την υδρορροή γίνεται ανάλυση παλινδρόμησης (Regression Analysis) μεταξύ της ανεξάρτητης μεταβλητής που είναι ταχύτητα του ανέμου και της εξαρτημένης μεταβλητής που είναι το N των δοκιμών.

Οι δύο μεταβλητές συνδέονται γραμμικά μεταξύ τους. Η ευθεία της θεωρητικής παλινδρόμησης είναι της μορφής:

$$N = a V_{10} + b \quad (9)$$

Ο υπολογισμός των συντελεστών a και b της εξίσωσης (9) έγινε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Εμπειρικές εξισώσεις καμπυλών αψίστου προσαρμογής.

ΔΟΚΙΜΗ	ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ
D1	$C=2224 e^{-0.003895 t}$
D2	$C=2155 e^{-0.003600 t}$
D3	$C=2101 e^{-0.005697 t}$
D4	$C=1583 e^{-0.011355 t}$
D5	$C=1674 e^{-0.009592 t}$
D6	$C=1453 e^{-0.008023 t}$
D7	$C=2255 e^{-0.009803 t}$
D8	$C=2929 e^{-0.004606 t}$
D9	$C=1449 e^{-0.008583 t}$
D10	$C=1670 e^{-0.006179 t}$
D11	$C=1196 e^{-0.004786 t}$
D12	$C=1886 e^{-0.004518 t}$
D13	$C=2081 e^{-0.008259 t}$
D14	$C=1394 e^{-0.006357 t}$
D15	$C=323 e^{-0.002428 t}$
D16	$C=369 e^{-0.001888 t}$
D17	$C=2097 e^{-0.003712 t}$
D18	$C=1890 e^{-0.005023 t}$
D19	$C=2840 e^{-0.008612 t}$
D20	$C=2307 e^{-0.004725 t}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Ανανεώσεις αέρα N συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου V , για διεύθυνση κάθετη στην υδρορροή.

ΔΟΚΙΜΗ	V (m s ⁻¹)	N
D1	0, 62	14, 0
D2	0, 68	12, 9
D3	1, 19	20, 5
D4	2, 28	40, 9
D5	1, 42	34, 5
D6	1, 12	28, 9
D7	1, 80	35, 3

Η ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης για διεύθυνση ανέμου παράλληλη στην υδρορροή φαίνεται στο σχήμα 3 και δίνεται από τη σχέση:

$$v = 8,48V_{10} + 3,43 \quad (10)$$

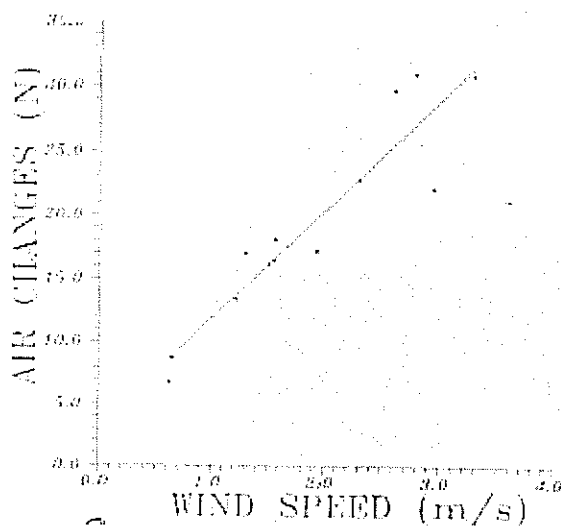
όπου: V_{10} είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m ($m s^{-1}$).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Ανανεώσεις αέρα N συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου V , για διεύθυνση παράλληλη στην υδρορροή.

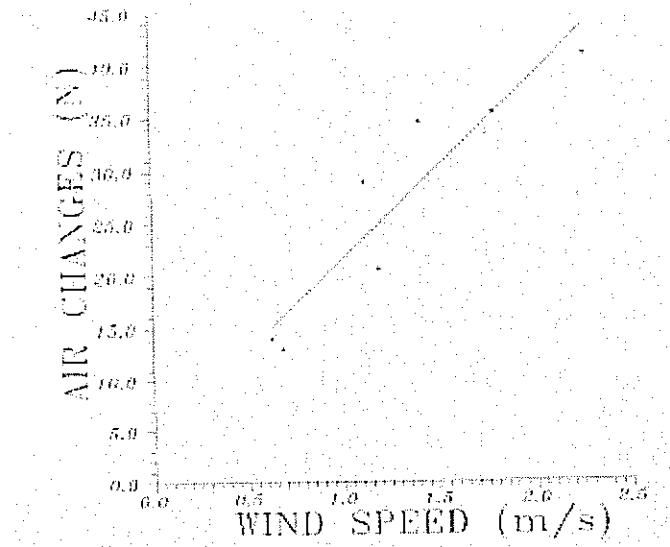
ΔΟΚΙΜΗ	$V (m s^{-1})$	N
D8	1,55	16,5
D9	3,30	30,9
D10	2,95	22,2
D11	1,93	17,2
D12	1,51	16,2
D13	2,62	29,7
D14	2,30	22,9
D15	0,65	8,7
D16	0,62	6,8
D17	1,22	13,4
D18	1,56	18,1
D19	2,80	31,0
D20	1,30	17,0

Η ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης για διεύθυνση ανέμου κάθετη στην υδρορροή φαίνεται στο σχήμα (4) και δίνεται από τη σχέση:

$$N = 17,31 V_{10} + 4,20 \quad (11)$$



Σχήμα 3. Ανανεώσεις αέρα για διεύθυνση ανέμου παράλληλη στην υδρορροή.



Σχήμα 4. Ανανεώσεις αέρα για διεύθυνση ανέμου κάθετη στην υδρορορή.

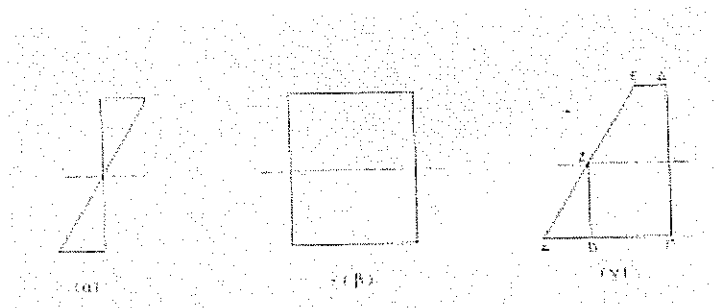
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1. Αερισμός δημιουργούμενος από τη διαφορά θερμοκρασίας

Οι ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου που δίνονται στα σχήματα 3 και 4 προκύπτουν από την ταυτόχρονη δράση θερμοκρασιακής διαφοράς $\Delta\Theta$ και την πνοή του ανέμου. Για τον υπολογισμό των ανανεώσεων του αέρα που οφείλονται μόνο στην πνοή του ανέμου πρέπει να αφαιρεθούν οι ανανεώσεις του αέρα που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας $\Delta\Theta$.

Η μέση διαφορά θερμοκρασίας ήταν 4°C .

Η διαφορά πίεσης ΔP που προέρχεται από τη $\Delta\Theta$ δίνεται στο σχήμα 5α. Η διαφορά πίεσης ΔP που προέρχεται από την πνοή του ανέμου δίνεται στο σχήμα 5β. Η άθροιση των διαφορών πιέσεων που προέρχεται από τα δύο πιο πάνω αίτια δίνεται στο σχήμα 5γ. Οι ανανεώσεις του αέρα που προκαλεί η διαφορά θερμοκρασίας, οφείλονται στη διαφορά των πιέσεων ABZ (σχ. 5γ).



Σχήμα 5. Διαφορές πιέσεων στο άνοιγμα αερισμού.

Οι ανανεώσεις του αέρα που προκαλεί η πνοή του ανέμου οφείλονται στις διαφορές των πιέσεων ΒΓΔΕΖ.

Η ροή εισόδου (εξόδου) του αέρα που οφείλεται στη διαφορά πίεσης ABZ δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{\Phi} = \frac{Z^{1/2}}{\delta} L V dz$$

από την επίλυση της οποίας προκύπτει ότι:

$$\Phi = (L/3) (g \beta \Delta\theta/F_0)^{1/2} H^{3/2} \quad (12)$$

όπου: $L = 20$ m (μήκος ανοίγματος)

$H = 0,70$ m (ύψος ανοίγματος)

$g = 10$ m s⁻¹ (επιτάχυνση βαρύτητας)

$\beta = 3,6 \cdot 10^{-3}$ K⁻¹ (συντελεστής θερμοκλής διαστολής)

$F_0 = 2,04$ (συντελεστής αντίστασης στη ροή) (Boi, 1988)

Συνεπώς:

$$\ddot{\Theta} = (20/3) \sqrt{10 \times 3,6 \times 10^{-3} \times 4 / 2,4 \times 0,7^{3/2}} = 1,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Η ροή αυτή του αέρα αντιστοιχεί σε:

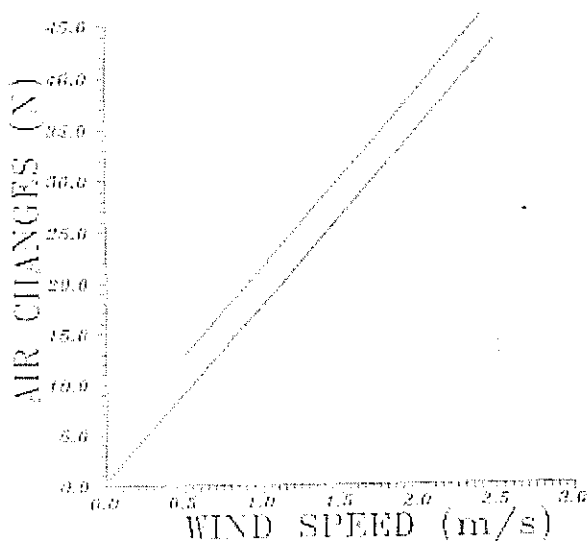
$$N = 1,04 \times 3.600 / 1.054 = 3,55 \text{ h}^{-1} \quad (13)$$

5. 2. Αερισμός που προκαλείται από άνεμο με διεύθυνση κάθετη στην υδρορροή

Το N που δίνει η σχέση (13) πρέπει να αφαιρεθεί από τις τιμές που λαμβάνονται από τη σχέση (11) και που οφείλονται σε συνδιασμό $\Delta\theta$ και ανέμου, προκειμένου να βρεθεί το N που οφείλεται στην πνοή του ανέμου.

Η ευθεία του σχήματος 4 υφίσταται μία παράλληλη μετατόπιση και η νέα ευθεία που δίνει το N που οφείλεται μόνο στην πνοή του ανέμου δίνεται στο σχήμα 6. Η ευθεία αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$N = 17,31 \sqrt{10} + 0,65 (h-1)$$



Σχήμα 6. Ανανεώσεις αέρα από άνεμο με διεύθυνση κάθετη στην υδρορροή.

Στην πραγματικότητα η ευθεία πρέπει να διέρχεται από την αρχή των αξόνων (0, 0). Δηλαδή για ταχύτητα ανέμου $V_{10}=0$, $N=0$.

Επομένως, το 0, 65 της σχέσης (13) προφανώς οφείλεται σε στατιστικό σφάλμα και ως εκ τούτου μπορεί να απαληφθεί, καθόσον η τιμή του είναι μικρή. Συνεπώς:

$$N = 17,31 V_{10} \quad (14)$$

Η ροή του αέρα, όταν πνέει άνεμος, δίνεται από τη σχέση (Βοι, 1988):

$$\Phi = \sqrt{K_c / F_o} A V_{10}$$

$$\text{αν } K = \sqrt{K_c / F_{10}} \quad (15)$$

$$\text{τότε } \Phi = K A V_{10} \quad (16)$$

όπου: K: Συντελεστής ανοίγματος

K_c : Συντελεστής σύνδεσης δυναμικής πίεσης και δραστηκίης διαφοράς πίεσης

Από τις σχέσεις (5), (14), (16) προκύπτει:

$$K A V_{10} = N \text{Vol} / 3.600 = 17,31 V_{10} \text{Vol} / 3.600$$

$$K = 17,31 \text{Vol} / 3.600 A = 17,31 \times 1.054 / 3.600 \times 0,7 \times 20 = 0,362$$

Επομένως η σχέση 15 γίνεται:

$$\Phi = 0,362 A V_{10} (\text{m}^3 \text{s}^{-1}) \quad (17)$$

Από τις σχέσεις (15) και (17) προκύπτει ότι:

$$K_c = K^2 F_o = 0,3622 \times 2,04 = 0,267 \quad (18)$$

Από τις σχέσεις (12), (16) και (18) προκύπτει ότι η ροή του αέρα που οφείλεται στην πνοή του ανέμου είναι μεγαλύτερη αυτής που προκαλεί η διαφορά θερμοκρασίας όταν:

$$V_{10} > 0,205 \Delta\Theta^{1/2} \quad (19)$$

Από τη σχέση (19) προκύπτει:

$$\text{Για } \Delta\Theta = 4 \text{ } ^\circ\text{K} \quad V_{10} = 0,41 \text{ m s}^{-1}$$

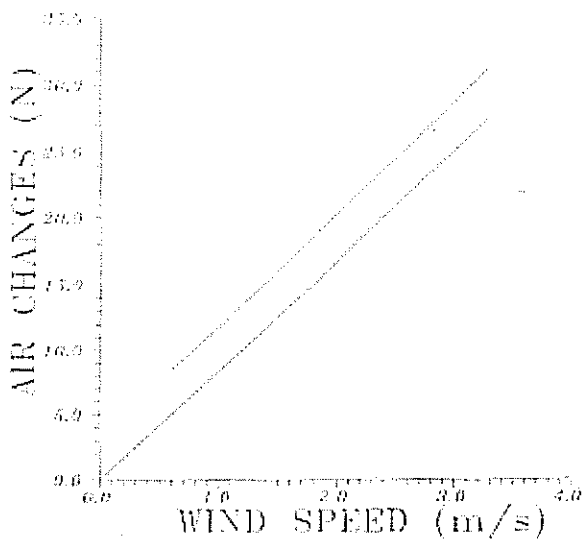
$$\text{Για } \Delta\Theta = 10 \text{ } ^\circ\text{K} \quad V_{10} = 0,65 \text{ m s}^{-1}$$

5.3. Αερισμός που προκαλεί ο άνεμος με διεύθυνση παράλληλη στην υδρορροή

Ομοίως ο αερισμός $N=3,55 \text{ h}^{-1}$ πρέπει να αφαιρεθεί από τη σχέση 10 για να βρεθεί ο αερισμός του θερμοκηπίου που οφείλεται στην πνοή του ανέμου με διεύθυνση παράλληλη στην υδρορροή.

Η ευθεία του σχήματος 3 υφίσταται μια παράλληλη μετατόπιση (σχ. 7) και η νέα αυτή ευθεία δίνει τις ανανεώσεις του αέρα που οφείλονται μόνο στον άνεμο. Η νέα αυτή ευθεία δίνεται από τη σχέση:

$$N = 8,48 V10 \text{ (h}^{-1}\text{)} \quad (20)$$



Σχήμα 7. Ανανεώσεις αέρα από άνεμο με διεύθυνση παράλληλη στην υδρορροή.

Η ροή του αέρα όταν πνέει άνεμος δίνεται από τη σχέση:

$$\Phi = K A V10 = N \text{ Vol} / 3.600 = 8,48 V10 \text{ Vol} / 3.600$$

$$K = 8,48 \text{ Vol} / 3.600 A = 8,48 \times 1.054 / 3.600 \times 0,7 \times 20 = 0,177$$

και η σχέση λαμβάνει τη μορφή

$$\Phi = 0,177 A V10 \text{ (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)} \quad (21)$$

και σύμφωνα με τη σχέση (15):

$$Kc = K2 Fo = 0,1772 \times 2,05 = 0,064$$

Η ροή του αέρα οφειλόμενη σε πνοή ανέμου υπερτερεί της ροής που προκαλεί η διαφορά θερμοκρασίας όταν:

$$V_{10} > (2/3) \sqrt{Hg\beta / K_c \Delta\Theta^{1/2}}$$

$$\text{Συνεπώς: } V_{10} > 0,42 \Delta\Theta^{1/2} \quad (22)$$

Από τη σχέση 22 προκύπτει:

$$\begin{aligned} \text{Για } \Delta\Theta = 4 \text{ } ^\circ\text{K} \quad V_{10} &= 0,84 \text{ m s}^{-1} \\ \text{Για } \Delta\Theta = 10 \text{ } ^\circ\text{K} \quad V_{10} &= 1,33 \text{ m s}^{-1} \end{aligned}$$

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας τις ανανεώσεις του αέρα από την πνοή του ανέμου, που δίνονται από τη σχέση (14) όταν αυτός έχει διεύθυνση κάθετη στην υδρορροή και από τη σχέση (20) όταν έχει διεύθυνση παράλληλη προς την υδρορροή παρατηρούμε τα εξής:

- α. Οι ανανεώσεις του αέρα για διεύθυνση ανέμου κάθετη στην υδρορροή, είναι σχεδόν διπλάσιες αυτών για διεύθυνση ανέμου παράλληλη στην υδρορροή.
- β. Η ελάχιστη τιμή της ταχύτητας του ανέμου με διεύθυνση παράλληλη στην υδρορροή πέρα της οποίας η ροή του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο που οφείλεται στην πνοή του ανέμου, υπερτερεί αυτής που οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας υπολογίστηκε σε:

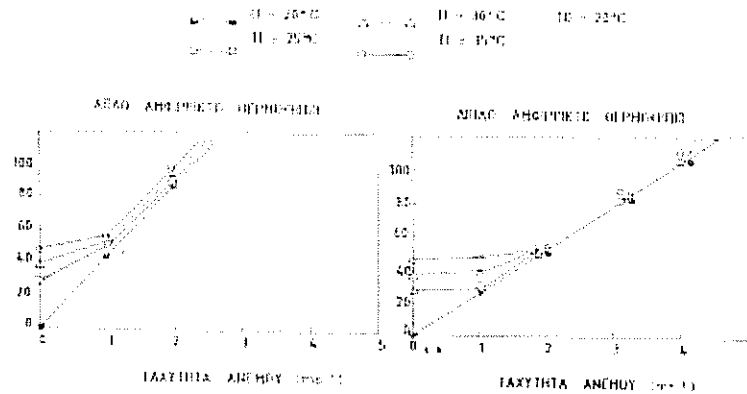
$$\begin{aligned} V_{10} &= 0,84 \text{ m s}^{-1} && \text{για } \Delta\Theta = 4 \text{ } ^\circ\text{K} \\ \text{και } V_{10} &= 1,33 \text{ m s}^{-1} && \text{για } \Delta\Theta = 10 \text{ } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Και στις δύο περιπτώσεις η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρή. Η ροή συνεπώς του αέρα στον τύπο αυτόν του θερμοκηπίου, οφείλεται κυρίως στην πνοή του ανέμου.

Το συμπέρασμα αυτό είναι λογικό, μια και η κίνηση του αέρα λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, γίνεται μόνο μέσω των πλευρικών ανοιγμάτων, λόγω ανυπαρξίας ανοιγμάτων οροφής και ως εκ τούτου είναι μικρή.

- γ. Ο συντελεστής ανοίγματος K είναι ο διπλάσιος για διεύθυνση ανέμου κάθετη προς την υδρορροή σε σχέση με αυτόν για διεύθυνση παράλληλη με την υδρορροή.

Συγκρίνοντας τα πειραματικά αποτελέσματα με αυτά της εργασίας των Kozai και Sase (1978) παρατηρούμε ότι οι καμπύλες που δίνουν τις ανανεώσεις του αέρα (σχ. 8) έχουν την ίδια μορφή, ενώ το N είναι διαφορετικό. Η ταχύτητα του ανέμου πέρα της οποίας η ροή οφειλόμενη σε αυτόν υπερτερεί της ροής που οφείλεται στη θερμοκρασιακή διαφορά είναι $V = 1 \text{ m s}^{-1}$.



Σχήμα 8. Ανανεώσεις αέρα N κατά Kozai, Sase (1978).

Το θερμοκήπιο που μελετήθηκε από τους Kozai και Sase είναι ένα απλό αμφίροικο θερμοκήπιο με πλάτος 9,00 m και με ανοίγματα αερισμού στην οροφή και στις πλευρές. Για το λόγο αυτό:

α. Οι ανανεώσεις του αέρα είναι περισσότερες

β. Η επίδραση της θερμοκρασιακής διαφοράς είναι ισχυρότερη σε σχέση με το θερμοκήπιο της εργασίας αυτής που έχει πλάτος 14,10 m.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της εργασίας των Kozai, Sase, Nara (1980) και ειδικότερα αυτά του αμφίροικου απλού θερμοκηπίου με ανοίγματα αερισμού μόνο στις πλευρές με τα πειραματικά αποτελέσματα του τοξωτού θερμοκηπίου παρατηρούμε ότι αυτά ποιοτικά συμπίπτουν. Οι ανανεώσεις του αέρα στο απλό αμφίροικο θερμοκήπιο είναι περισσότερες λόγω του μικρότερου πλάτους του που είναι 7,20 m.

Τα συμπεράσματα των Sase, Takakura και Nara (1984) βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά που βρέθηκαν στο πείραμα. Σύμφωνα με τους συγγραφείς ο αερισμός λόγω ανέμου εξαρτάται από τη διεύθυνση του ανέμου και από το αν η ροή του αέρα μεταξύ των ανοιγμάτων αερισμού μέσα στο θερμοκήπιο είναι ευθεία. Επίσης σ' ένα απλό αμφίροικο θερμοκήπιο με πλευρικά ανοίγματα αερισμού μόνο, ο άνεμος υπερτερεί της θερμοκρασιακής διαφοράς όταν έχει ταχύτητα κάτω των 2 m s⁻¹ και οφείλεται κυρίως στην ευθεία μορφή της ροής του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο.

Αν ληφθεί υπόψη ότι το θερμοκήπιο που μελέτησαν οι ερευνητές αυτοί είχε το μισό πλάτος του διπλού τοξωτού θερμοκηπίου στο οποίο έγιναν τα πειράματα, με άμεση συνέπεια η σημασία της θερμοκρασιακής διαφοράς στον αερισμό να είναι μεγαλύτερη, τα πειραματικά συμπεράσματα από την έρευνα αυτή βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά των Sase, Takakura και Nara.

Οι ανανεώσεις του αέρα στο θερμοκήπιο που μελετήθηκε οφείλονται κυρίως στην πνοή του ανέμου. Σε μέρη όπου υπάρχει συχνά νηνεμία πρέπει να τοποθετούνται ανοίγματα αερισμού και στις όψεις ή στην οροφή, ώστε να αυξάνεται ο αερισμός λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς.

Επειδή η ανανέωση του αέρα που οφείλεται στον άνεμο είναι διπλάσια για διεύθυνση ανέμου κάθετη στην υδρορροή σε σχέση με διεύθυνση ανέμου παράλληλη στην υδρορροή, είναι προτιμότερο η διεύθυνση της υδρορροής να είναι κάθετη στον επικρατούμενο άνεμο στην περιοχή εγκατάστασης ενός θερμοκηπίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Baille, A. 1975. Etude de l'influence du positionnement des aerations sur les champs de temperature et de vitesse a l'interieur de semi-forçage. Annales Agronomiques, 26, p. 265-275.
2. Baytorun, A. N. 1986. Bestimmung des Luftwechsels bei gelufteten Gewächshäusern. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover.
3. Bot, G. P. A. 1980. Validation of a dynamical model of greenhouse climate. Acta Horticulturae 106, p. 149-158.
4. Bot, G. P. A. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Thesis Agricultural University Wageningen. The Netherlands.
5. Bottecher, R. W. , Willits, D. H. 1987. Numerical computation of two dimensional flow around and through a peaked-roof building. Transactions of the ASAE 30, p. 469-475.
6. Hanson, T. B. , Smith, F. , Summers, D. , Wilson, C. B. 1982. Computer simulation of wind flow around buildings. Computer Aided Design, 14 (1) p. 27-31.
7. Kabbaj, R. 1988. Modilisation de la ventilation statique d'une serre. Mémorie DEA. Option Energetique, Université de Perpignan, Juin.
8. Κίττας, Κ. 1985. Προσδιοριστικοί παράγοντες των θερμοκρασιακών ανυψώσεων "υπό κάλυψη". Εφαρμογή στον κλιματισμό των ελληνικών θερμοκηπίων. Τεχνικά Χρονικά Β', Τόμος 5, Τεύχος 4.
9. Kittas, C. , Chiapale, J. P. , Villele, O. De, Aries, F. 1987. Parametres significatifs du dterminisme de la temprature de l'air de la serre. Agricultural and Forest Meteorology, 40, p. 265-277.
10. Kozai, T. , Sase, S. 1978. A simulation of natural ventilation for a multispans greenhouse. Acta Horticulturae 87, p. 39-49.
11. Kozai, T. , Sase, S. , Nara, M. 1980. A Modelling approach to greenhouse ventilation control. Acta Horticulturae 106, p. 125-136.
12. Mekikdjan, C. , Sevilla, F. 1988. Optimal static ventilation in greenhouses. Acta Horticulturae 263, p. 335-341.
13. Morris, L. G. , Neale, F. E. 1954. The infra-red carvondioxide gasanalyzuer and its use in glasshouse research. NIAE (AFRC) rep. Wrestpark, Silsoe, England.
14. Morris, L. G. , Neale, F. E. , Postlethwaite, J. D. 1954. The transpiration of glasshouse crop and its relationship to the incoming solar radiation. J. of Agr. Engn. Research 2(2) p. 11-112.
15. Okushima, S. , Sase, S. , Nara, M. 1988. A support system for natural ventilation design of greenhouses based on computational aerodynamics. Acta Horticulturae 248.
16. Παππά, Α. , Μουζάκης, Φ. , Μπεργιλέζ, Γ. 1990. Αριθμητική προσομοίωση εξαερισμού θερμοκηπίων. Σεμινάριο Α. Τ. Ε. , Θερμοκηπιακές κατασκευές, Θεσσαλονίκη, Ιούλιος.
17. Sase, S. , Nara, M. 1985. A control algorithm for natural ventilation based on wind tunnel testing. Acta Horticulturae 174. Greenhouse climate and its control.
18. Sase, S. , Takakura, T. , Nara, M. 1984. Wind tunnel testing on airflow and temperature distribution of naturally ventilated greenhouses. Acta Horticultrae 148, p. 329-336.
19. Whittle, R. M. , Lawrence, W. J. C. 1960. The Climatology of Glashouses II, Ventilation. J. Agricultural Engineering Research 5(1): p. 36-41.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΛΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΝΑ ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας, Κ. Κίττας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται πειραματικός προσδιορισμός του ολικού συντελεστή απωλειών θερμότητας (U) ενός θερμοκηπίου. Οι πειραματικές μετρήσεις έγιναν σε πραγματικό θερμοκήπιο τύπου πολλαπλού τροποποιημένου τοξωτού με καλλιέργεια τριανταφυλλιάς στην περιοχή Καρδίτσας. Για τον υπολογισμό του παραπάνω συντελεστή πραγματοποιήθηκαν: (α) κλιματικές μετρήσεις που αφορούσαν το περιβάλλον του θερμοκηπίου, δηλαδή μέτρηση της θερμοκρασίας, της καθαρής ακτινοβολίας μέσα και έξω από το θερμοκήπιο, της θερμοκρασίας καλύμματος καθώς και της ταχύτητας του ανέμου έξω από το θερμοκήπιο και (β) μετρήσεις της ροής θερμότητας από τα συστήματα θέρμανσης (επιδάφια θέρμανση και θέρμανση με αερόθερμα), προς το περιβάλλον του θερμοκηπίου. Ο συντελεστής U εκφράστηκε αρχικά ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου (u), με τη σχέση: $U = a + bu$. Η σχέση αυτή τροποποιήθηκε προσθέτοντας ένα όρο σχετικό με την καθαρή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο (Rn): $U = a + bu + cRn/DT$, όπου DT η διαφορά θερμοκρασίας του εσωτερικού με τον εξωτερικό αέρα. Η τελευταία αυτή σχέση έδωσε καλύτερα αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά: *Ολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας, ενεργειακό ισοζύγιο, πλαστικό θερμοκήπιο.*

ABSTRACT

The aim of this study is to determine experimentally the overall coefficient of thermal losses (U), of a greenhouse. The experimental measurements were done in a multispan plastic greenhouse cultivated with rose located in the region of Karditsa. For the determination of the above coefficient, there was carried out: (a) climate measurements of greenhouse environment, such as temperature, net radiation inside and outside of the greenhouse, temperature of the cover and wind velocity outside the greenhouse, and (b) measurements of thermal supply by the heating systems (ground's heating with horizontal pipes at the ground and heating with ventilation). At first, the coefficient U was expressed as a function of the wind velocity (u) by the relation: $U = a + bu$. This relation was transformed by adding a factor relative to the net radiation (Rn): $U = a + bu + cRn/DT$, where DT is the difference of temperature between the inside and outside air. This relation gave better results.

Key-words: *Overall coefficient of thermal losses, energy balance, greenhouse with plastic cover.*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραγωγή ανταγωνιστικών θερμοκηπιακών προϊόντων απαιτεί μείωση του κόστους παραγωγής με ταυτόχρονη τήρηση υψηλών προδιαγραφών ποιότητας. Ένα μεγάλο μέρος του κόστους παραγωγής οφείλεται στη θέρμανση του θερμοκηπίου. Για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας

γειας χωρίς την υποβάθμιση της παραγωγής είναι απαραίτητη η διεξοδική μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του θερμοκηπίου, έτσι ώστε να γίνει δυνατός ο ορθολογικός σχεδιασμός του προς την κατεύθυνση αυτή. Η ενεργειακή συμπεριφορά ενός θερμοκηπίου περιγράφεται από τον ολικό συντελεστή ενεργειακών απωλειών. Οι ενεργειακές απώλειες ενός θερμοκηπίου μπορούν να υπολογισθούν, με μεγάλη ακρίβεια από τις ενεργειακές ανταλλαγές στο θερμοκήπιο. Η μέθοδος αυτή όμως είναι δύσκολη διότι απαιτεί προηγουμένως να έχει προσδιοριστεί μεγάλος αριθμός συντελεστών που σχετίζονται με τις θερμοκές ιδιότητες των διαφόρων στοιχείων του θερμοκηπίου [7, 9, 12, 10]. Στις περιπτώσεις που μας ενδιαφέρει ο προσδιορισμός του μεγίστου ποσού θερμικών απωλειών ενός θερμοκηπίου, όπως όταν προόκειται για το σχεδιασμό των συστημάτων θέρμανσης, χρησιμοποιήστε η μέθοδος που απαιτεί τον προσδιορισμό μόνο του μέσου ολικού συντελεστή θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου. Ο υπολογισμός του παραπάνω συντελεστή δίνει τη δυνατότητα αφενός μεν του ορθολογικού υπολογισμού των αναγκών σε κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, αφετέρου δε στη βελτίωση του σχεδιασμού και του εξοπλισμού των θερμοκηπιακών κατασκευών προς την κατεύθυνση της βελτιστοποίησης του ενεργειακού ισοζυγίου. Ο ολικός συντελεστής ενεργειακών απωλειών, σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει σε προηγούμενα έτη [5, 11, 13], επηρεάζεται από το μικροκλίμα της κάθε περιοχής, (θερμοκρασία, ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου) [2, 3, 4], από τον τύπο του θερμοκηπίου και από το είδος του συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου. Προκειμένου λοιπόν να γίνει σωστός σχεδιασμός του απαιτούμενου συστήματος θέρμανσης για κάθε περιοχή και θερμοκήπιο είναι ανάγκη να υπολογισθεί αρχικά ο ολικός συντελεστής ενεργειακών απωλειών. Το αντικείμενο της παρούσης εργασίας είναι ο υπολογισμός, σε πραγματικές πειραματικές συνθήκες, του ολικού συντελεστή ενεργειακών απωλειών U , ενός πλιστιζού θερμοκηπίου, εξοπλισμένου με σύστημα επιδάφιας θέρμανσης και θέρμανσης με αερόθερμα.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας Q_{tot} ($W m^{-2}$) ενός θερμοκηπίου οφείλονται στις απώλειες από το κάλυμμα Q_{cov} (ακτινοβολία και συναγωγή) ($W m^{-2}$), στις απώλειες λόγω διαφυγών αέρα Q_f ($W m^{-2}$) και στις απώλειες που οφείλονται στις ανταλλαγές θερμότητας με το έδαφος Q_{gr} ($W m^{-2}$) και μπορούν να αποδοθούν από την ακόλουθη σχέση [8, 10]:

$$Q_{tot} = Q_{cov} + Q_f + Q_{gr} \quad (1)$$

Οι παράγοντες που αναφέρονται στη σχέση (1) μπορούν να υπολογιστούν από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$Q_{cov} = U_{cov} A_{cov} (T_{in} - T_{out}) \quad (2)$$

$$Q_f = U_f A_{cov} (T_{in} - T_{out}) \quad (3)$$

$$Q_{gr} = U_{gr} A_{gr} (T_{in} - T_{out}) \quad (4)$$

όπου:

U_{cov} = ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών μέσω του καλύμματος, $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$,

U_f = ο συντελεστής θερμικών απωλειών λόγω διαφυγών αέρα, $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$,

U_{gr} = ο συντελεστής που αναφέρεται στις ανταλλαγές θερμότητας με το έδαφος, $W m^{-2} ^\circ C^{-1}$,

A_{cov} , A_{gr} = η επιφάνεια του καλύμματος και του εδάφους αντίστοιχα σε m^2 ,

T_{in} , T_{out} = εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία του αέρα, αντίστοιχα σε οC.

Οι απώλειες θερμότητας προς το έδαφος μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες, διότι η τιμή τους είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με τις άλλες [11]. Επομένως οι συνολικές απώλειες θερμότητας, χωρίς σημαντικό λάθος, μπορούν να δοθούν από την εξίσωση:

$$Q_{tot} = Q_{conv} + Q_f \quad (5)$$

Ο συντελεστής απωλειών U_{conv} , ο οποίος εκφράζει τις απώλειες από το κάλυμμα, μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει των απωλειών με αζινοβολία U_R και των απωλειών με συναγωγή U_{conv} δηλαδή:

$$U_{conv} = U_R + U_{conv} \quad (6)$$

Έτσι οι συνολικές απώλειες θερμότητας Q_{tot} , σύμφωνα με τις σχέσεις (3), (5) και (6), μπορούν να εκφραστούν ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} Q_{tot} &= (U_R + U_{conv}) A_{conv} DT + U_f A_{conv} DT \sigma \\ Q_{tot} &= (U_R + U_{conv} + U_f) A_{conv} DT \sigma \\ Q_{tot} &= U A_{conv} DT \end{aligned} \quad (7)$$

Για την έκφραση του συντελεστή U έχουν προταθεί διάφορες σχέσεις.

Ο συντελεστής U μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση:

$$U = a + b u \quad (8)$$

όπου: a σταθερά που υπολογίζεται στατιστικά, $W s m^{-3} oC^{-1}$ και u η ταχύτητα του ανέμου, $m s^{-1}$. Με τη χρήση της σχέσης (8) για την εκτίμηση του συντελεστή U , υπολογίζεται ένας μέσος ολικός συντελεστής απωλειών.

Μια άλλη έκφραση του συντελεστή είναι και η ακόλουθη:

$$U = a + b u \quad (9)$$

όπου a ($W m^{-2} oC^{-1}$) και b ($W s m^{-3} oC^{-1}$) είναι σταθερές που υπολογίζονται στατιστικά [6, 12]. Στην έκφραση του U με τη σχέση (8) λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες θερμότητας που σχετίζονται άμεσα με την ταχύτητα του ανέμου. Με την εισαγωγή ενός σταθερού όρου προκειμένου η σχέση (9). Ο σταθερός όρος στην σχέση αυτή εκφράζει τις απώλειες θερμότητας που δεν σχετίζονται άμεσα με την ταχύτητα του ανέμου.

Στην προσπάθεια που έγινε να συμπεριληφθούν στην έκφραση του συντελεστή U και οι απώλειες θερμότητας με αζινοβολία, προτείνεται μία νέα σχέση:

$$U = a + b u + c R_n / DT \quad (10)$$

όπου c είναι αδιάστατη σταθερά που υπολογίζεται στατιστικά.

Προκειμένου να γίνει ο πειραματικός προσδιορισμός του U , θεωρούμε ότι η ενέργεια που πα-

ρέχεται από το σύστημα θέρμανσης κατά τη διάρκεια της νύχτας ισοδυναμεί με τις ενεργειακές απώλειες του θερμοκηπίου κατά το ίδιο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου να διατηρείται σταθερή. Από τη σχέση (7) προκύπτει ότι ο συντελεστής U υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση [2, 6, 13]:

$$U = Q_{101} / DT \Delta c_{ov} \quad (11)$$

Έτσι ο συντελεστής U υπολογίζεται πειραματικά από τη σχέση (11) χρησιμοποιώντας μετρήσεις των Q_{101} και DT και στη συνέχεια υπολογίζονται στατιστικά οι σταθερές a , b , και c ανάλογα με την έκφραση ((9), (10), (11)) του συντελεστή που χρησιμοποιούμε.

Η αποδιδόμενη από ένα ρευστό ενέργεια, που στην περίπτωση του συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου μας είναι το νερό, δίνεται γενικά από τη σχέση:

$$Q = \rho C_p f (T_{in} - T_{ex}) \quad (12)$$

όπου: Q η αποδιδόμενη ενέργεια, W .

ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού η οποία στην περίπτωση του νερού είναι 1 για θερμοκρασία κοντά στους 25 οC, $kg\ m^{-3}$,

C_p = η ειδική θερμότητα του νερού η οποία είναι 4180 για θερμοκρασία κοντά στους 25 οC, $J\ Kg^{-1}\ oC^{-1}$,

f = η παροχή σε νερό, $m^3\ sec^{-1}$

T_{in} = η θερμοκρασία του νερού κατά την είσοδο του στο σύστημα θέρμανσης, οC και

T_{ex} = η θερμοκρασία του νερού κατά την έξοδο του από το σύστημα θέρμανσης, οC.

Χρησιμοποιώντας τη σχέση (12) μπορούμε να υπολογίσουμε το κέρδος ενέργειας σε θερμότητα που αποδίδεται από το νερό στο περιβάλλον του θερμοκηπίου μέσω της επιδράσεως θέρμανσης και των αερόθερμων. Χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες παροχές και θερμότητες εισόδου και εξόδου του νερού υπολογίζουμε την θερμότητα που αποδίδεται από την επιδράση θέρμανση $Q_{\text{επιδ}}$ και τη θερμότητα που αποδίδεται από τα αερόθερμα $Q_{\text{αεροθ}}$. Η συνολική ενέργεια Q_{101} (W) που παρέχεται από το σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_{101} = Q_{\text{αεροθ}} + Q_{\text{επιδ}} \quad (13)$$

Επομένως για τον υπολογισμό του συντελεστή απωλειών (U) είναι απαραίτητο να γίνουν οι παρακάτω μετρήσεις:

α) κλιματικές μετρήσεις που αφορούν το περιβάλλον του θερμοκηπίου, δηλαδή μέτρηση της θερμοκρασίας, της καθαρής ακτινοβολίας μέσα και έξω από το θερμοκήπιο, της θερμοκρασίας καλύμματος καθώς και της ταχύτητας του ανέμου έξω από το θερμοκήπιο και β) μετρήσεις της ροής θερμότητας από τα συστήματα θέρμανσης (επιδράση θέρμανση και θέρμανση με αερόθερμα) προς το περιβάλλον του θερμοκηπίου, με τη θερμιδομετρική μέθοδο.

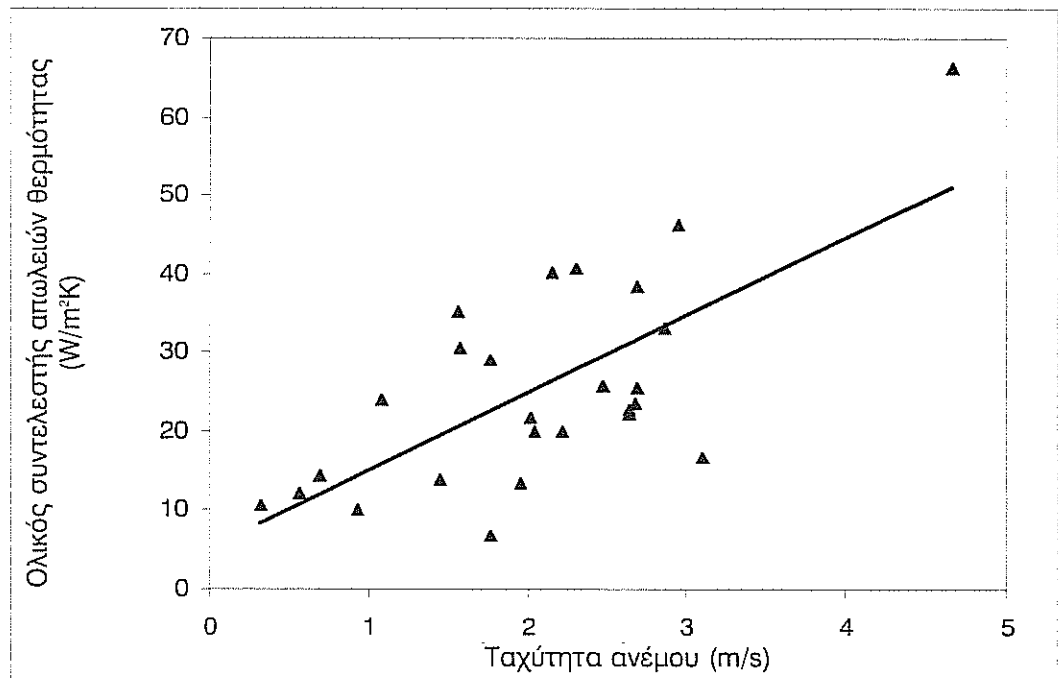
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πολλαπλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο τον χειμώνα του 1997 στην περιοχή της Καρδίτσας. Το θερμοκήπιο κατασκευάστηκε το 1990 και κάλυ-

πε συνολικά 2, 88 στρέμματα. Αποτελείται από 6 βάσεις πλάτους 8 μέτρων η κάθε μία. Το μήκος του θερμοκηπίου είναι 60 μέτρα, το ύψος του ορθοστάτη 2, 5 μέτρα και το ύψος του κορυφιά 4 μέτρα, ο συνολικός του όγκος υπολογίστηκε στα 9. 350 m³, ενώ η συνολική επιφάνεια του καλύμματος υπολογίστηκε στα 3. 750 m². Το θερμοκήπιο είναι καλυμμένο, στην οροφή με διπλό πλαστικό πάχους 180μ, με αέρα από το εσωτερικό του θερμοκηπίου μεταξύ των δυο φύλων και με Polycarbonate στα πλάγια. Το θερμοκήπιο διαθέτει σύστημα κεντρικής θέρμανσης ζεστού νερού το οποίο αποδίδει την θερμότητα ή με τα αερόθερμα ή/και με την επιδαπέδια θέρμανση. Για τη συλλογή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό σύστημα συλλογής δεδομένων τύπου CR10 της Campbell. Οι μετρήσεις έγιναν κατά τη διάρκεια της νύχτας μόνο έτσι ώστε να αποκλεισθεί το κέρδος της ενέργειας από τον ήλιο. Κάθε 10 δευτερόλεπτα γινόταν μία μέτρηση όλων των παραμέτρων και κάθε 30 λεπτά καταγραφόταν ο μέσος όρος. Στην συνέχεια υπολογιζόταν ο μέσος όρος όλων των παραμέτρων για κάθε νύχτα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο διάγραμμα 1 δίνεται η γραφική παράσταση των μετρημένων τιμών του συντελεστή U , όπως υπολογίζεται από τη σχέση (11), συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου.



Διάγραμμα 1. Γραφική παράσταση του ολικού συντελεστή απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου.

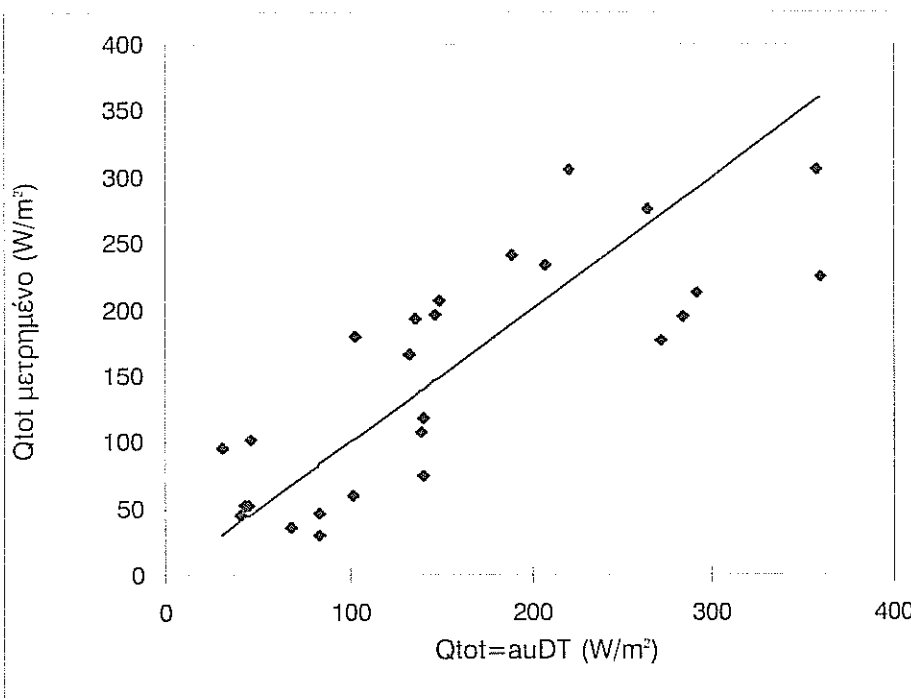
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1 ο ολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Αυτό εξάλλου αναφέρεται και στη διεθνή βιβλιογραφία [2, 3].

Ο συντελεστής U αρχικά εκφράστηκε συναρτήσει μόνο της ταχύτητας του ανέμου:

$$U = au \quad (14)$$

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (10) και (14) και τις μετρήσεις των Q_{tot} , DT και u έγινε επεξεργασία των μετρήσεων με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης. Για σύνολο 28 παρατηρήσεων τα αποτελέσματα έδωσαν $a=12$ ($W s m^{-3} K^{-1}$) με τυπικό σφάλμα 0,8 και $R^2=0,62$.

Στο διάγραμμα 2 δίνεται η γραφική παράσταση των μετρημένων τιμών του Q_{tot} και των υπολογισμένων τιμών από τη σχέση (14) με $a=12$ $W s m^{-3} K^{-1}$.



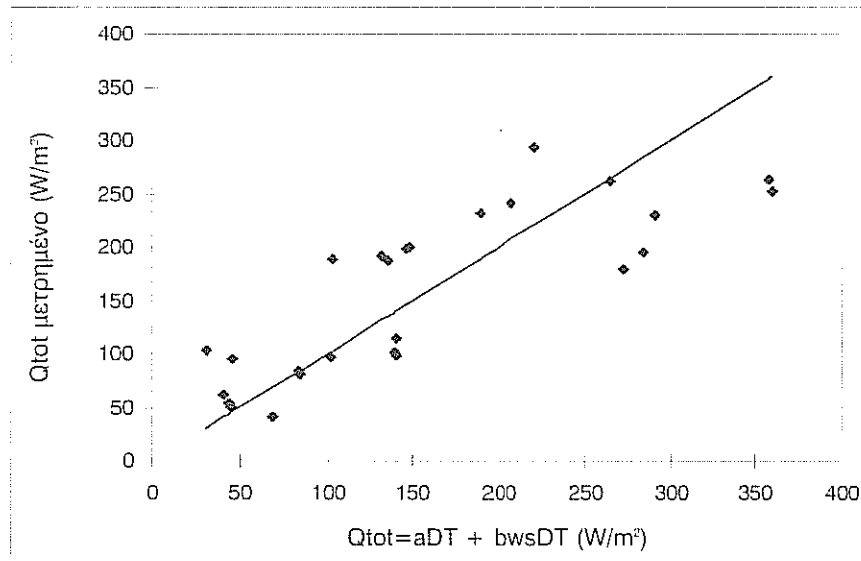
Διάγραμμα 2. Γραφική παράσταση των μετρήσεων των απωλειών του θερμοζηπίου συναρτήσει των εκτιμήσεων από το μοντέλο (14) με $U=12u$.

Όπως αναφέρεται και στην θεωρητική ανάλυση ο συντελεστής απωλειών μπορεί να δοθεί και από την ακόλουθη σχέση:

$$U = a + bu \quad (15)$$

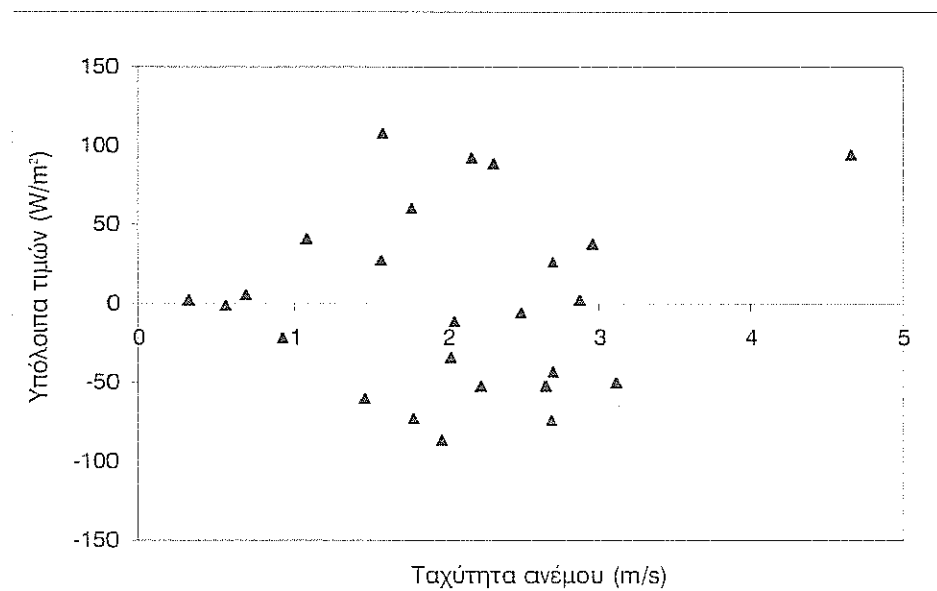
Οι σταθερές a και b υπολογίστηκαν εκ νέου στατιστικά βάσει των πειραματικών μετρήσεων και έδωσαν τιμές $a = 7,56$ ($W m^{-2} K^{-1}$) και $b = 8,8$ ($W s m^{-3} K^{-1}$) με τυπικό σφάλμα 4 και 2 αντίστοιχα και $R^2=0,67$ (για $N=28$).

Στο διάγραμμα 3 δίνεται η γραφική παράσταση των μετρημένων τιμών του Q_{tot} και των εκτιμήσεων από το μοντέλο (15) με $U = 7,56 + 8,8u$.



Διάγραμμα 3. Γραφική παράσταση των μετρήσεων των απολειών θερμοτήτας του θερμοκηπίου συναρτήσει των εκτιμήσεων του Q_{tot} από τη σχέση (15) με $U = 7,56 + 8,8 u$.

Στο διάγραμμα 4 δίνεται η γραφική παράσταση μεταξύ των υπολοίπων των παρατηρημένων τιμών του Q_{tot} συναρτήσει των εκτιμήσεων του από τη σχέση (15) με $U = a + bu$.



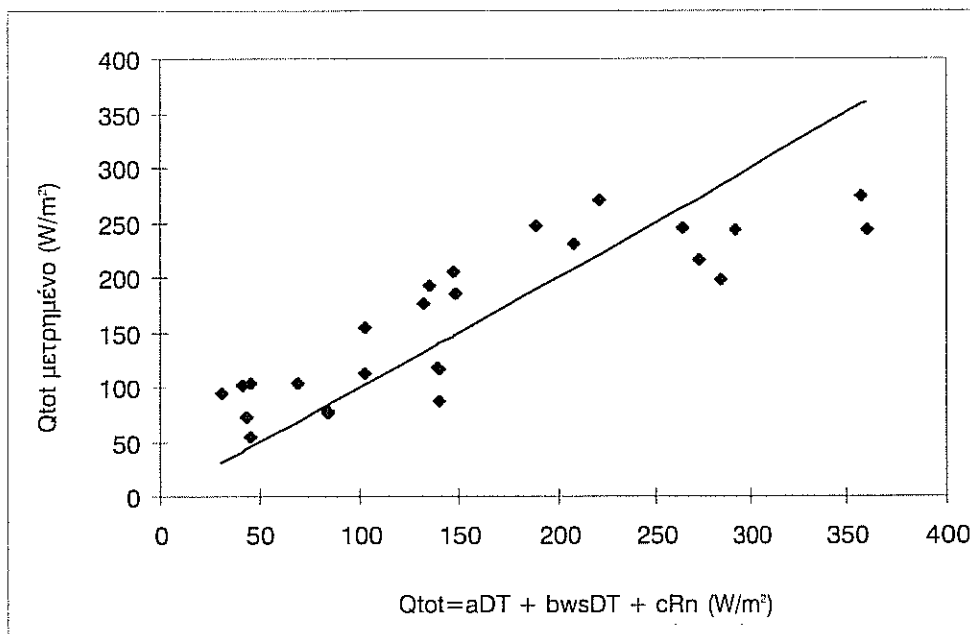
Διάγραμμα 4. Μεταβολή των απολείσεων μετρήσεων του Q_{tot} και εκτιμήσεών του σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου.

Από το διάγραμμα 4 βλέπουμε ότι οι τιμές των υπολοίπων είναι τυχαία κατανομημένες. Αυτό είναι ένας ακόμη λόγος που καθιστά το παραπάνω μοντέλο του Q_{tot} στατιστικά ικανοποιητικό.

Τέλος στην έκφραση του συντελεστή U επιχειρήθηκε να ληφθούν υπόψη και οι απώλειες με ακτινοβολία. Γι' αυτό επιλέχθηκε ένα μοντέλο που παρουσιάζει τις ολικές θερμικές απώλειες του θερμοκηπίου με τη σχέση:

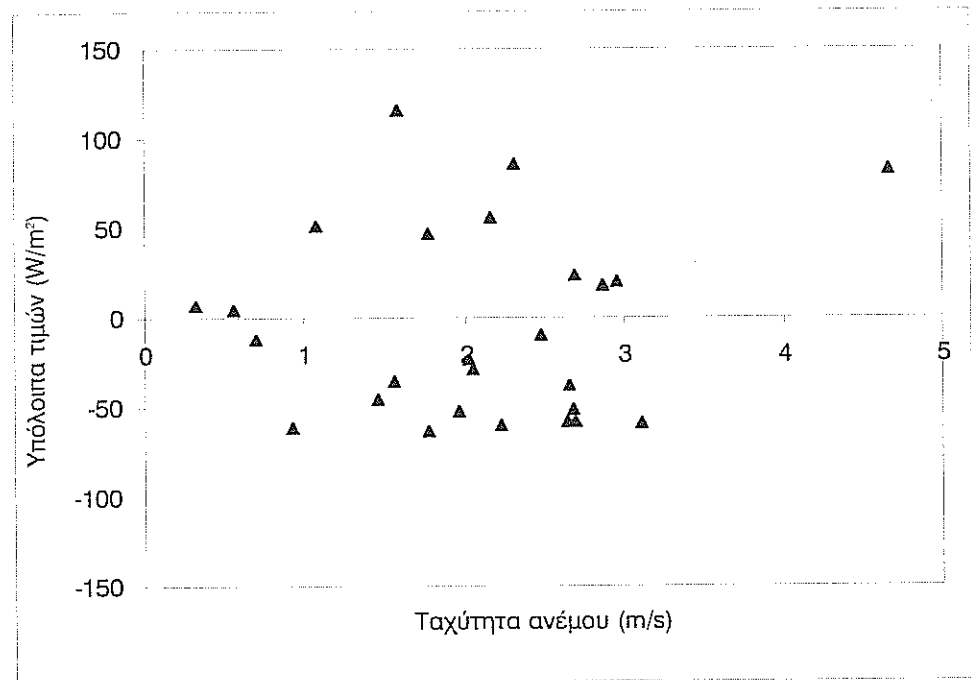
$$U = a + bu + cRn/DT \quad (16)$$

Οι νέες τιμές για τις σταθερές a , b και c υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης εκ νέου και έδωσαν $a=6,2$, $b=5,8$ και $c=-1$ με τυπικό σφάλμα 4,2, 5 και 0,5 αντίστοιχα και $R^2=0,72$. Φαίνεται έτσι ότι η προσθήκη του Rn στην έκφραση του U βελτίωσε κατά 5% την επεξηγηματικότητα του μοντέλου. Στο διάγραμμα 5 δίνεται η γραφική παράσταση των μετρήσεων του Q_{tot} συναρτήσει των εκτιμήσεων από το μοντέλο (16).



Διάγραμμα 5. Γραφική παράσταση των μετρήσεων των απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου συναρτήσει των εκτιμήσεων του Q_{tot} από το μοντέλο (16).

Στο διάγραμμα 6 δίνεται η γραφική παράσταση μεταξύ των υπολοίπων των παρατηρημένων τιμών του Q_{tot} συναρτήσει των εκτιμήσεων του από τη σχέση (16) με $U = 6,2 + 5,8 u - Rn$.



Διάγραμμα 6. Μεταβολή των αποκλίσεων μετρήσεων του Q_{101} και εκτιμήσεών του σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου.

Από το διάγραμμα 6 φαίνεται ότι οι τιμές των υπολοίπων είναι τυχαία κατανεμιμένες, κάτι που δείχνει ότι το μοντέλο εκτίμησης του συντελεστή U παραμένει ικανοποιητικό.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αρχικά επιχειρήθηκε η έκφραση του συντελεστή U συναρτήσει μόνο της ταχύτητας του ανέμου με $U=au$ και η τιμή του a υπολογίστηκε στατιστικά και βρέθηκε $a=12$ ($Wm^{-2} K^{-1}$). Η τιμή του a που υπολογίστηκε βρίσκεται κοντά στα δεδομένα της βιβλιογραφίας. Η τιμή του $R^2=0,62$ δείχνει ότι ο συντελεστής είναι ικανοποιητικός.

Κατόπιν ο συντελεστής U εκφράστηκε με τη σχέση $U=a+bu$, και τα a και b υπολογίστηκαν στατιστικά και βρέθηκαν $a=7,56$ ($W m^{-2} K^{-1}$) και $b=8,8$ ($W s m^{-3} K^{-1}$), ενώ η εξίσωση έδωσε $R^2=0,67$.

Τέλος στην έκφραση του συντελεστή U συμπεριλήφθησαν και οι απώλειες με ακτινοβολία. Έτσι ο συντελεστής υπολογίστηκε από τη σχέση $U = a + bu + cRn/DT$ και οι σταθερές a , b , c βρέθηκαν $a=6,2$, $b=5,8$ και $c=-1$. Η έκφραση αυτή του συντελεστή U είναι καλύτερη από τις προηγούμενες κάτι το οποίο φαίνεται και από την βελτιωμένη τιμή του R^2 της εξίσωσης με $R^2=0,72$.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η καλύτερη έκφραση του ολικού συντελεστή απωλειών θερμότητας είναι αυτή που λαμβάνει υπόψη τις απώλειες με μεταφορά, συναγωγή, λόγω διαφυγών του αέρα και ακτινοβολία. Επειδή όμως η μέτρηση της καθαρής θερμικής ακτινοβολίας και της θερμο-

κρυσίας του ουρανού, που συνδέονται άμεσα, είναι δύσκολη, οι προσπάθειες για περισσότερες και καλύτερες μετρήσεις πρέπει να συνεχιστούν έτσι ώστε το μοντέλο εκτίμησης του ολικού συντελεστή απωλειών θερμότητας U να εξηγεί όσο το δυνατόν περισσότερο από την παραλλακτικότητα των μετρήσεων των απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bailey, B. J. , Seginer, J. . 1989. Optimum Control of Greenhouse heating. *Acta Horticulturae* 245: 512-518.
2. Bailey, R. J. and Cotton, R. F. , 1980. Glasshouse thermal screen: Influence of single and double screens on heat loss and crop environment. *NJAE Dep. Note DN/G/821/04013*, 15 pp.
3. Baille, M. , Laury, j. C. , Baille, A. , 1983. Influence du matetieriau de couverture sur les echanges energetiques d'une serre: Etude comparative verre normal/verre faible emissivite. I. Influence sur les deperditions thermiques. II. Influence sur le micrichimat interieur. *Agronomie*, 3 (3): 197-206.
4. Boulard, T. , Baille, A. , 1987. Analysis of thermal performance of a greenhouse as a solar collector. *Energy in Agriculture*, 6 (1): 17-26.
5. Breuer, J. and Short, T. , 1989. Greenhouse energy demand comparisons for the Netherlands and Ohio, USA. *Acta Horticulturae*, 245: 141-147.
6. Garzoli, K. V. and Blackwell, J. , 1981. Analysis of the nocturnal heat loss from a single skin plastic greenhouse. *J. Agric. Eng. Res.* , 26: 203-214.
7. Kittas, C. , 1980. Contribution theorique et experimentale a l'etude du bilan d'energie des serres, These de Docteur Ingenieur, Université de Perpignan, p 160.
8. Κίττας, Κ. , 1984. Ενεργειακές απώλειες θερμοκηπίου. Διατηρηβή για νηρηγεσία, Πάτρα, 136 p.
9. Kittas, C. , 1986. Greenhouse cover conductances. *Boundary-Layer Meteorology*, 36: 213-225.
10. Μαυρογιαννόπουλος, Γ. , 1990. Θερμοκήπια. Έκδοση Β. Σταμούλης. Αθήνα.
11. Μαυρογιαννόπουλος, Γ. Ν. , Χουστουλάκης, Π. , Κυρίτσης, Σ. , , 1994. Μετρήσεις του συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας του θερμοκηπίου. *Γεωργική Έρευνα*, 18: 12-17.
12. Παπαδάκης, Γ. , 1989. Πειραματική ανάλυση και δυναμική προσομοίωση του μικροκλίματος στο θερμοκήπιο. Διδακτορική διατριβή. Αθήνα, 166p.
13. Seginer, I. and Albright, L. D. , 1983. Greenhouse operation for best aerial environment. Final Researsh Report, BARD project I-177-179. Technics, Israel Institute of Technology.

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ: ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ

Κ. Κίττας¹, Α. Baille², Θ. Μπαριζάνας¹

¹Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, Βόλος
²INRA, Unite de Bioclimatologie d'Avignon, France

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται μια επισκόπηση των επιστημονικών και τεχνικών θεμάτων που πρέπει να επιλυθούν ώστε να γίνει δυνατή η ρύθμιση και διαχείριση του κλίματος στα χαμηλού κόστους πλαστικά θερμοκήπια της Μεσογείου. Εμφαση δίνεται στην ανάλυση του ρόλου του εξωτερικού κλίματος, της κατασκευής, του κλιματικού εξοπλισμού και της συμπεριφοράς της καλλιέργειας στην διαμόρφωση του κλίματος υπό κάλυψη. Επισημαίνονται η σημασία των εξατμιστικών φαινομένων (εξατμισσοδιαπνοή της καλλιέργειας, συστήματα δροσισμού) στα ισοζύγια θερμότητας και μάζας του θερμοκηπίου καθώς και ο ρόλος "κλειδί" του αερισμού στον έλεγχο του εσωτερικού μικροκλίματος. Τέλος, συζητούνται οι ανάγκες για έρευνα και εκπαίδευση στον τομέα του ελέγχου του θερμοκηπιακού μικροκλίματος.

ABSTRACT

This paper presents an overview of the scientific and technical issues that have to be solved in order to reach suitable climate control and management in the low- cost plastic mediterranean greenhouses. Emphasis will be directed to the respective roles of external climate, greenhouse structure, climate control equipment and crop behaviour in the establishment of the internal climate. It is also pointed the importance of evaporative processes (evapotranspiration of the crop, evaporative cooling) in the heat and mass balance of the greenhouse, and the key role of ventilation rates in controlling the internal climate. Finally, the needs of research and training in the field of greenhouse environmental control are discussed.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες, κατά την διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών γνώρισαν σημαντική εξάπλωση στην περιοχή της Μεσογείου (Νότια Ευρώπη, Μαρόκο, Τυνησία, Αλγερία, Αίγυπτος). Η ενεργειακή κρίση και η εισαγωγή των πλαστικών φύλλων ήταν οι κύριοι παράγοντες που συντέλεσαν στην μετατόπιση των προστατευομένων καλλιέργειων από την Βόρεια Ευρώπη στις Μεσογειακές χώρες. [1]. Οι χαμηλού κόστους πλαστικές κατασκευές, σε συνδυασμό με ορισμένες προσαρμογές της Βόρειας τεχνολογίας, κατέστησε δυνατό την εμφάνιση, μεσογειακών συστημάτων παραγωγής προϊόντων εκτός εποχής. Σύντομα, η συνολική καλλιεργησιμη έκταση σ' αυτές τις περιοχές θα είναι περίπου 60. 000 εκτάρια, [2], με την πλειοψηφία τους να είναι πλαστικές κατασκευές.

Τα μεσογειακά θερμοκήπια απαιτούν λιγότερη ενέργεια συγκρινόμενα με τις καλλιέργειες αγρού. Η αιτία είναι ότι οι αγρότες χρησιμοποιούν μικρά ποσά ενέργειας για να ελέγξουν το περιβάλλον του θερμοκηπίου. Οι περισσότερες μονάδες δεν θερμαίνονται (ή στην καλύτερη περι-

πώση υπάρχει ένα υποτυπώδες σύστημα θέρμανσης), ενώ ο αερισμός γίνεται με χειροκίνητα συστήματα. Ο ανεπαρκής αερισμός (κατά την διάρκεια του καλοκαιριού), και η έλλειψη θέρμανσης (κατά την διάρκεια του χειμώνα), οδηγούν σε ακατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Επιπροσθέτως, η κατασκευή και το σχήμα των μονάδων (χαμηλό ύψος, μικρός όγκος, επίπεδες οροφές) είναι συχνά ακατάλληλα για τις κλιματικές συνθήκες αυτών των περιοχών, [3], με αποτέλεσμα να οξύνουν αντί να μειώνουν τα προβλήματα.

Συνέπεια των παραπάνω είναι το εσωτερικό μικροκλίμα που δημιουργείται στο χώρο του θερμοκηπίου να είναι ακατάλληλο για την καλλιέργεια, για ένα μεγάλο διάστημα του έτους. Αρκετές εργασίες έχουν περιγράψει τις κλιματικές συνθήκες, που επικρατούν στις χαμηλού κόστους μονάδες, στις οποίες η έλλειψη εξοπλισμού ελέγχου του περιβάλλοντος έχει ως αποτέλεσμα ανεπαρκείς συνθήκες και αδυναμία για παραγωγή καθόλη την διάρκεια του έτους, [4].

Το αποτέλεσμα του μη ικανοποιητικού ελέγχου του περιβάλλοντος στη παραγωγή (απόδοση, ποιότητα) είναι αρνητικό. Λόγω των υψηλών τιμών της θερμοκρασίας και του ελείμματος κορεσμού, οι καλλιεργητές δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν την υψηλής έντασης ακτινοβολία κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, αλλά και αργά την άνοιξη. Το δυναμικό παραγωγής καλλιέργειας τομάτας στην Νότια Ισπανία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι 50% υψηλότερο από ότι στην Ολλανδία, [2]. Παρόλα αυτά δεν είναι δυνατό να επιτύχουμε ικανοποιητικά επίπεδα παραγωγής και ποιότητας στα θερμοκήπια των Μεσογειακών χωρών κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όταν στην Βόρειο Ευρώπη κατά την ίδια περίοδο, επιτυγχάνονται υψηλές αποδοσεις και καλή ποιότητα. Οι λόγοι της υψηλής παραγωγής στα θερμοκήπια της Βόρειας Ευρώπης είναι δύο:

- Οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες δεν δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου.
- Οι παραγωγοί έχουν αποκτήσει επιδεξιότητα στην διαχείριση του κλίματος, σύγχρονων γυάλινων θερμοκηπίων με τη βοήθεια υπολογιστών, [5].

Σύμφωνα με τον Castilla, [4], στις βόρειες χώρες υπάρχει η τάση να βελτιστοποιήσουν το περιβάλλον του θερμοκηπίου με σκοπό να επιτύχουν το μέγιστο της παραγωγής. Σε αντίθεση, στη μεσογειακή περιοχή η κύρια έννοια είναι μάλλον να προσαρμόσουν την καλλιέργεια σε ένα μη βέλτιστο περιβάλλον. Επειδή όμως υπάρχουν όρια στη στρατηγική αυτή της προσαρμογής θα ήταν συνετό να αναζητηθούν τεχνολογικές λύσεις οι οποίες θα μειώσουν τις ακραίες συνθήκες στις μεσογειακές κατασκευές, κυρίως κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Ερευνητές και καλλιεργητές είναι πλέον πεπεισμένοι ότι οι θερμοκηπιακές κατασκευές πρέπει να σχεδιάζονται ειδικά για την κάθε περιοχή και ότι το περιβάλλον μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά ακολουθώντας ορισμένους απλούς κανόνες στην διαχείριση του θερμοκηπίου, [6].

Έτσι, για τους μεσογειακούς καλλιεργητές, μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι προσαρμόζοντας και βελτιώνοντας τις κατασκευές τους και τον εξοπλισμό τους και διαχειριζόμενοι επιτυχώς τους διάφορους συντελεστές της παραγωγής (μικροκλίμα, καλλιέργεια, ...) να κατορθώσουν:

- Να παρατείνουν την καλλιεργητική περίοδο, και την περίοδο χρήσης των μονάδων.
- Να επιτύχουν υψηλά επίπεδα ποιότητας και ποσότητας.
- Να αυξήσουν το κέρδος που τους αποδίδουν τα καλλιεργητικά τους συστήματα.

Πάντως, πολλά εμπόδια πρέπει ακόμη να ξεπεραστούν. Η υπάρχουσα τεχνολογία και τεχνογνωσία η οποία αναπτύχθηκε στις χώρες της Βόρειας Ευρώπης δεν μπορεί να μεταφερθεί κατευθείαν στους καλλιεργητές της Μεσογείου. Η υψηλού επιπέδου τεχνολογία δεν μπορεί να

ιοθετηθεί από πολλούς αγρότες γιατί το κόστος της είναι πολύ υψηλό συγκρινόμενο με τη μικρή επενδυτική ικανότητα αυτών των αγροτών. Η τεχνογνωσία της Βόρειας Ευρώπης είναι συχνά ακατάλληλη για προβλήματα τα οποία συναντώνται σε μεσογειακές μονάδες. Στην περίπτωση που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν θα ήταν απαραίτητη η κατάρτιση και εκπαίδευση των μεσογειακών αγροτών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω ειδικά προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης άρχισαν από ερευνητικά ινστιτούτα και σταθμούς γεωργικών εφαρμογών στις χώρες της Μεσογείου. Στην εργασία αυτή γίνεται περιγραφή των μέσων και πρακτικών με τα οποία οι καλλιεργητές της Μεσογείου μπορούν να ελέγξουν τις συνθήκες "stress" που δημιουργούνται από το κλίμα και οι οποίες περιορίζουν την αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών κατά την διάρκεια παρατεταμένων θερμών περιόδων. Πριν από όλα όμως θα αναπτυχθούν μερικά βασικά στοιχεία, για τα ισοζύγια ενέργειας και υγρασίας στο θερμοκήπιο και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαδικασιών και παραγόντων οι οποίες καθορίζουν το περιβάλλον του θερμοκηπίου

ΤΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το ενεργειακό ισοζύγιο

Για την ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται μαθηματικά πρότυπα του θερμοκηπίου. Απλοποιημένα προσομοιώματα, τα οποία βασίζονται κυρίως στα ισοζύγια ενέργειας και μάζας (H_2O , CO_2), είναι διαθέσιμα. Τα απλοποιημένα αυτά προσομοιώματα μας επιτρέπουν να διερευνήσουμε τους παράγοντες και τα φαινόμενα που προσδιορίζουν το εσωτερικό μικροκλίμα, [7], [8].

Το θερμοκήπιο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ηλιακός συλλέκτης. Η μόνη διαφορά στην προσομοίωση του με τις εξισώσεις των ηλιακών συλλεκτών είναι η παρουσία μιας διαπνέουσας επιφάνειας, η οποία τροποποιεί τα φαινόμενα μεταφοράς λανθάνουσας θερμότητας. Χρησιμοποιώντας αυτή την αναλογία με τον ηλιακό συλλέκτη μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η καθαρή ακτινοβολία (R_n) του θερμοκηπίου αποτελείται από δύο συνιστώσες (Σχήμα 1):

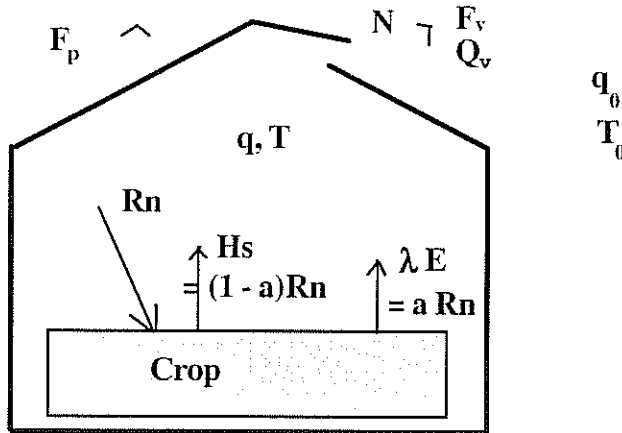
- Μια συνιστώσα αισθητής θερμότητας, H_s η οποία χρησιμεύει για την θέρμανση του αέρα του θερμοκηπίου (και αντιπροσωπεύει το κύριο μέρος της "χρήσιμης" ενέργειας η οποία μπορεί να εξαχθεί από ένα ηλιακό συλλέκτη).
- Μια συνιστώσα λανθάνουσας θερμότητας, λE , η οποία αντιπροσωπεύει τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Η κατανομή της καθαρής ενέργειας μεταξύ αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας συχνά εκφράζεται από μία παράμετρο, η οποία ονομάζεται λόγος του Bowen, $\beta = H_s/\lambda E$ και εξαρτάται από την ένταση των φαινομένων εξατμισοδιαπνοής, [9]. Σ' αυτή την παράγραφο θα χρησιμοποιήσουμε τις ακόλουθες απλοποιημένες σχέσεις:

$$H_s = (1-a) R_n \quad (1)$$

$$\lambda E = a R_n \quad (2)$$

όπου a ο λόγος της λανθάνουσας θερμότητας προς το ηλιακό κέρδος (καθαρή ακτινοβολία, R_n). Η εξίσωση (2) αποτελεί μια προσεγγιστική εκτίμηση του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής η ολοκληρωμένη έκφραση του οποίου είναι περισσότερο σύνθετη.



Σχήμα 1. Απλοποιημένο ενεργειακό ισοζύγιο σε ένα μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο (τα σύμβολα εξηγούνται στο κείμενο).

Οι απώλειες αισθητής θερμότητας του θερμοκηπίου κυρίως αποτελούνται από:

1) τις απώλειες με μεταφορά και ακτινοβολία από τα τοιχώματα του θερμοκηπίου, (Φ_p), οι οποίες συνολικά μπορούν να εκφραστούν ως ακολούθως:

$$\Phi_p = KG (T - T_0) = KG \Delta T \quad (3)$$

όπου KG είναι ο συνολικός συντελεστής απωλειών ($Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$), και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του θερμοκηπίου (T), και της εξωτερικής θερμοκρασίας, (T_0).

2) οι απώλειες με μεταφορά οι οποίες οφείλονται στην μη καλή στεγανότητα και στον αερισμό, Φ_V

$$\Phi_V = KV \Delta T \quad (4)$$

όπου KV ($Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$) είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω του αερισμού, ο οποίος μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του ρυθμού ανανέωσης του αέρα, $N(s^{-1})$:

$$KV = \rho CP N (V/S) \quad (5)$$

όπου: ρ = πυκνότητα του αέρα ($kg \text{ } m^{-3}$), CP = η ειδική θερμότητα του αέρα ($J \text{ } kg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$) και V/S = ο λόγος του όγκου του θερμοκηπίου (V) προς την επιφάνεια του εδάφους (S).

Τότε από το ισοζύγιο αισθητής θερμότητας, εξίσωση (1) λαμβάνουμε:

$$(1-a) R_n = \Phi_p + \Phi_V \quad (6)$$

Από την σχέση (6) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου, είναι σε σταθερές συνθήκες ($dT/dt = 0$):

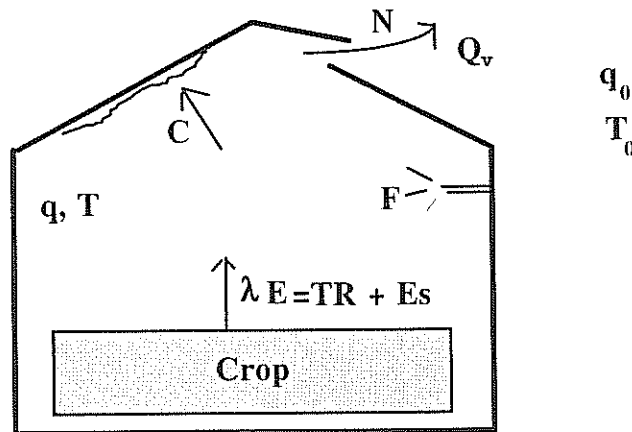
$$T = T_0 + \frac{(1-a) R_n}{K_G + \rho C_p N (V/S)} \quad (7)$$

Από την εξίσωση (7) βλέπουμε ότι για να μειώσουμε την θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου μπορούμε να επεμβούμε με τους ακόλουθους τρόπους:

- Μειώνοντας την καθαρή ακτινοβολία R_n (κουρτίνες σκίασης, άσπρισμα ...).
- Αυξάνοντας το συντελεστή a δηλαδή το μέρος του R_n που εξατμίζεται, με διοχέτευση υδρατμών στο θερμοκήπιο (ψεκασμός, τεχνητή ομίχλη...).
- Αυξάνοντας το K_G (ψεκασμός νερού στην οροφή).
- Αυξάνοντας το ποσοστό ανανεώσεως του αέρα N .
- Ψύχοντας τον εξωτερικό αέρα T_0 πριν τον διοχετεύσουμε στο θερμοκήπιο (σύστημα δροσισμού με βρεγμένη παρειά, Cooling - system).
- Αυξάνοντας τον όγκο V του θερμοκηπίου.

Το ισοζύγιο υδρατμών

Με τρόπο ανάλογο όπως και για αισθητή θερμότητα, μπορούμε να διατυπώσουμε το ισοζύγιο της υγρασίας του θερμοκηπίου.



Σχήμα 2. Το ισοζύγιο υγρασίας του θερμοκηπίου (τα σύμβολα εξηγούνται στο κείμενο)

Η γενική μορφή του ισοζυγίου υγρασίας του θερμοκηπίου μπορεί να γραφεί ως ακολούθως:

$$\frac{V}{S} \frac{dq}{dt} = TR + E_s + F - Q_v - C \quad (8)$$

όπου:

dq/dt = ο ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής υγρασίας ($\text{kg νερού m}^{-3} \text{s}^{-1}$);

q = συζέντρωση υδρατμών στον αέρα του θερμοκηπίου (kg νερού m⁻³)

V, S = όγκος θερμοκηπίου (m³) και η επιφάνεια εδάφους του θερμοκηπίου (m²) αντίστοιχα

TR = διαπνοή της καλλιέργειας (kg νερού m⁻² s⁻¹)

Es = εξάτμιση από το έδαφος (kg νερού m⁻² s⁻¹)

F = ποσότητα νερού που συμπληρώνεται στο θερμοκήπιο από υδρονέφωση, σύστημα βρεγμένης παρειάς (Cooling pad), (kg νερού m⁻² s⁻¹)

Q_v = απώλειες υγρασίας λόγω μη καλής στεγανότητας και αερισμού (kg νερού m⁻² s⁻¹)

C = ρυθμός συμπύκνωσης στο έδαφος ή στην καλλιέργεια (kg νερού m⁻² s⁻¹)

Κατά την διάρκεια της ημέρας το ισοζύγιο υγρασίας εξαρτάται κυρίως από την εξατμισοδιαπνοή, $E = TR + ES$, και από τις απώλειες λόγω αερισμού, Q_v . Κατά την διάρκεια της ημέρας η συμπύκνωση είναι σπάνια (ωστόσο δεν μπορεί να αγνοηθεί κατά την διάρκεια της νύχτας). Η εξάτμιση του εδάφους είναι αμελητέα εάν εφαρμόζεται τοπική άρδευση, στις υδροπονικές καλλιέργειες ή εάν το έδαφος ή το υπόστρωμα καλύπτονται από λευκό ανακλαστικό κάλυμμα. Τότε για την πλειοψηφία των περιπτώσεων (χωρίς συμπλήρωμα νερού από ένα σύστημα υφρονέφωσης), οι όροι Es, F και C μπορεί να αγνοηθούν και θα έχουμε:

$$\frac{V}{S} \frac{dq}{dt} = TR - Q_v \quad (9)$$

Για σταθερές συνθήκες ($dq/dt=0$), ισχύει κατά συνέπεια:

$$TR = Q_v \quad (10)$$

Σε πρώτη προσέγγιση, λοιπόν, μπορεί να θεωρηθεί ότι η διαπνοή TR ισούται με τις απώλειες λόγω αερισμού Q_v . Εάν υπάρχουν διαθέσιμες σχέσεις εκτίμησης του ποσοστού ανανέωσης του αέρα N , είναι δυνατός ο υπολογισμός του ρυθμού διαπνοής της καλλιέργειας υπολογίζοντας τον ρυθμό ανταλλαγής του αέρα του θερμοκηπίου, [10].

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2) και εκφράζοντας την ποσότητα Q_v ως ακολούθως:

$$Q_v = N(V/S)(q - q_0) \quad (11)$$

όπου q_0 είναι η εξωτερική υγρασία, λαμβάνουμε τη σχέση:

$$q = q_0 + \frac{aR_n / \lambda}{N(V/S)} \quad (12)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (12) η υγρασία του θερμοκηπίου μπορεί να τροποποιηθεί ενεργώντας στους ακόλουθους παράγοντες:

- Αυξάνοντας το συντελεστή a , δηλαδή αυξάνοντας τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής, αυξάνοντας έτσι την υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου.
- Μειώνοντας το R_n , χρησιμοποιώντας κουρτίνες σκίασης ελατώνοντας έτσι την διαπνοή της καλλιέργειας.
- Αυξάνοντας το N , δηλαδή τον ρυθμό ανανέωσης του αέρα, μειώνοντας έτσι την υγρασία.

Πάντως η εξίσωση (12) δίνει μια υπεραπλουστευμένη έκφραση των εξατμιστικών φαινομένων σ' ένα θερμοκήπιο, γιατί θεωρεί ότι η εξατμισοδιαπνοή είναι ανάλογη μόνο της ακτινοβολίας. Στην πραγματικότητα η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από την υγρασία πιο πολύπλοκα και υπάρχουν διάφορες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της εξατμισοδιαπνοής και του ρυθμού διαπνοής οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη για μια αντικειμενική πρόβλεψη της υγρασίας του θερμοκηπίου.

Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Διαπνοή καλλιέργειας σε θερμοκήπιο

Ο ρυθμός διαπνοής εξαρτάται από την καθαρή ακτινοβολία η οποία απορροφάται από την φυλλική επιφάνεια, R_n , καθώς και από το έλλειμμα κορεσμού, $D = e_s(T) - e$, $e_s(T)$, όπου e_s η πίεση υδρατμών στο κορεσμό στη θερμοκρασία T_a (PaK-1) και e η πίεση υδρατμών του αέρα (PaK-1). Η διαπνοή, TR , γενικά εκφράζεται με την εξίσωση των Penman-Monteith, [11], θεωρώντας όλη την καλλιέργεια την σαν ένα "μεγάλο φύλλο":

$$\lambda TR = \frac{\delta R_n}{\delta + \gamma^*} + \rho C_p \frac{g_a D}{\delta + \gamma^*} \quad (13)$$

όπου:

R_n = καθαρή ακτινοβολία στο επίπεδο της καλλιέργειας, ($W m^{-2}$).

λ = λαθάνουσα θερμότητα εξατμησης του νερού, ($J kg^{-1}$).

$\gamma^* = \gamma (1 + g_a/g_s)$, όπου γ η θερμοδυναμική ψυχομετρική σταθερά (PaK-1), g_a και g_s ($m s^{-1}$) αντίστοιχα είναι η αεροδυναμική και στοματική αντίστασεις της καλλιέργειας στη ροή των ατμών.

δ = είναι η κλίση της καμπύλης κορεσμένων υδρατμών σε θερμοκρασία T , (PaK-1).

Η στοματική αντίσταση, g_s , εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η Stanghellini, [12], βρήκε ότι η TR εξαρτάται από την ακτινοβολία και το έλλειμμα κορεσμού και ξεφρασσε την στοματική αντίσταση g_s ως ακολούθως:

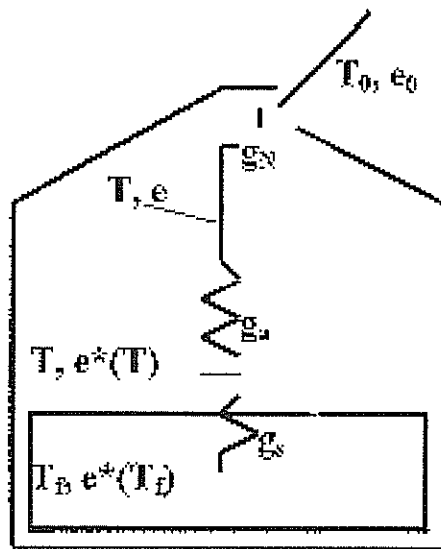
$$g_s = g_{smax} f_1(R_n) f_2(D) \quad (14)$$

Από τις εξισώσεις (13), (14), μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει μία σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ της υγρασίας του αέρα της διαπνοής και της καλλιέργειας. Εάν το έλλειμμα κορεσμού D αυξάνεται, τότε η διαπνοή TR αυξάνεται αλλά η στοματική αγωγιμότητα g_s , ελλοιώνεται αντιδρώντας έτσι στην αύξηση της διαπνοής. Πάντως επειδή ο περιοριστικός παράγοντας για την διαπνοή στα θερμοκήπια είναι η αεροδυναμική αγωγιμότητα ($g_a \ll g_s$) η ελάττωση της τιμής g_s δεν έχει σημαντική επίδραση στην τιμή της συνολικής αγωγιμότητας και στο ρυθμό της διαπνοής, [13], μέχρι η καλλιέργεια να υποστεί ένα δυνατό stress οφειλόμενο στην υψηλή τιμή του ελλείματος κορεσμού. Μόνο στην τελευταία περίπτωση η στοματική ρύθμιση είναι αρκετά σημαντική ώστε να επιδρά καθοριστικά στο ρυθμό διαπνοής της καλλιέργειας υπό κάλυψη.

Ο καθοριστικός ρόλος του αερισμού στο σύστημα θερμοκήπιο

Πρόσφατα ο Boulard, [14], έδειξε ότι ο βαθμός σύζευξης μεταξύ της καλλιέργειας του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος ρυθμίζεται κυρίως από τον ρυθμό αερισμού και σε μι-

κρότερο βαθμό από τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Σύμφωνα με αυτόν ένας περιοριστικός παράγοντας στην διαπνοή μιας καλλιέργειας υπό κάλυψη είναι η αγωγιμότητα λόγω αερισμού, (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Σχηματική παράσταση των αγωγιμοτήτων που εμπλέκονται στις ανταλλαγές νερού σε ένα θερμοκήπιο.

Σε ένα κλειστό θερμοκήπιο η g_N μπορεί να είναι μικρότερη από τη g_A και ο αερισμός να αποτελεί το κύριο περιοριστικό παράγοντα της διαπνοής. Ένας ελάχιστος ρυθμός αερισμού είναι ως εκ τούτου απαραίτητος ώστε να διατηρείται η g_N μεγαλύτερη από τη g_A επιτρέποντας έτσι στον ρυθμό διαπνοής να φθάνει την μέγιστη τιμή που επιβάλλεται από την g_A .

Φαίνεται κατά συνέπεια, ότι ο αερισμός παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του εσωτερικού κλίματος και κατά συνέπεια στη συμπεριφορά των καλλιεργειών υπό κάλυψη. Ο ταυτόχρονος έλεγχος της θερμοκρασίας και υγρασίας είναι χωρίς αμφιβολία ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα καθόσον οι δύο αυτοί κλιματικοί παράγοντες του θερμοκηπίου δεν εξαρτώνται μόνο από τις εσωτερικές συνθήκες αλλά και από την ακτινοβολία και την φυσιολογική απόκριση των φυτών. Σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια ο μόνος τρόπος ελέγχου των δύο αυτών παραμέτρων είναι ο αερισμός. Ο αερισμός επίσης παραμένει ο μόνος τρόπος αποφυγής των υγραποιήσεων στα φυτά κατά τη νύχτα και αυτό αποτελεί την κοινή πρακτική σε πολλές περιοχές.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Κατασκευή και σχήμα

Οι χαμηλού κόστους κατασκευές οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούνται στις μεσογειακές χώρες έχουν μικρή γλίση οροφής η οποία προσφέρει καλή αντίσταση στους ανέμους, αλλά μειώνει

σημαντικά την περατότητα του φωτός κατά το χειμώνα. Θα ήταν σκόπιμο να κατασκευαστούν θερμοκήπια με κατάλληλη κλίση (συμμετρικά, ασύμμετρα, γοθικά...) έτσι ώστε και η διαπερατότητα του θερμοκηπίου να βελτιωθεί αλλά και να αποφεύγονται οι συσσωρεύσεις νερού στην οροφή, [15]. Πολλά μεσογειακά θερμοκήπια έχουν μικρό ύψος και όγκο. Υψηλότερες κατασκευές θα μπορούσαν να βελτιώσουν την διαπερατότητα και τον αερισμό και να προσφέρουν μεγαλύτερη αδράνεια σε αλλαγές της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

Εξοπλισμός για τον έλεγχο του κλίματος

Η βασική τεχνική που εφαρμόζεται στα μεσογειακά θερμοκήπια για έλεγχο του μικροκλίματος είναι ο αερισμός, λόγω της ισχυρής επίδρασης που έχει σε όλες τις άλλες κλιματικές παραμέτρους (εκτός της ακτινοβολίας). Μια ακόμη διαδεδομένη πρακτική είναι και το άσπρισμα. Ορισμένες μονάδες έχουν υιοθετήσει και άλλες τεχνικές όπως, κουρτίνες σκίασης, υδρονέφωση, συστήματα υγρής παρειάς, παθητικά συστήματα αποθήκευσης θερμότητας, συστήματα θέρμανσης με νερό χαμηλής ενθαλπίας κ. α. Η χρησιμοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας (γεωθερμική, νερό από ανακύκλωση βιολογικών καθαρισμών κ. α...), βρίσκει εφαρμογή μόνο σαν συμπληρωματική θέρμανση κατά την διάρκεια πολύ κρύων περιόδων.

Έλεγχος θερμοκρασίας

Θέρμανση

Η χρησιμοποίηση συμβατικών ή εναλλακτικών συστημάτων θέρμανσης δεν είναι διαδεδομένη στα μεσογειακά θερμοκήπια. Το οικονομικό κέρδος από την θέρμανση των θερμοκηπίων δεν έχει ξεκαθαριστεί πλήρως για την περιοχή της μεσογείου. Σύμφωνα με τους Abou-Hadid et al., [16], η θέρμανση πρέπει να αυξάνει την ποιότητα, την ποσότητα και την πρωιμότητα της παραγωγής ώστε να καλύπτει τα επενδυτικά και λειτουργικά έξοδα της. Η χρησιμοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας είναι περιορισμένη κυρίως λόγω οικονομικών παρά τεχνικών προβλημάτων. Μερικά απλά παθητικά ηλιακά συστήματα με σωλήνες νερού για αποθήκευση της θερμότητας, [17], μπορούν να εφαρμοστούν με μειωμένη όμως αποτελεσματικότητα όταν αυξάνεται η βλάστηση. Η θέρμανση ενός θερμοκηπίου δεν είναι τεχνικό πρόβλημα. Είναι γνωστό πώς μπορεί να θερμανθεί ένα θερμοκήπιο με συμβατικά καύσιμα ή με εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Το θέμα είναι η απόφαση για χρήση ενός συστήματος θέρμανσης και αυτό θα γίνει με οικονομικά κριτήρια.

Ψύξη

Αντιπροσωπεύει τον σημαντικότερο παράγοντα στη ρύθμιση του μικροκλίματος. Αρκετές μέθοδοι είναι διαθέσιμες:

- Στατικός ή δυναμικός αερισμός.
- Δροσισμός (συστήματα υγρής παρειάς, υδρονέφωση...).
- Σκίαση (κουρτίνες, άσπρισμα...).

Υπάρχουν και άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες για την ψύξη (αντλίες θερμότητας, εναλλάκτες κ. α...), όμως λόγω του υψηλού τους κόστους δεν χρησιμοποιούνται σε θερμοκήπια, ούτε και στις ανεπτυγμένες χώρες. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος όσο αφορά την τεχνογνωσία των συστημάτων ψύξης. Η επίδραση των διαφόρων συστημάτων αερισμού στο εσωτερικό περιβάλλον έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές, [18]. Πειραματικά δεδομένα του ρυθμού ανταλλαγής μέσω του αερισμού στα θερμοκήπια είναι διαθέσιμα με αποτέλεσμα να γί-

νονται κατανοητοί οι μηχανισμοί και οι παράγοντες οι οποίοι οδηγούν στην μεταφορά της ενέργειας μεταξύ θερμοκηπίου και εξωτερικού περιβάλλοντος, [19]. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν την ανάπτυξη και την βαθμονόμηση προσομοιωμάτων για τον υπολογισμό του ρυθμού αερισμού αλλά και για τον καλύτερο σχεδιασμό των ανοιγμάτων αερισμού. Ο αερισμός με ανοίγματα οροφής μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός σε θερμοκήπια κατά την διάρκεια περιόδων υψηλής ακτινοβολίας, [20], και η αύξηση του ύψους των κατασκευών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον αερισμό. Η εγκατάσταση όμως ανοιγμάτων οροφής δεν είναι εύκολη σε αυτές τις κατασκευές. Ορισμένες πρωτότυπες λύσεις για αερισμό οροφής προταθεί πρόσφατα από τους Montero J. I and Sevilla A., [21].

Η ψύξη με εξάτμιση, είναι χωρίς αμφιβολία η αποτελεσματικότερη μέθοδος, [22], ιδιαίτερα εάν η εξωτερική ατμόσφαιρα είναι ξηρή. Η τεχνολογία για την χρήση τέτοιων συστημάτων είναι διαθέσιμη, αλλά αυτή η τεχνική απαιτεί νερό πολύ καλής ποιότητας. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος της περιορισμένης χρήσης του συστήματος υδρονέφωσης με υψηλή πίεση (fog-system).

Η σκίαση είναι η έσχατη λύση για να ψύξουμε ένα θερμοκήπιο, γιατί η ψύξη μ' αυτόν τον τρόπο επηρεάζει την παραγωγή σύμφωνα με τους Cockshull et al., [23]. Εντούτοις σε ορισμένες περιπτώσεις με τη σκίαση μπορούμε να πετύχουμε καλύτερη ποιότητα. Περισσότερη γνώση σχετικά με την επίδραση της σκίασης στην παραγωγή και ποιότητα καρπών και ανθέων πρέπει να αποκτηθεί ώστε να προσδιοριστεί η κατάλληλη σκίαση.

Αφύγρανση

Η πλέον συνηθισμένη λύση, η οποία έχει υιοθετηθεί από το σύνολο των Ευρωπαϊκών καλλιέργειών, είναι η συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού, μια λύση η οποία είναι ενεργειακά και αντιοικονομική. Στα μεσογειακά θερμοκήπια η αφύγρανση γίνεται μόνο με την χρήση των συστημάτων αερισμού. Τελευταία για την αφύγρανση των θερμοκηπίων έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα υγρασκοπικά υλικά, [24].

Εμπλουτισμός CO₂

Η τεχνική αυτή δεν είναι απαραίτητη για θερμοκήπια της περιοχής της μεσογείου. Οι περίοδοι που είναι δυνατός ο εμπλουτισμός σε CO₂ είναι πολύ μικρές λόγω των αναγκών σε αερισμό, [25]. Ουσιαστικά το πρόβλημα δεν είναι τεχνικό αλλά οικονομικό.

Η ΑΝΑΓΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

Ακόμη και με τα πιο εξελιγμένα συστήματα κλιματισμού, δεν θα ήταν δυνατός ο έλεγχος του θερμοκηπιακού μικροκλίματος χωρίς δεδομένα που να μας πληροφορούν για την συμπεριφορά του συστήματος. Το να έχουμε, συνεπώς, στην διάθεσή μας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και πληροφορίες (αισθητήρες, παρατηρήσεις του παραγωγού) είναι απαραίτητα για την διαχείριση του κλίματος του θερμοκηπίου. Δυστυχώς, ελάχιστες πληροφορίες σχετικές με κλιματικές και φυσιολογικές παραμέτρους είναι διαθέσιμες στα μεσογειακά θερμοκήπια λόγω έλλειψης αισθητήρων και σχετικών μικροεπεξεργαστών. Ετσι οι παρατηρήσεις στην καλλιέργεια και η εμπειρία των παραγωγών παραμένει μέχρι τώρα το κλειδί για τον έλεγχο του κλίματος και της συμπεριφοράς της καλλιέργειας.

Παρόλα αυτά αν λάβουμε υπόψη το συνεχώς μειούμενο κόστος των μικροεπεξεργαστών, των ηλεκτρονικών υπολογιστών και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, θεωρούμε ότι η φυσιολογική εξέλιξη της τεχνολογίας για τον έλεγχο του κλίματος στα μεσογειακά θερμοκήπια θα πρέπει να ακολου-

θήσει αυτή που παρατηρείται στην Βόρεια Ευρώπη. Δεν υπάρχει λόγος να θεωρούμε ότι ο έλεγχος του αερισμού σε πραγματικό χρόνο ή ο έλεγχος της άρδευσης με μικροεπεξεργαστές με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και το έλλειμα κορεσμού είναι χρήσιμος και επωφελής μόνο για τους παραγωγούς της Βόρειας Ευρώπης. Θα είναι χωρίς αμφιβολία ακόμη πιο χρήσιμα εργαλεία στους παραγωγούς της Μεσογείου. Το πρόβλημα θεωρούμε ότι είναι περισσότερο συνδεδεμένο με την εκπαίδευση και εξάσκηση των καλλιεργητών παρά με το κόστος αυτών των τεχνολογιών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Υπάρχει ακόμη ευρύτατο πεδίο για την βελτίωση των μεσογειακών θερμοκηπίων. Τα πιο σημαντικά προβλήματα των θερμοκηπίων της μεσογειακής λεκάνης δεν είναι συνδεδεμένα με την ανάπτυξη ειδικών τεχνολογιών, καθόσον οι τεχνικές λύσεις είναι γνωστές και διαθέσιμες. Τα προβλήματα είναι συνδεδεμένα, κυρίως, με τα ακόλουθα θέματα:

- Προσαρμογή και βελτιστοποίηση της υπάρχουσας τεχνολογίας ώστε να είναι κατάλληλη για τις συνθήκες της Μεσογείου.
- Εκπαίδευση και εξάσκηση των παραγωγών, κυρίως στην απαραίτητη τεχνογνωσία για την σωστή διαχείριση του θερμοκηπιακού περιβάλλοντος.

Όσον αφορά το πρώτο θέμα και ύστερα από την προιγηθείσα ανάλυση σχετικά με τον έλεγχο του περιβάλλοντος των μεσογειακών θερμοκηπίων, τα κύρια συμπεράσματα για τις ερευνητικές προτεραιότητες, φαίνεται να είναι τα ακόλουθα:

- Βελτίωση των συστημάτων αερισμού και της διαχείρισής του.
- Βελτίωση της διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία.
- Έλεγχος της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου με ταυτόχρονο όμως έλεγχο και της υγρασίας υπό κάλυψη.

Το δεύτερο θέμα είναι συνδεδεμένο με την μεταφορά γνώσης και τεχνολογίας στους παραγωγούς της Μεσογείου. Η εμπειρία σχετικά με την διαχείριση του κλίματος των θερμοκηπίων έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και θα πρέπει να διαχυθεί όσο πιο γρήγορα και αποτελεσματικά γίνεται. Είναι σε όλους γνωστό ότι η αποτελεσματικότητα στην διαχείριση ενός γεωργικού συστήματος, εξαρτάται πρώτα απόλα από την ικανότητα των παραγωγών να αντιληφθούν και να ελέγξουν την συνολική συμπεριφορά του συστήματος παραγωγής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tognoni F. and Serra G., 1982. Biological aspects of energy savings in protected cultivation. Acta Horticulturae, 220: 17-20.
2. Baille A., 1995. Serres plastiques, climat et production. PHM-Revue Horticole, 357 : 15-19.
3. Castilla N., Lopez Galvez J., 1994. Vegetable responses in improved low-plastic greenhouses. J. Hortic. Science, 69 (5), 915-21
4. Castilla N., 1994. Greenhouses in the Mediterranean area: technological level and strategic management. Acta Horticulturae, 361, 44-56.
5. Challa H., Bot G. P. A., Nederhoff E. M. and van de Braak N. J., 1988. Greenhouse climate control in the nineties. Acta Horticulturae, 230: 459-70.
6. Baille A., 1989. Greenhouse microclimate and its management in mild winter climates. Acta Horticulturae, 246: 23-36.
7. Boulard T. and Baille A., 1987. Analysis of thermal performances of greenhouse as solar collector. Energy in Agriculture., 5 : 175-84.

8. Boulard T. and Baille A., 1993. A simple greenhouse climate control model incorporating effects of aeration and evaporative cooling. *Agric. Forest Meteorol.*, 65 : 145-57.
9. Landsberg J. J., White B. and Thorpe M. R., 1979. Computer analysis of the efficiency of evaporative cooling for glasshouse in a high energy environment. *J. agric. Engng. Res.*, 2 : 29-39. 1979
10. Bakker J. C., 1986. Measurement of canopy transpiration or evapotranspiration in greenhouses by means of a simple vapour balance model. *Agric. Forest Meteorol.*, 37 : 133-41.
11. Monteith J. L., 1973. *Principles of environmental Physics*. Arnold Ed., London, 241 pp.
12. Stanghellini C., 1987. *Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management*. Ph. D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen, 150pp.
13. Hsiao T. C., 1990. Plant atmosphere interactions, evapotranspiration and irrigation scheduling. *Acta Horticulturæ*, 278 : 55-66.
14. Boulard T., 1996. *Caracterisation et modelisation du climat des serres. Application a la climatisation estivale*. PhD. thesis, ENSA Montpellier, France, 121pp.
15. von Zabeltitz C., 1988. Greenhouse design for warmer climates. *Plasticulture*, 80, 4, 39-50
16. Abou-Adid A. F., El-Beltagy A. S., Mohamedien S. A., Saleh M. M. and Medany M. A., 1995. Options for simple greenhouse heating. *Acta Horticulturæ*, 399: 87-93.
17. Graffiadellis M., 1986. Development of a passive solar system for heating greenhouses. *Acta Horticulturæ*, 191: 245-52.
18. Fernandez J. E. and Bailey B. J., 1994. The influence of fans on environmental conditions in greenhouses. *J. agric. Engng. Res.*, 58: 201-210.
19. Kittas C., Draoui B. and Boulard T., 1995. Quantification du taux d'aeration d'une serre a ouvrant continu en toiture. *Agric. Forest Meteorology*, 69: 205-221.
20. Brun R. and Lagier J., 1985. A new greenhouse structure adapted to the mediterranean growing conditions. *Acta Horticulturæ*, 170: 34-46.
21. Montero J. I. and Sevilla A., 1992. Innovative greenhouse design for warm summer climates. *Proceedings of the European Seminar "Thermie"*, Heraklion, Greece, 12-14 Nov. 1992.
22. Montero J. I., Anton A., Beil C. and Franquet A., 1990. Cooling of greenhouses with compressed air fogging nozzles. *Acta Horticulturæ*, 281: 199-209.
23. Cockshull K. E., Graves C. J. and Cave C. R. J., 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Science*, 67: 1-24.
24. Assaf G., Doron B. and Yogen M., 1988. Applications of latent heat converters in horticulture. *ISHS Internal Symposium*, Cambridge, 4-8 sept. 1988
25. Bellamy B. A. and Kimball B. A., 1986. CO₂ duration and heating credit as determined by climate. In "Carbon Dioxide Enrichment of Greenhouse Crops", Vol. II : 167-97.

4η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ- ΑΠΟΒΛΗΤΑ-ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΑ

Προεδρείο: Δ. Γεωργακάκης, Γ. Λαμπρινός

Συγγραφείς: Γ. Νάνος

Δ. Μπρόπουλος, Γ. Λαμπρινός

Ν. Χουλιάρης, Θ. Γέμτος, Ι. Δουλουδής

ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΘΑΡΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Γεώργιος Δ. Νάνος

*Εργ. Δενδροκομίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεταφορά φθαρτών αγροτικών προϊόντων (κύρια νωπών οπωροκηπευτικών) από και προς την Ευρώπη γίνεται οδικά με αυτοκίνητα-ψυγεία. Τα προβλήματα, μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των αυτοκινήτων-ψυγείων και σημεία που πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή συζητούνται αναλυτικά. Η σιδηροδρομική μεταφορά νωπών οπωροκηπευτικών προς την Ευρωπαϊκή Ένωση έχει σταματήσει, αλλά επιχειρείται η χρήση των σιδηροδρόμων για τη μεταφορά αγροτικών προϊόντων προς την Ανατολική Ευρώπη. Τα ψυχόμενα containers χρησιμοποιούνται εκτενώς στις διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές και λιγότερο στις χερσαίες, ενώ η χρήση τους επεκτείνεται και στην Ελλάδα. Τέλος, η εναέρια μεταφορά νωπών φθαρτών προϊόντων υψηλής οικονομικής αξίας χρησιμοποιείται, όπου είναι εφικτή και οικονομικά συμφέρουσα.

TRANSPORTATION OF GREEK PERISHABLE AGRICULTURAL PRODUCTS

George D. Nanos

Lab. of Pomology, Dept of Agriculture, Univ. of Thessaly, 38334 Volos

ABSTRACT

Refrigerated trucks are mainly used for the transportation of perishable agricultural products (mainly fresh fruits and vegetables) in Europe. Important factors on their use and efficacy are thoroughly discussed. Transportation of Greek perishables by railway to Eastern Europe is currently exploited. Refrigerated containers are extensively used for sea transportation throughout the world, as the cheapest and safest way of transportation. These containers are also used for land transportation. Finally, air transportation of high value perishables is used whenever economical and feasible.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τόπος παραγωγής των περισσότερων τροφίμων ή και πρώτων υλών τους συχνά απέχει σημαντικά από τις κύριες περιοχές κατανάλωσης με αποτέλεσμα την ανάγκη μεταφοράς των αγαθών αυτών για μικρές ή μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, η απελευθέρωση του διεθνούς εμπορίου ήταν και είχε σαν αποτέλεσμα την ευρύτατη χρήση των μέσων μεταφοράς για τη μετακίνηση τροφίμων.

Βασικά προϊόντα, όπως το καλαμπόκι, σιτάρι και οι επεξεργασμένες μορφές τους, είναι ελάχιστα φθαρτά, γι' αυτό και οι συνθήκες και μέσα μεταφοράς είναι σχετικά απλά. Το ίδιο ισχύει και για τα κονσερβοποιημένα τρόφιμα τα οποία αρκεί να βρίσκονται κατά την αποθήκευση και μεταφορά τους σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο παγώματος και κάτω από ένα ανώτατο όριο όπου θα μπορούσαν να αλλοιωθούν (1). Τα κατεψυγμένα προϊόντα αρκεί να συντηρούνται

στους -18°C ή και πιο χαμηλά για να διατηρήσουν την ποιότητά τους για μακρύ χρονικό διάστημα. Τέλος, νωπά κρέατα, ψάρια και τυριά συντηρούνται στους 0°C και 90-95% Σ.Υ. χωρίς άλλες ιδιαίτερες συνθήκες για κάθε είδος, ενώ συχνά η απουσία οξυγόνου στη συσκευασία βελτιώνει τη συντηρησιμότητα (1).

Αντίθετα, τα νωπά οπωροκηπευτικά και ανθοκομικά προϊόντα είναι υψηλής οικονομικής αξίας, η κατανάλωση τους αυξάνεται συνεχώς σε όλο τον κόσμο με απαιτήσεις για υψηλή ποιότητα και αύξηση της ποικιλίας των προσφερόμενων ειδών. Τα ανωτέρω προϊόντα είναι ιδιαίτερα ευπαθή από τη στιγμή της συγκομιδής έως την κατανάλωση, που ίσως γίνει μήνες μετά ή και χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά. Περιέχουν συνήθως υψηλό ποσοστό νερού, το οποίο σε συνθήκες χαμηλής σχετικής υγρασίας (ακόμα και 90%) διαπνέεται στην ατμόσφαιρα χωρίς δυνατότητα συνήθως επαναπροσρόφησης με αποτέλεσμα τη μείωση του πωλούμενου βάρους καθώς και της ποιότητας. Τα προϊόντα αυτά είναι ζωντανά, επομένως αναπνέουν, πολλές φορές με ταχύ ρυθμό, με αποτέλεσμα την παραγωγή θερμότητας και CO_2 και κατανάλωση O_2 . Επιπλέον, είναι ευαίσθητα στην παρουσία αιθυλενίου, μωλωπίζονται και υποβαθμίζονται ποιοτικά εύκολα με κακό χειρισμό και τέλος είναι ευπαθή στους μικροοργανισμούς και μη παρασιτικές ασθένειες (2). Εξαιτίας των ανωτέρω 10-30% των παραγόμενων νωπών προϊόντων καταστρέφεται πριν να φτάσει τον καταναλωτή. Πολλές φορές 5% των απωλειών αυτών συντελείται κατά τη μεταφορά τους.

ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΩΠΩΝ ΟΠΩΡΟΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Τα προϊόντα μεταφέρονται από τον τόπο παραγωγής στον τόπο συσκευασίας ή συντήρησης εντός της χώρας ή και από τον τόπο συσκευασίας ή συντήρησης τους στα κύρια αστικά κέντρα της χώρας, απόσταση συχνά εκατοντάδων χιλιομέτρων. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία τα νωπά προϊόντα μεταφέρονται με ανοικτά φορτηγά και, για σύντομες διαδρομές, με τρακτέρ ή αγροτικά οχήματα, ενώ ήδη μερικές εταιρείες χρησιμοποιούν κλειστά ψυχόμενα φορτηγά για αυτές τις μεταφορές. Αν λάβουμε υπ' όψιν ότι στη χώρα μας η θερμοκρασία είναι συχνά αρκετά υψηλή και η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας πολύ χαμηλή, μεταφορά ιδιαίτερα φθαρτών προϊόντων, όπως το μαρούλι ή το μπρόκολο, με ανοικτό φορτηγό προκαλεί σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας. Βερούκκα που συγκομίστηκαν στην Κορινθία και μεταφέρθηκαν σε συσκευαστήρια της Βέροιας με ανοικτά φορτηγά μέσα σε 20 ώρες από τη συγκομιδή τους έχασαν πάνω από 4% βάρους (3). Οι περισσότεροι καρποί εμφανίζουν συρρίκνωση και υποβάθμιση της ποιότητας, όταν οι απώλειες βάρους ξεπεράσουν το 5%, πέραν των απωλειών στο πωλούμενο βάρος.

Επίσης, η διάρκεια μεταφοράς εντός της Ελλάδας είναι μεγάλη λόγω του υποβαθμισμένου εθνικού οδικού δικτύου με αποτέλεσμα την καθυστέρηση πώλησης ή συσκευασίας του προϊόντος, την καταπόνηση του αλλά και την αύξηση του κόστους μεταφοράς. Η βελτίωση του εθνικού οδικού δικτύου αλλά και των τοπικών αγροτικών δρόμων και η επιμόρφωση και ευαισθητοποίηση των εμπλεκόμενων φορέων σε θέματα μεταχείρισης των προϊόντων θα είχε σημαντικά θετικά αποτελέσματα στη διατήρηση της ποιότητας των Ελληνικών οπωροκηπευτικών.

ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΩΠΩΝ ΟΠΩΡΟΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τα Ελληνικά οπωροκηπευτικά χαρακτηρίζονται από άριστη ποιότητα κατά τη συγκομιδή αλλά, λόγω ελλειπών μετασυλλεκτικών χειρισμών κύρια στους τομείς των μεταφορών, τυποποίησης-συσκευασίας και εμπορίας, οι εξαγωγές μειώνονται, ενώ η Ελληνική παραγωγή αυξάνεται ή θα μπορούσε να αυξηθεί, ιδιαίτερα στους τομείς της δένδροκομίας και λαχανοκομίας και λιγότερο

της ανθοκομίας πάντα όμως με σωστό προγραμματισμό. Ο προγραμματισμός αυτός θα περιελάμβανε και τον σημαντικό τομέα των μεταφορών προς τις χώρες εισαγωγής των Ελληνικών προϊόντων.

Αντίθετα η καλή οργάνωση και υποδομή σε μεταφορικά μέσα χωρών του Νοτίου Ημισφαιρίου και Αμερικής είχε σαν αποτέλεσμα να κατακλυσθούν οι αγορές της Ευρώπης και της Ελλάδας με ανταγωνιστικά προϊόντα από χώρες παραγωγής που δεν θα ήταν δυνατό να φτάσουν πριν από 20 έτη. Να αναφερθούν μήλα από τη Νότια Αφρική, ακτινίδια από τη Ν. Ζηλανδία και σκόρδα από την Κίνα.

Μεταφορά νωπών οπωροκηπευτικών με τραίνα

Οι σημαντικές εξαγόμενες ποσότητες Ελληνικών αγροτικών προϊόντων τις δεκαετίες του '70 και '80 έγιναν πραγματικότητα με τη βοήθεια των σιδηροδρόμων. Ο Ο.Σ.Ε. με εκμισθωμένα ψυχόμενα βαγόνια της εταιρείας Interfrigo είχε αναλάβει τον μεγαλύτερο όγκο των εξαγωγών νωπών οπωροκηπευτικών και λόγω του συναγωνισμού με τα φορητά-ψυγεία, και του σύντομου χρόνου μεταφοράς μέσω Γιουγκοσλαβίας και Αυστρίας στην αγορά κύρια του Μονάχου, τα κόμιστρα ήταν σχετικά χαμηλά.

Οι σιδηροδρομικές μεταφορές προσφέρουν ποικίλα πλεονεκτήματα, όπως μαζικότητα μεταφορών, φερεγγυότητα, ασφαλή μεταφορά και σταθερό κόσμιστρο, αλλά και μειονεκτήματα όπως η μικρή ευελιξία στους χώρους φόρτωσης και εκφόρτωσης. Μετά την πολυδιάσπαση της Γιουγκοσλαβίας, οι μεταφορές με τραίνα σταμάτησαν και οι εξαγωγές Ελληνικών οπωροκηπευτικών προς την Ευρωπαϊκή Ένωση γίνονται πια με φορητά-ψυγεία μέσω Ιταλίας.

Μελέτες που διενεργήθηκαν από το προσωπικό του Εργαστηρίου Δενδροκομίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κατέληξαν ότι η διάρκεια διακίνησης των Ελληνικών ροδακίνων σιδηροδρομικά από τη συγκομιδή έως τη διάθεση τους στον χονδρέμπορα ήταν για συσκευασία, πρόψυξη και φόρτωση 2,3 ημέρες, για τη μεταφορά στο Μόναχο 3,5 ημέρες και παρामीση στην κεντρική λαχαναγορά έως τη διάθεση 0,8 ημέρες (4). Για τα Ελληνικά βερίκοκα οι αντίστοιχες τιμές ήταν 3,5 ημέρες, 2 και 2,5 ημέρες (3). Χρησιμοποιούνταν δύο τύποι βαγονιών Interfrigo με διαφορετική ικανότητα ψύξης. Κατά τις μεταφορές ροδακίνων στα αυτόψυκτα βαγόνια αιολικού αερισμού η κίνηση του ψυχρού αέρα μέσω των παγοκυψελών γίνονταν μόνο όταν κινούνταν ο συρμός, γι' αυτό η μέση θερμοκρασία κατά τη μεταφορά σε 3 βαγόνια αυτού του τύπου ήταν υψηλή (Μ.Ο. 7,5°C) (4). Αντίθετα βαγόνια ηλεκτρικού αερισμού, στα οποία μέσω πετρελαιομηχανής δίνονταν κίνηση σε ηλεκτρικούς ανεμιστήρες με αποτέλεσμα τη συνεχή βεβιασμένη ανάδευση του αέρα μέσω των παγοκυψελών και του φορτίου, η μέση θερμοκρασία σε 3 βαγόνια ήταν ικανοποιητική (Μ.Ο. 3,9°C). Σαν αποτέλεσμα αυτής της μελέτης ήταν η διακοπή χρήσης των βαγονιών αιολικού αερισμού για τα υπόλοιπα έτη έως την έναρξη των αναταραχών στη Γιουγκοσλαβία.

Ο Ο.Σ.Ε. προσπαθεί να αναπτύξει τις σιδηροδρομικές μεταφορές νωπών οπωροκηπευτικών προς τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης (Ιωάν. Ρήγας, Αναπλ. Γενικός Διευθυντής Ο.Σ.Ε., προσωπική επικοινωνία). Τα εμπόδια που υπάρχουν είναι η συμφωνία όλων των χωρών από τις οποίες θα διέρχεται ο συρμός σε δασμούς και ποσότητες (συμφωνία που τελικά αποδεικνύεται πολύ επίπονη) και το μεγαλύτερο πλάτος των σιδηροδρομικών γραμμών στις χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, το οποίο έχει σχεδόν επιλυθεί. Εναλλακτικές λύσεις στη χρήση ψυχόμενων βαγονιών προτείνονται η χρήση ψυχόμενων containers πάνω σε βαγόνια-πλατφόρμες και μετα-

φόρτωση τους σε άλλα με πλατιά φορεία (τροχούς) στα σύνορα της Μολδαβίας. Ακόμα μελετάται η μεταφορά σιδηροδρομικά ως το λιμάνι του Βόλου, θαλάσσια χωρίς μεταφόρτωση έως την Οδησό της Ουκρανίας και από εκεί με αλλαγή σε πλατιά φορεία σε όλη τη Ρωσία.

Οι σιδηροδρομικές μεταφορές νωπών οπωροκηπευτικών παρουσιάζουν ενδιαφέρον κύρια για τις μεταφορές προς την Ανατολική Ευρώπη και είναι πιθανό στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν ευρύτερα στις μεταφορές από και προς αυτές τις χώρες.

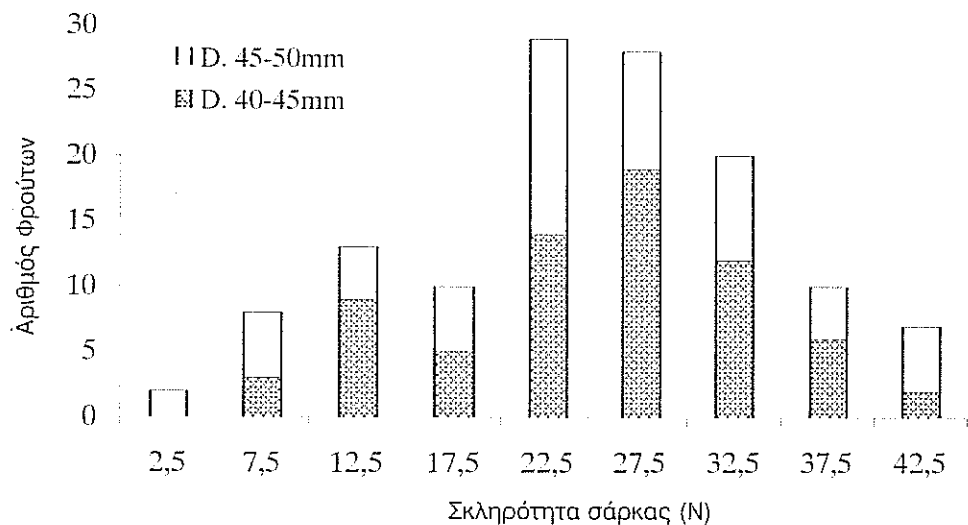
Μεταφορά νωπών οπωροκηπευτικών με αυτοκίνητα-ψυγεία

Η μεταφορά των νωπών οπωροκηπευτικών και κατεψυγμένων προϊόντων από την Ελλάδα προς την Ευρώπη και αντίστροφα γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με αυτοκίνητα-ψυγεία. Πλεονεκτήματα τους είναι η μεγάλη ευελιξία στο χώρο φόρτωσης και εκφόρτωσης και η ταχύτητα μεταφοράς. Μειονεκτήματα υπάρχουν με σοβαρότερο τη διαθεσιμότητα οχημάτων. Έτσι τα τέλη Ιουλίου, όταν αρχίζουν οι εξαγωγές πρώιμων σταφυλιών, τα κόμιστρα αυξάνονται σημαντικά με αποτέλεσμα να είναι ασύμφορη η συνέχιση των εξαγωγών ροδακίνων και καρπουζιών, την περίοδο που έχουμε τη μέγιστη παραγωγή τους, με εμφανή τα αρνητικά αποτελέσματα στην οικονομία.

Η μελέτη των συνθηκών διακίνησης των Ελληνικών ροδακίνων με αυτοκίνητα-ψυγεία από την επιστημονική ομάδα του Α. Π. Θ. που αναφέρθηκε ανωτέρω έδειξε ότι τα αυτοκίνητα-ψυγεία διατηρούν ικανοποιητική θερμοκρασία σαν μέσο όρο 6 αυτοκινήτων (4°C), αλλά η παραλλακτικότητα μεταξύ των οχημάτων ήταν τεράστια (5). Η παραλλακτικότητα μεταξύ οχημάτων αλλά και θέσεων σε κάθε όχημα ήταν σημαντική και σε φορτία παραγωγής από την Ελλάδα στο Μόναχο (6) και μαρουλιού Iceberg από την Καλιφόρνια στις Ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (διάρκεια ταξιδιού παρόμοια με τη διάρκεια των μεταφορών Ελληνικών προϊόντων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης) (7). Η διατήρηση της άριστης θερμοκρασίας στο φορτίο επαφίεται στη θέληση του οδηγού, στην καλή λειτουργία και ρύθμιση του ψυκτικού μηχανήματος, στον τύπο κατασκευής του ψυγόμενου χώρου, και στη θερμοκρασία, μέσο συσκευασίας και τρόπο φόρτωσης του προϊόντος (8, 9). Ο οδηγός συχνά δεν έχει προψύξει το ψυγείο στην επιθυμητή θερμοκρασία πριν τη φόρτωση και δεν θέτει σε λειτουργία το ψυκτικό μηχανήμα σε τμήματα του ταξιδιού για οικονομία καυσίμου ή στο ferry boat προς την Ιταλία λόγω απαγορεύσεως. Το ψυκτικό μηχανήμα πρέπει να ελέγχεται και ο θερμοστάτης να ρυθμίζεται ανάλογα με το προϊόν που θα μεταφερθεί αλλά και τη θέση του αισθητήρα μέσα στο ψυγείο. Ρωγμές στα μονωτικά τοιχώματα και κύρια απώλειες από τις πόρτες αποτελούν εισόδους θερμότητας και μείωσης της αποτελεσματικότητας του ψυκτικού μηχανήματος.

Πολλά ψυγεία έχουν επίπεδους τοίχους και λιγότερο από 2,5 cm αυλακώσεις στο δάπεδο. Σε τέτοια ψυγεία χρειάζεται μεγάλη προσοχή στη φόρτωση ώστε να αφεθούν κενά για την απρόσκοπτη κίνηση του αέρα περιμετρικά στο φορτίο, πρακτική που συνήθως δεν ακολουθείται με αποτέλεσμα την ελλιπή κίνηση του αέρα και μεταφορά θερμότητας από έξω έως το προϊόν.

Επίσης σημαντικοί παράγοντες στη διατήρηση της άριστης θερμοκρασίας κατά τη μεταφορά είναι η θερμοκρασία του προϊόντος κατά τη φόρτωση, ο τύπος της συσκευασίας (οπές, πλαστικές επενδύσεις) και ο τρόπος που φορτώνεται το προϊόν. Η πρόψυξη νωπών οπωροκηπευτικών στην άριστη θερμοκρασία μεταφοράς είναι ανυπερβλήτης σημασίας πρακτική και πρέπει να ακολουθείται από όλους. Δυστυχώς, ιδιαίτερα τις περιόδους αιχμής ούτε κατάλληλες ούτε αρκετές εγκαταστάσεις υπάρχουν, ούτε και ο κατάλληλος προγραμματισμός για να επιτευχθεί σωστή πρόψυξη. Ο τρόπος φόρτωσης παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην κίνηση του ψυχρού αέρα μέ-



ΣΧΗΜΑ 1: Κατανομή βερίκοκων ανάλογα με τη σκληρότητα της σάρκας τους προερχόμενα από τρία φορτία βερίκοκων τυποποιημένα και συσκευασμένα στον ίδιο εξαγωγέα αυθιμερόν. Καρποί διαμέτρου 40-45mm είχαν Μ.Ο. σκληρότητας σάρκας 24,3N και διαμέτρου 45-50mm 24,8N (3).

σα στο ψυγείο. Πρόσφατα όλα σχεδόν τα προϊόντα μετακινούνται με συσκευασίες τοποθετημένες σε παλέτες με κατάλληλη ακινητοποίηση (δίχτυα, πλαστικά φύλλα, τσέρκια). Οι παλέτες έχουν κατάλληλες διαστάσεις (0,8*1 m ή 1*1,2 m) για το ευχερές στοίβαγμα ποικιλίας συσκευασιών, αλλά καταλαμβάνουν όλο σχεδόν το πλάτος του ψυγείου χωρίς να αφήνουν κενά. Η κατάλληλη κατεύθυνση τοποθέτησης της παλέτας μπορεί να δημιουργήσει κενά κανάλια μετακίνησης ψυχρού αέρα και πιο ομοιογενή θερμοκρασία προϊόντος σε όλο το φορτίο αλλά και μείωση του φορτίου κάθε οχήματος έως και 10%. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας κατά τη μεταφορά γίνεται με καταγραφική συσκευή του ψυκτικού μηχανήματος αλλά, αν επιθυμεί ο εξαγωγέας, και φορητή μιας χρήσης τοποθετημένη σε κατάλληλη θέση του φορτίου. Με αυτό τον τρόπο ο εξαγωγέας θα μπορούσε να διενεργήσει κατάλληλο εγκεκριμένο ποιοτικό έλεγχο πριν τη φόρτωση και γνωρίζοντας τις συνθήκες μεταφοράς να αναζητήσει ευθύνες για τυχόν ποιοτική υποβάθμιση και αντίστοιχη οικονομική ζημιά.

Συνήθως δεν γίνεται έλεγχος της σχετικής υγρασίας μέσα στο αυτοκίνητο-ψυγείο, γι' αυτό ευπαθή στην απώλεια νερού προϊόντα πρέπει να μεταφέρονται σε συσκευασίες ώστε να παρεμποδίζεται η έντονη διαπνοή (συνήθως με διάτρητα πλαστικά φύλλα). Ενώ κάποια πολύ ευαίσθητα προϊόντα (μπρόκολο, φασολάκι, φρέσκο καλαμπόκι) μπορούν να μεταφερθούν μέσα σε τριμμένο πάγο.

Η αρχική ποιότητα του προϊόντος που πρόκειται να μεταφερθεί σε μακρινές αγορές καθορίζει σε σημαντικό βαθμό και την ποιότητα του προϊόντος μετά τη μεταφορά. Η ύπαρξη αρχικά ανώριμων και αρκετά ώριμων καρπών (κακή τυποποίηση) θα αμβλυνθεί μετά τη μεταφορά (Σχεδ. 1) ιδιαίτερα σε όχι άριστες συνθήκες μεταφοράς. Οι πολύ ανώριμοι καρποί σε μερικά είδη δεν θα ωριμάσουν σε καλή ποιότητα και οι υπερώριμοι καρποί δεν θα φτάσουν τον καταναλωτή λόγω μωλωπισμών και προσβολής από ζυμωτογαμικές ασθένειες.

Η κυριότερη υποβάθμιση του προϊόντος κατά τη μεταφορά είναι συνήθως λόγω μολωπισμών που υφίσταται το προϊόν. Και εδώ η συσκευασία αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα, αλλά ο τρόπος φόρτωσης, η κατάσταση του οδικού δικτύου και κύρια η ανάρτηση του οχήματος και τρόπος οδήγησης θα επηρεάσουν την έκταση των ζημιών. Ο τρόπος συσκευασίας (χίδην, σε σειρές ή σε θήκες), η ανθεκτικότητα της συσκευασίας στην πίεση, ο τρόπος φόρτωσης των συσκευασιών πάνω στις παλέτες και μετακίνησης των παλετών, η απότομη οδήγηση και τα σκληρά ελατηριωτά συστήματα ανάρτησης των οχημάτων μπορεί να καταλήξουν σε παραμορφωμένες συσκευασίες και απώλειες καρπών από μολωπισμούς. Η πρόσφατη έρευνα εστιάζεται στην ανάλυση των συχνοτήτων ταλάντωσης και εύρεση αυτών που είναι περισσότερο ζημιογόνες με τη βοήθεια προσομοιωτών ταλάντωσης. Βρέθηκε ότι για σταφύλια και φράουλες οι συχνότητες μεταξύ 5 και 10 Hz προκαλούν τη μεγαλύτερη ζημιά και οι πάνω συσκευασίες σε κάθε παλέτα δέχονται τις περισσότερες από αυτές τις ταλαντώσεις ενώ οι καρποί σε αυτές ζημιώνονται περισσότερο (10). Σε πραγματικές συνθήκες μεταφοράς με αχλάδια, κεράσια, νεκταρίνια και τομάτες βρέθηκε ότι αυτοκίνητα-ψυγεία με ελατηριωτό σύστημα ανάρτησης συχνά παράγουν συχνότητες ταλάντωσης στα 3,5 Hz και 9, 18 και 25 Hz. Όταν τα αυτοκίνητα-ψυγεία εφοδιάστηκαν με σύστημα ανάρτησης με αέρα, οι συχνότητες ταλάντωσης περιορίστηκαν κοντά στα 3,5 Hz (11).

Για την ποσοτικοποίηση των χτυπημάτων και συμπιέσεων στα διάφορα στάδια της μετασυλλεγτικής μεταχείρισης τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται ένα φορητό όργανο-σφαίρα (Instrumental Sphere). Με μινιατούρες ηλεκτρονικά μέρη χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία 15 διαμέτρου 89 mm αλλά και μικρότερη μονάδα (διαμέτρου 38 mm) να προσομοιάζουν τον όγκο και βάρους του κάθε προϊόντος (12). Αυτές είναι ανεξάρτητες μονάδες οι οποίες ποσοτικοποιούν χτυπήματα πάνω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι με ένα επιταχυνσιόμετρο τριών διαστάσεων και τα αποθηκεύουν στη μνήμη.

Το προϊόν μπορεί ακόμη να υποβαθμιστεί ποιοτικά όταν το μεταφορικό μέσο έχει ελλιπή καθαριότητα. Πολλά προϊόντα μπορούν να απορροφήσουν οσμές που προέρχονται από υπολείμματα των προηγούμενων προϊόντων (αρωματικά λαχανικά, πατάτες, κρεμμύδια, μερικά κρέατα). Ασθένειες συχνά από αποσυντιθέμενα υλικά μεταδίδονται εύκολα στο φορτίο και προκαλούν εκτεταμένη υποβάθμιση της ποιότητας.

Όλο και πιο συχνά γίνονται μεταφορές από και προς την Ελλάδα μικτών φορτίων φρούτων και λαχανικών για αλυσίδες ή μεμονωμένα super markets. Ο τρόπος αυτός μεταφοράς απαιτεί οργάνωση στο χώρο φόρτωσης (διαφορετικά προϊόντα, λίγος χρόνος, διαφορετικές συσκευασίες), αλλά και κατάλληλες γνώσεις των αναγκών κάθε προϊόντος ώστε μόνο συμβατά προϊόντα να στέλνονται με ένα φορτίο (Πίνακας 1). Ο Πίνακας 1 ισχύει για μεταφορές διάρκειας μέχρι 5 ημέρες, δηλαδή αρκετό χρόνο για μεταφορές εντός της Ευρώπης, αλλά είναι ακατάλληλος για μακράς διάρκειας μεταφορές. Τέλος, προϊόντα που παράγουν ή απορροφούν οσμές και δεν πρέπει να συντηρούνται ή μεταφέρονται μαζί φαίνονται στον Πίνακα 2.

Συμπερασματικά τα νέα οχήματα πρέπει να είναι κατασκευασμένα με ανλακώσεις βάθους περίπου 2 cm στους πλαϊνούς τοίχους και 7,5 cm στο δάπεδο με σχήμα T για την εύκολη μετακίνηση των παλετών. Τα οχήματα να είναι καθαρά πριν τη φόρτωση, να έχουν ψυχθεί κατάλληλα και το ψυκτικό μηχανήμα να βρίσκεται σε καλή λειτουργία και σωστά ρυθμισμένο. Το προϊόν να είναι καλά τυποποιημένο, συσκευασμένο και παλεταρισμένο κατάλληλα για αποφυγή ζημιών στα προϊόντα, να είναι προψυγμένο και να φορτώνεται στο αυτοκίνητο-ψυγείο με προσοχή και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η κίνηση του αέρα με τους ανεμιστήρες του ψυκτικού μηχανήματος να γίνεται απρόσκοπτα με κενά τουλάχιστον περιμετρικά του φορτίου και αδιάκοπα ακόμα και όταν δεν απαιτείται η χρήση ψύξης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Ομάδες οπωροκηπευτικών που συνδυάζονται για τη σύντομη μεταφορά τους (έως 5 ημέρες) και οι συνιστώμενες συνθήκες μεταφοράς (13).

0-2° C, 90-98% Σ.Υ.	7-10° C, 85-95% Σ.Υ.	16-18° C, 85-95% Σ.Υ.
<i>Λαχανικά και πεπονοειδή</i> Αρωματικά φυλλώδη λαχανικά, διάφορα φυλλώδη λαχανικά*, αγνανάρα, σπαράγγι*, παντζάρι, μπρόκολο*, λάχανο*, καρτό*, κουνουπίδι*, σκόρδο, πράσο*, μανιτάρι*, ραπανάκι.	Φασολάκια, αγγούρι, μελιτζάνα*, μπάμια*, πιπεριά, κολοκυθάκι, καρπούζι*.	Πεπόνια, ξηρά κρεμμύδια, πατάτες, τομάτα.
<i>Φρούτα</i> Μήλο, βερίκοκο, ώριμο αβοκάντο, κεράσι, νωπό σύκο, σταφύλι, ακτινίδιο*, ροδάκινο και νεκταρίνι, αχλάδι, λωτός*, δαμάσκηνο, κυδώνι, φράουλα, σμέουρο.	Ανώριμο αβοκάντο, εσπεριδοειδή, ελιά, ανανάς, ρόδι, λίτσε, γκουάβα, καραμπόλα.	Μπανάνα, μάνγκο, παπάγια, τσιριμόγια, ινδική καρύδα, άλλα τροπικά.

* Προϊόντα ευαίσθητα στο αιθυλένιο, στα φορτία να διατηρείται < 1 ppm αιθυλένιο.

Μεταφορά νωπών οπωροκηπευτικών με containers

Τα containers είναι ανεξάρτητες μονάδες για την εύκολη και ασφαλή μεταφορά αγαθών συνήθως σε μεγάλες αποστάσεις. Containers κατάλληλα μονωμένα και εφοδιασμένα με ψυκτικό μηχανήματα χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για υπερπόντιες μεταφορές αλλά συχνά και οδικά πάνω σε φορτηγά-πλατφόρμες. Τα ψυχόμενα containers άρχισαν να χρησιμοποιούνται και στην Ελλάδα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι αυτά που περιγράφηκαν στα νέας τεχνολογίας αυτοκίνητα-ψυγεία. Το ψυκτικό μηχανήματα χρησιμοποιεί ενέργεια κατά την οδική ή σιδηροδρομική του μεταφορά από ειδική φορητή πετρελαιομηχανή. Κατά την παραμονή στο λιμάνι και μετά τη φόρτωση πάνω στο κατάστρωμα πλοίου ή πιο ψηλά συνδέεται με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η μεγάλη ευελιξία των containers, η άριστη ποιότητα κατασκευής και η ικανότητα ενοικίασης μόνο και όταν τα χρειάζεται κάποιος αποτελούν πλεονεκτήματα που συνετέλεσαν στη ραγδαία ανάπτυξη των μεταφορών νωπών οπωροκηπευτικών σε μακρινές αγορές. Τα σύγχρονα ψυχόμενα containers έχουν τη δυνατότητα με πλαστική κουρτίνα σε κατάλληλη υποδοχή περιμετρικά της πόρτας να γίνουν θάλαμοι τροποποιημένης ατμόσφαιρας με την προσθήκη CO₂ ή και N₂ στο φορτίο. Τέλος με την εισαγωγή ελάχιστης ποσότητας αιθυλενίου και ρύθμιση της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας επιτυγχάνεται επιθυμητή ωρίμανση κάποιων προϊόντων κατά τη μεταφορά, όπως συμβαίνει κατά τη μεταφορά ακτινιδίων από τη Ν. Ζηλανδία στην Ευρώπη με σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Λόγω των πλεονεκτημάτων που διαθέτουν τα containers θα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για μεταφορά προϊόντων αλλά και νωπών οπωροκηπευτικών. Απαιτείται όμως κατάλληλη υποδομή σε λιμάνια, πλοία, ικανός αριθμός από φορτηγά-πλατφόρμες και τραίνα-πλατφόρμες και κατάλληλη οργάνωση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Ασυμβίβαστα προϊόντα κατά τη μεταφορά λόγω παραγωγής ή απορρόφησης οσμίων (8).

Οσμή που παράγεται από	Θα απορροφηθεί από
μήλα	λάχανα, καρότα, σέλινο, κρεμμύδια, κρέας, αυγά, γαλακτοκομικά προϊόντα
καρότα	σέλινο
εσπεριδοειδή	κρέας, αυγά, γαλακτοκομικά προϊόντα
σταφύλια υποκαπνισμένα με SO ₂	άλλα φρούτα και λαχανικά
ξηρά κρεμμύδια	μήλα, σέλινο, αχλάδια
αχλάδια	λάχανα, καρότα, σέλινο, κρεμμύδια, πατάτες
πατάτες	μήλα, αχλάδια
λαχανικά με δυνατή οσμή	εσπεριδοειδή

Μεταφορά νωπών οπωροκηπευτικών με πλοία

Η μεταφορά προϊόντων με πλοίο αποτελεί τον οικονομικότερο τρόπο διακίνησης. Πολλά οπωροκηπευτικά μετακινούνται υπερπόντια με πλοία προς τις μεγάλες αγορές της Βόρειας Αμερικής, Ευρώπης και Ιαπωνίας. Μέχρι πριν μερικά έτη τα προϊόντα φορτώνονταν είτε σαν ατομικές συσκευασίες είτε παλεταρισμένα στα αμπάρια χωρίς ικανοποιητικό έλεγχο των συνθηκών περιβάλλοντος κατά τη μεταφορά. Ελληνικά πορτοκάλια που μεταφέρονται στην Οδησό με καράβια φορτώνονται ακόμα με αυτό τον τρόπο. Τα τελευταία όμως χρόνια η χρήση των containers αποτελεί τον κανόνα στις θαλάσσιες μεταφορές και ειδικά πλοία μεταφέρουν τεράστιο αριθμό containers σε μεγάλες αποστάσεις, με αποτέλεσμα τη ραγδαία ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου νωπών οπωροκηπευτικών. Τα ειδικά αυτά πλοία έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης σε κάθε ψυχόμενο container το οποίο τροφοδοτούν με ηλεκτρικό ρεύμα (για τη λειτουργία του ψυκτικού του μηχανήματος), με ψυχρό αέρα (για την ψύξη, αν δεν είναι εφοδιασμένο με ψυκτικό μηχάνημα), με κατάλληλα αέρια (CO₂, N₂, αιθυλένιο), ενώ ελέγχονται και τυχόν τροποποιήσεις γίνονται εύκολα με ηλεκτρονικά μέσα. Ήδη Ελληνικά προϊόντα άρχισαν να εξάγονται με αυτό τον τρόπο (π.χ. μήλα του Αγροτ. Συνεταιρισμού Ζαγοράς προς το Ισραήλ) με άριστα αποτελέσματα.

Μεταφορά νωπών οπωροκηπευτικών με αεροπλάνο

Το αεροπλάνο είναι το ταχύτερο μεταφορικό μέσο αλλά και το ακριβότερο. Μικρά φορτία νωπών ευαίσθητων προϊόντων υψηλής αξίας (π.χ. φρούτες εκτός εποχής, υπερπρώιμα κεράσια, πρώιμα σιέουρα) μπορούν να φορτωθούν σε αεροσκάφη των κοινών αερογραμμών. Μερικές αεροπορικές εταιρείες διαθέτουν ειδικά μικρά containers που φορτώνονται με συσκευασίες του προϊόντος και τοποθετούνται στο κάτω μέρος του αεροπλάνου στον χώρο αποσκευών των επιβατών.

Στο αεροπλάνο δεν υπάρχει κατάλληλη εγκατάσταση για ψύξη του προϊόντος αλλά, με κατάλληλη οργάνωση, η ψύξη δεν είναι και ιδιαίτερα απαραίτητη. Πάντως, προϊόντα που θα μεταφερθούν με αεροπλάνο πρέπει να είναι προψυγμένα και πιθανά να συσκευαστούν σε θερμομονωτικό κουτί ή να προστεθεί 'ξηρός πάγος' στο container πριν τη φόρτωση στο αεροπλάνο. Επιπλέον, υπάρχουν αεροπλάνα κατάλληλα διαμορφωμένα μόνο για τη μεταφορά φορτίων και χρησιμοποιούνται συχνά για μεταφορές ευαίσθητων νωπών τροπικών προϊόντων υψηλής αξίας (π.χ.

ανανάς από τη Χαβάη στις Η.Π.Α.). Τα αεροπλάνα καλύπτουν ένα ευρύτατο δίκτυο προορισμών αλλά λόγω του μεγάλου όγκου και βάρους των νωπών οπωροκηπευτικών το κόστος μεταφοράς ανά μονάδα είναι μεγάλο. Γι' αυτό, η αεροπορική μεταφορά νωπών προϊόντων δεν θα αυξηθεί ιδιαίτερα αλλά θα παραμείνει ο καλύτερος τρόπος μεταφοράς ευπαθών προϊόντων υψηλής αξίας σε μακρινές αγορές.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια οι σιδηροδρομικές μεταφορές νωπών οπωροκηπευτικών προς την Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν διακοπεί λόγω των αναταραχών στη Γιουγκοσλαβία και τον πολυτεμαχισμό της. Ο Ο.Σ.Ε. προσπαθεί να επιτύχει συμφωνίες με τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και να βρει λύσεις για τη μεταφορά Ελληνικών αγροτικών προϊόντων στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης. Τα αυτοκίνητα-ψυγεία έχουν αναλάβει τη μεταφορά του όγκου των Ελληνικών νωπών οπωροκηπευτικών στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και τις εισαγωγές ομοειδών προϊόντων από αυτές στη χώρα μας. Η ανεπάρκεια οχημάτων τις περιόδους αιχμής και η ανυπαρξία ελέγχου των κατάλληλων συνθηκών μεταφοράς από τρίτους έχουν προκαλέσει σημαντική μείωση των εξαγωγών αλλά και υποβάθμιση της ποιότητας των Ελληνικών οπωροκηπευτικών σε συνδυασμό με την εισαγωγή στην Ευρωπαϊκή Ένωση ομοειδών προϊόντων από άλλες χώρες. Τα ψυχόμενα containers χρησιμοποιούνται ήδη μερικά για την εξαγωγή Ελληνικών προϊόντων αλλά και την ευρύτερη εισαγωγή προϊόντων προς την Ευρωπαϊκή Ένωση με πλοία. Θα επεκταθούν σημαντικά τα επόμενα χρόνια κύρια στις θαλάσσιες αλλά και χερσαίες μεταφορές. Η θαλάσσια μεταφορά νωπών οπωροκηπευτικών με ψυχόμενα containers έκανε δυνατή τη διακίνηση τεράστιων ποσοτήτων νωπών οπωροκηπευτικών σε μακρινές αγορές και τη διεθνοποίηση της αγοράς και του ανταγωνισμού. Τέλος οι υψηλού κόστους αεροπορικές μεταφορές θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται για ευπαθή υψηλής αξίας νωπά προϊόντα, όπως μερικά υπερπρώιμα ή εκτός εποχής φρούτα και λαχανικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ashby BH, Hinsch RT, Risse LA, Kindya WG, Craig WL, Turczyn MT. Protecting perishable foods during transport by truck. USDA Agr. Handbook #669, p. 94, 1987.
2. Σφαζιωτάκης Ε. Μετασυλλεκτική φυσιολογία και τεχνολογία νωπών οπωροκηπευτικών προϊόντων, ΤυροMan, Θεσσαλονίκη, 381 σελ., 1995, 1η έκδοση.
3. Nanos GD, Sfakiotakis EM, Ververidis F, Stavroulakis G. Transit conditions and quality changes of Greek apricots shipped by Interfrigo wagons to Germany. Acta Horti.. 1998, (in press).
4. Σφαζιωτάκης ΕΜ, Βερβερίδης Φ, Νάνος Γ, Σταυρουλάκης Γ. Μελέτη συνθηκών μεταφοράς και ωρίμανσης Ελληνικών ροδακίνων ποικ. 'Red Haven' από την Ελλάδα στο Μόναχο: Α. Μεταφορά με βαγόνια-ψυγεία Interfrigo. Α.Π.Θ., Επιστημ. Επετηρίδα Τμήμ. Γεωπονίας, 1988α, Τόμος 27, 129-155.
5. Σφαζιωτάκης ΕΜ, Νάνος Γ, Βερβερίδης Φ, Σταυρουλάκης Γ. Μελέτη συνθηκών μεταφοράς και ωρίμανσης Ελληνικών ροδακίνων ποικ. 'Red Haven' από την Ελλάδα στο Μόναχο: Β. Μεταφορά με αυτοκίνητα-ψυγεία. Α.Π.Θ., Επιστημ. Επετηρίδα Τμήμ. Γεωπονίας, 1988β, Τόμος 27, 157-189.
6. Siomos AS, Sfakiotakis E, Dogras C, Vlahonasios C. Handling and transit conditions of white asparagus shipped by refrigerated trucks from Greece to Germany. Acta Horti., 1995, Vol 379, 507-512.
7. Hinsch RT, Rij RE, Kasmire RF. Transit temperatures of California Iceberg lettuce shipped by truck during the hot summer months. USDA, Marketing Res. Rpt #1117, p. 5, 1987.
8. McGregor BM. Tropical products transport Handbook. USDA, Agric. Handbook #668, p 148, 1987.

9. Kasmire RF, Hirsch RT. Maintaining optimum transit temperatures in refrigerated truck shipments of perishables. Univ. Calif. Perishables Handling Transportation Suppl. #2, p. 12, 1987.
10. Fischer D, Craig WL, Watada AE, Douglas W, Ashby BH. Simulated in-transit vibration damage to packaged fresh market grapes and strawberries. Applied Engineer. In Agric., 1992, Vol 8/3, 363-366.
11. Hirsch RT, Craig WL, Slaughter DC, Thompson JF. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. Amer. Soc. Of Agric. Engineers Paper, 1992, No 92-6033, p 14.
12. Tseng H, Zapp HR, Aslam M, Brown GK. Miniaturization of the instrumented sphere using smart logic. Applied Engineering in Agriculture, 1994, Vol 10/4, 567-572.
13. Thompson JF, Kader AA. A simplified compatibility chart for fruits and vegetables during short-term transport or storage. Univ. Calif. Perishables Handling Newsletter #83, 1995, pp 6-7.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΨΥΞΗ

Δ. Μητρόπουλος, Γ. Λαμπρινός

Γ.Π.Α. - Τμήμα Α.Φ.Π.&Γ.Μ., Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την κατάψυξη ενός γυμνού προϊόντος στον αέρα, παρατηρούνται απώλειες μάζας εξαιτίας της επιφανειακής εξάτμισης/εξάχνωσης υγρασίας από την μάζα του υλικού. Σκοπός της ερευνητικής αυτής εργασίας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν το φαινόμενο της αφυδάτωσης και η εκτίμηση της συμμετοχής του καθενός.

Πειράματα κατάψυξης αγγουριού σε ρεύμα ψυχρού αέρα έδειξαν ότι οι απώλειες μάζας εξαρτώνται από την θερμοκρασία, το έλλειμμα κορεσμού, την ταχύτητα του αέρα καθώς και την διάρκεια της διεργασίας. Οι απώλειες περιορίζονται με την μείωση τόσο της θερμοκρασίας κατάψυξης όσο και της ταχύτητας του αέρα. Η εργασία συσχετίζει την πυκνότητα αφυδάτωσης κατά την κατάψυξη με την θερμοκρασία του ψύχοντος μέσου (αέρα), την ταχύτητα του και το έλλειμμα υγρασίας, συμπεραίνεται δε τελικά ότι ο κύριος παράγοντας που ελέγχει το φαινόμενο είναι η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του ψυχόμενου προϊόντος.

ABSTRACT

In this study, results dealing with dehydration of foodstuffs during their freezing by cooled air circulated in a wind tunnel loop, are presented. Vertically placed cylindrical samples of cucumber were subjected a cross flow of air stream.

The data obtained, enables us to present certain correlations of dehydration flux versus air temperature, saturation pressure deficit, saturation humidity deficit and velocity. Finally, it is concluded that the main factor controlling the phenomenon of humidity loss is the surface temperature of the product undergoing the freezing process.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την κατάψυξη ενός γυμνού προϊόντος στον αέρα, παρατηρούνται απώλειες μάζας εξαιτίας της επιφανειακής εξάτμισης/εξάχνωσης υγρασίας από την μάζα του υλικού.

Όπως είναι γνωστό τα περισσότερα γεωργικά προϊόντα χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό και μοιάζουν πολύ μεταξύ τους όταν θεωρηθούν ως υλικά σε διασπορά.

Με τον όρο κατάψυξη εννοούμε την διαδικασία κατά την οποία το προϊόν από θερμοκρασία περιβάλλοντος φτάνει σε θερμοκρασία κάτω από -18 °C. Επειδή η διαδικασία αυτή πρέπει να είναι γρήγορη, στις πρακτικές εφαρμογές αναγκαστικά το προϊόν πρέπει να βρεθεί μέσα σε ισχυρό ρεύμα ψυχρού αέρα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, προϊόντα με μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό οπωσδήποτε αφυδατώνονται.

Την διαδικασία κατάψυξης μπορούμε να την χωρίσουμε σε δύο περιόδους, την περίοδο ψύξης και την περίοδο της καθαρής κατάψυξης. Κατά την διάρκεια της πρώτης περιόδου η θερμοκρασία του προϊόντος είναι μεγαλύτερη από το σημείο αρχόμενης κατάψυξης (στερεοποίησης). Η

απώλεια νερού γίνεται με εξάτμιση και η πυκνότητα εξάτμισης αφού ξεκινήσει από μια μέγιστη τιμή μειώνεται πολύ γρήγορα. Κατά την διάρκεια της δεύτερης περιόδου η επιφανειακή θερμοκρασία του προϊόντος είναι χαμηλότερη από το σημείο στερεοποίησης ενώ το μέτωπο κατάψυξης προχωρεί προς το εσωτερικό. Οι απώλειες νερού οφείλονται σε εξάτμιση και σε εξάχνωση της υγρασίας των επιφανειακών ιστών και καθώς το μέτωπο κατάψυξης προχωρεί, η εξάτμιση ελαττώνεται ενώ η συμμετοχή της εξάχνωσης γίνεται εντονότερη [2].

Τα φαινόμενα που παίζουν σημαντικό ρόλο και καθορίζουν την συνολική συμπεριφορά του συστήματος είναι η μετάδοση θερμότητας, η αλλαγή κατάστασης της υγρασίας του (εξάτμιση, εξάχνωση) και η μεταφορά μάζας (υδρατμών). Η σταδιακή αφυδάτωση και ξήρανση του υλικού έχει σαν συνέπεια την διαρκή μεταβολή της δομής και των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του. Πάντοτε βέβαια η μετακίνηση των υδρατμών οφείλεται στην διαφορά πίεσης των υδρατμών ανάμεσα στην ζώνη εξάχνωσης ή εξάτμισης και το περιβάλλον.

Στην αρχική περίοδο, της απλής ψύξης, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι συμβαίνει εξάτμιση από μια κορεσμένη επιφάνεια. Η μεταφορά των υδρατμών από την επιφάνεια προς τον περιβάλλοντα αέρα γίνεται με διάχυση. Η μεταφορά θερμότητας προς την επιφάνεια γίνεται με συναγωγή και ακτινοβολία. Ένα μέρος της μεταφερόμενης θερμότητας χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του νερού ενώ το υπόλοιπο αντιστοιχεί στη μεταβολή της αισθητής θερμότητα του προϊόντος.

Κατά την δεύτερη περίοδο, της κατάψυξης, η μεταφορά θερμότητας γίνεται με αγωγή από το εσωτερικό του υλικού και με συναγωγή και ακτινοβολία μεταξύ δείγματος και περιβάλλοντος. Η μεταφερόμενη θερμότητα αντιστοιχεί στην λανθάνουσα για το μέρος του υλικού που αλλάζει φάση (στερεοποιείται), στην αισθητή για το εσωτερικό του υλικού και στην θερμότητα που αντιστοιχεί στην εξάχνωση ή/και εξάτμιση στα εξωτερικά στρώματα. Η μεταφορά των υδρατμών από το εσωτερικό γίνεται με διάχυση τόσο στη σπογγώδη (αφυδατωμένη) ζώνη, όσο και από την επιφάνεια προς το περιβάλλον. Μεταξύ της επιφάνειας του δείγματος και της περιοχής του ψύχοντος μέσου με σταθερή συγκέντρωση υδρατμών, ορίζεται το οριακό στρώμα διάχυσης. Η διάχυση περιγράφεται από τον νόμο του Fick, δηλαδή

$$I = - D_{va} \cdot \frac{dC}{dx} = - \frac{D_{va}}{\delta_{diff}} \cdot (C_{surf} - C_{air}) \quad \text{όπου}$$

I είναι η πυκνότητα ροής μάζας σε $\text{Kgr.m}^{-2}\text{s}^{-1}$

D_{va} ο συντελεστής διάχυσης των υδρατμών στον αέρα, σε m^2s^{-1}

C_{surf} η συγκέντρωση των υδρατμών στην επιφάνεια του δείγματος, σε Kgr.m^{-3}

C_{air} η συγκέντρωση των υδρατμών στον περιβάλλοντα αέρα μακριά από την επιφάνεια του υλικού, σε Kgr.m^{-3}

δ_{diff} το πάχος του οριακού στρώματος, σε m .

Κάτω από πρακτικά ισόθερμες συνθήκες και όταν η ποσότητα των υδρατμών που περιέχονται στον αέρα είναι μικρή (πράγμα που συνήθως συμβαίνει στην πράξη), οι συγκεντρώσεις μπορούν να αντικατασταθούν από τις μερικές πιέσεις των υδρατμών με βάση την σχέση $C = P_v / r_v \cdot T$, όπου P_v η μερική πίεση των υδρατμών σε Pa , $r_v = R_o / m$ η σταθερά των τέλειων αερίων για τον υδρατμό σε $\text{J.Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ με R_o την παγκόσμια σταθερά των τέλειων αερίων, m τη χιλιογραμμομορια-

κή μάζα του υδρατμού και T τη θερμοκρασία σε οΚ. Έτσι ο νόμος του Fick παίρνει την μορφή

$$I = \frac{D_{va}}{\tau_v T} \cdot \frac{P_{vsurf} - P_{vair}}{\delta_{diff}}$$

Η ένταση της αφυδάτωσης κατά την κατάψυξη εξαρτάται από την φύση του προϊόντος, την θερμοκρασία και την ταχύτητα του μέσου και από το έλλειμμα υγρασίας μεταξύ προϊόντος και ψύχοντος μέσου. Η επιδερμίδα του προϊόντος προκαλεί αντίσταση στην διάχυση των υδρατμών η οποία ποικίλει ανάλογα με το προϊόν. Την αφυδάτωση επηρεάζουν επίσης η περιεκτικότητα σε νερό και ο ύψαρη τραυματισμών ή προσβολών.

Η θερμοκρασία της επιφάνειας του προϊόντος καθορίζει την τάση υδρατμών και κατά συνέπεια την διαφορά με το περιβάλλον. Η αφυδάτωση είναι έντονη όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας είναι υψηλή, αφού η τάση των υδρατμών εξαρτάται σχεδόν γεωμετρικά από την θερμοκρασία.

Η ταχύτητα του ψύχοντος μέσου γύρω από το δείγμα (προϊόν) καθορίζει το πάχος του οριακού στρώματος και κατά συνέπεια επηρεάζει την κλίση της μερικής πίεσης και κατ' επέκταση την ένταση διάχυσης των υδρατμών [1]. Έτσι κάθε αύξηση της ταχύτητας του αέρα προκαλεί αύξηση της αφυδάτωσης. Βέβαια η αυξημένη ταχύτητα μειώνει τον χρόνο ψύξης και συνεπώς την διάρκεια του φαινομένου.

Σκοπός της ερευνητικής αυτής εργασίας είναι η διερεύνηση, κατά την κατάψυξη γυμνών (ασυσκευάστων) αγροτικών προϊόντων, των παραγόντων που επηρεάζουν το φαινόμενο της αφυδάτωσης καθώς και η εκτίμηση της συμμετοχής του καθενός.

ΥΛΙΚΑ - ΜΕΘΟΔΟΙ

Δείγματα: Η έρευνα έγινε σε πειραματικό τούνελ ανοικτού τύπου όπου κυλινδρικά δείγματα αγγουριού τοποθετούνταν κατακόρυφα σε αγωγό δοκιμών. Το συγκεκριμένο προϊόν έχει υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, οι ιδιότητες του μοιάζουν με αυτές πολλών άλλων αγροτικών προϊόντων και το κυλινδρικό σχήμα του κάνει πιο εύκολους τους χειρισμούς και τους υπολογισμούς. Το ύψος του κυλινδρικού δείγματος ήταν περίπου 150 mm, ενώ η διάμετρος του γύρω στα 40 mm. Οποσδήποτε υπήρχαν κάποιες μικρές αποκλίσεις όσον αφορά το κυλινδρικό σχήμα και το μέγεθος της διαμέτρου, οι οποίες όμως περιορίστηκαν με αυστηρή επιλογή των δειγμάτων. Για να αποφευχθούν οριακά φαινόμενα στις δυο βάσεις των κυλίνδρων, τοποθετήθηκαν δίσκοι από καουτσούκ ανάλογης διαμέτρου έτσι ώστε ο αέρας να μην έρχεται στα δύο άκρα σε επαφή με το υλικό του δείγματος.

Πειραματική εγκατάσταση: Χρησιμοποιήθηκε ένας αγωγός ανακύκλωσης (ανοικτού τύπου) του αέρα του θαλάμου κατάψυξης, ορθογωνικής διατομής και μήκους 5 περίπου μέτρων. Αποτελείτο από πέντε τμήματα μεταξύ των οποίων και των αγωγό δοκιμών διαστάσεων διατομής 30x80 cm που βρισκόταν στο μέσο του πειραματικού αγωγού. Ένας ανεμιστήρας αξονικής ροής εξασφάλιζε την κυκλοφορία του αέρα. Η ομοιομορφία του πεδίου της ταχύτητας του αέρα μέσα στον αγωγό δοκιμών, επιτυγχανόταν με περύγια τοποθετημένα ομόκεντρα στις δυο γωνίες του αεραγωγού και με ένα συγκλίνοντα αγωγό στο τέλος του οποίου υπήρχε και πλέγμα ομογενοποίησης τύπου κυψελών [3].

Η θερμοκρασία του θαλάμου ρυθμιζόταν με θερμοστάτη ακριβείας 1 οC. Υπήρχε καταγραφικό όργανο θερμοκρασίας με δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης έξι θερμοζευγών. Έτσι γινόταν η καταγραφή της θερμοκρασίας του αέρα, της επιφάνειας και του κέντρου του δείγματος.

Ένα ηλεκτρονικό υγρόμετρο χρησιμοποιούταν για την μέτρηση της υγρασίας του αέρα του θαλάμου. Με την βοήθεια μικρής φυγοκεντρικής αεραντλίας αντλούσαμε αέρα μέσα από τον θάλαμο και τον οδηγούσαμε με ένα αγωγό τριών περιόδου μέτρων στο δοχείο υγρομέτρησης.

Η ταχύτητα του αέρα ρυθμιζόταν με ειδικούς δακτυλίους στην κατάβληψη του ανεμιστήρα. Η μέτρηση της ταχύτητας του αέρα ήταν συνεχής με ανεμόμετρο του οποίου το αισθητήριο (μυλίσκος) είχε τοποθετηθεί μέσα στον αγωγό δοκιμών.

Για την ζύγιση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ειδικός ηλεκτρονικός ζυγός με ακρίβεια 0,01 gr. Τα ζυγιστικά κύτταρο (αισθητήριο) βρισκόταν μέσα στο θάλαμο δοκιμών, ενώ το ηλεκτρονικό μέρος έξω απ' αυτόν.

Πειραματική διαδικασία: Σε κάθε σειρά μετρήσεων χρησιμοποιούσαμε δύο όμοια δείγματα στα οποία είχαμε τοποθετήσει ένα λεπτό νήμα κατά την έννοια του άξονα συμμετρίας τους και δίσκους από καουτσούκ στις βάσεις. Το ένα δείγμα το κρεμούσαμε στο ζυγό (χρησιμοποιώντας το νήμα που προαναφέρθηκε) έτσι ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή του βάρους οποιαδήποτε στιγμή. Δύο θερμοζεύγη ετοποθετούτο στο δεύτερο δείγμα, το ένα ακριβώς κάτω από την επιδερμίδα και το άλλο στον άξονα του. Έτσι ήταν δυνατή η καταγραφή των αντίστοιχων θερμοκρασιών. Και το δεύτερο δείγμα ετοποθετείτο μέσα στον αγωγό δοκιμών δίπλα στο πρώτο. Τα δυο δείγματα τοποθετούνταν πάντοτε σε θέσεις όπου το πεδίο ταχυτήτων του αέρα ήταν σταθερό. Η χρήση των δυο δειγμάτων ήταν αναγκαία γιατί δεν ήταν δυνατό να μετρούμε στο ίδιο δείγμα θερμοκρασία και βάρος ταυτόχρονα αφού τα καλώδια των θερμοζευγών θα αλλοίωναν τις μετρήσεις του βάρους.

Μετά την τοποθέτηση των δειγμάτων στον αγωγό δοκιμών αρχίζαμε μετρήσεις θερμοκρασίας και βάρους τις οποίες επαναλαμβάναμε σε σύντομα χρονικά διαστήματα (2-3 min). Το βάρος του δείγματος κάθε φορά προέκυπτε ως ο μέσος όρος δέκα μετρήσεων που γίνονταν σε μικρό χρονικό διάστημα (περίπου 10 sec), αυτή η διαδικασία ήταν αναγκαία για να μειωθούν τα σφάλματα που προκαλούσε το ρεύμα του αέρα στις ζυγίσεις.

Σε όλη την διάρκεια των πειραμάτων δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο να ελαχιστοποιηθούν τα ανοίγματα της πόρτας του θαλάμου για καλύτερο έλεγχο της υγρασίας, η οποία μετά από συχνές μετρήσεις βρέθηκε να κυμαίνεται γύρω στο 65%.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μελετήθηκαν τρεις θερμοκρασίες κατάψυξης (-10, -18 και -25 οC) και πέντε ταχύτητες αέρα (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 και 5.0 m/sec). Από την μεταβολή του βάρους των δειγμάτων και λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος και το σχήμα τους καθώς και την χρονική διάρκεια των μεταβολών υπολογίστηκε η πυκνότητα εξάτμισης-εξάχνωσης. Οι πειραματικές μετρήσεις σταματούσαν κάθε φορά που η θερμοκρασία της επιδερμίδας πλησίαζε αυτή του αέρα.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται συσχετίσεις της πυκνότητας αφυδάτωσης I και της απώλειας μάζας L με το χρόνο, καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης.

Στα σχήματα 1.α, 1.β και 1.γ φαίνεται η απώλεια μάζας για διάφορες ταχύτητες και θερμοκρασίες κατάψυξης. Παρατηρούμε ότι οι απώλειες αυξάνουν με την θερμοκρασία και την ταχύτητα του αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί σε υψηλότερες θερμοκρασίες κατάψυξης το δείγμα καθυστερεί

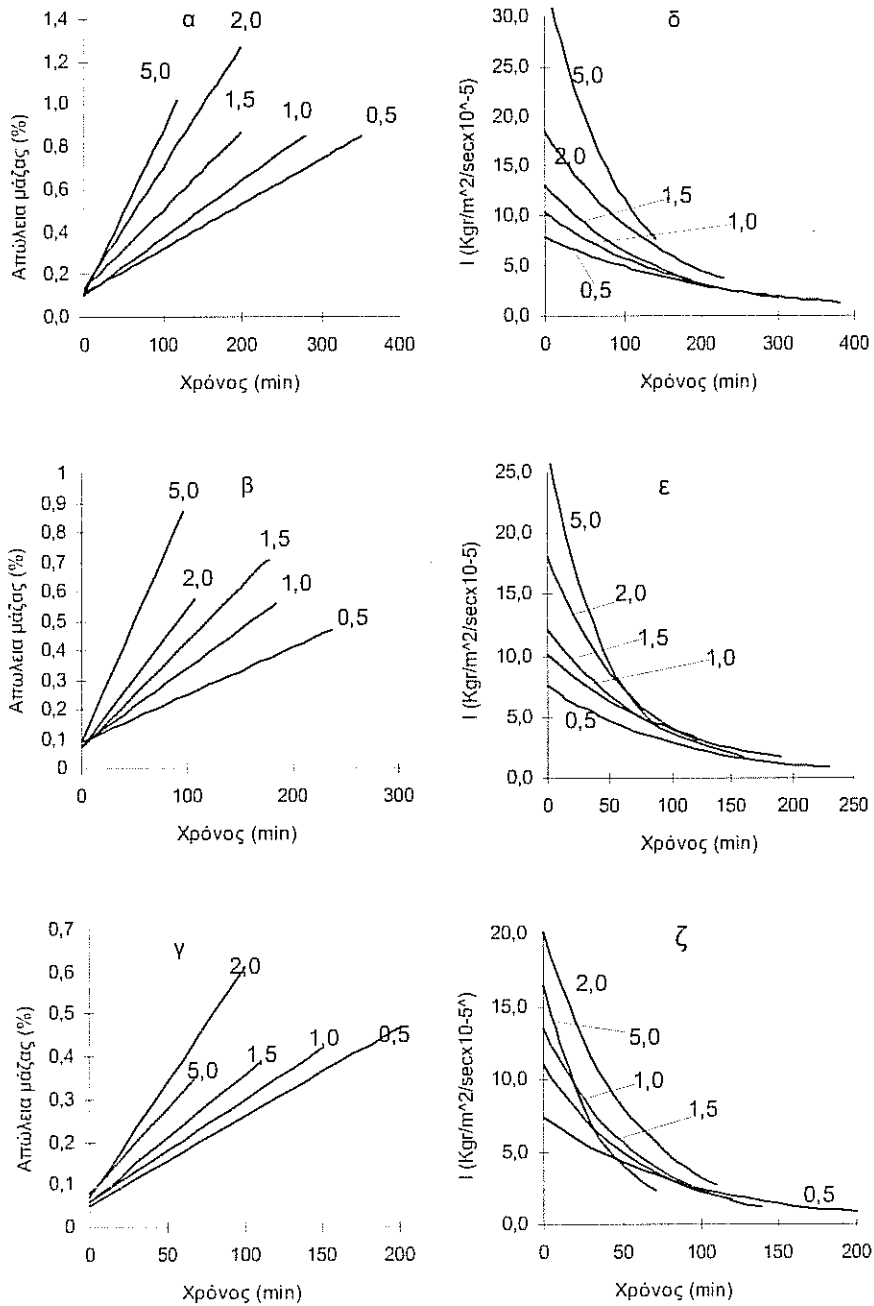
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Συσχέτιση πυκνότητας αφυδάτωσης και απώλειας μάζας με το χρόνο κατά την κατάψυξη.

T οC	U m/sec	Πυκνότητα Αφυδάτωσης Kgr/m ² /sec x 10 ⁻⁵	R	Απώλειες μάζας. %	R
-10	0.5	$I = \exp(2.07 - 4.7 \times 10^{-3} \times t)$	0.92	$L = 0.11 + 2.1 \times 10^{-3} \times t$	0.98
-10	1.0	$I = \exp(2.34 - 5.8 \times 10^{-3} \times t)$	0.95	$L = 0.10 + 2.7 \times 10^{-3} \times t$	0.98
-10	1.5	$I = \exp(2.58 - 7.0 \times 10^{-3} \times t)$	0.93	$L = 0.13 + 3.7 \times 10^{-3} \times t$	0.98
-10	2.0	$I = \exp(2.92 - 7.0 \times 10^{-3} \times t)$	0.96	$L = 0.13 + 5.7 \times 10^{-3} \times t$	0.98
-10	5.0	$I = \exp(3.54 - 10.7 \times 10^{-3} \times t)$	0.95	$L = 0.10 + 7.7 \times 10^{-3} \times t$	0.99
-18	0.5	$I = \exp(2.02 - 9.7 \times 10^{-3} \times t)$	0.92	$L = 0.09 + 1.6 \times 10^{-3} \times t$	0.96
-18	1.0	$I = \exp(2.31 - 9.4 \times 10^{-3} \times t)$	0.93	$L = 0.08 + 2.6 \times 10^{-3} \times t$	0.98
-18	1.5	$I = \exp(2.5 - 12.0 \times 10^{-3} \times t)$	0.97	$L = 0.07 + 3.6 \times 10^{-3} \times t$	0.98
-18	2.0	$I = \exp(2.9 - 15.0 \times 10^{-3} \times t)$	0.98	$L = 0.07 + 4.7 \times 10^{-3} \times t$	0.97
-18	5.0	$I = \exp(3.3 - 21.2 \times 10^{-3} \times t)$	0.97	$L = 0.09 + 8.1 \times 10^{-3} \times t$	0.98
-25	0.5	$I = \exp(2.0 - 10.9 \times 10^{-3} \times t)$	0.98	$L = 0.05 + 2.1 \times 10^{-3} \times t$	0.98
-25	1.0	$I = \exp(2.4 - 15.9 \times 10^{-3} \times t)$	0.99	$L = 0.06 + 2.4 \times 10^{-3} \times t$	0.96
-25	1.5	$I = \exp(2.6 - 17.4 \times 10^{-3} \times t)$	0.98	$L = 0.06 + 3.0 \times 10^{-3} \times t$	0.96
-25	2.0	$I = \exp(3.0 - 18.2 \times 10^{-3} \times t)$	0.97	$L = 0.07 + 5.4 \times 10^{-3} \times t$	0.97
-25	5.0	$I = \exp(2.8 - 28.1 \times 10^{-3} \times t)$	0.96	$L = 0.08 + 4.0 \times 10^{-3} \times t$	0.97

να ψυχθεί με αποτέλεσμα να αφυδατώνεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ενώ στην επιδερμίδα του επικρατεί υψηλή θερμοκρασία. Στο σχήμα 1.γ παρουσιάζεται μικρότερη απώλεια σε ταχύτητα αέρα 5.0 m/sec από ότι στην ταχύτητα 2.0 m/sec. Αυτό πιθανώς να οφείλεται σε μια κρούστα που δημιουργείται πάνω στο δείγμα εξαιτίας της έντονης αφυδάτωσης κατά τις πρώτες στιγμές του φαινομένου και στην μικρή διάρκεια ψύξης λόγω της υψηλής ταχύτητας, αφού η επιφάνεια του προϊόντος παραμένει για ελάχιστο μόνο χρόνο σε θετικές θερμοκρασίες.

Στα σχήματα 1.δ, 1.ε και 1.ζ φαίνεται η επίδραση της ταχύτητας του αέρα στην πυκνότητα αφυδάτωσης για τις διάφορες θερμοκρασίες κατάψυξης. Όπως θα περιμέναμε, αύξηση της ταχύτητας οδηγεί σε αύξηση της πυκνότητας εξάχνωσης, οι καμπύλες όμως των μεγάλων ταχυτήτων κατερχόμενες τέμνουν αυτές των μικρότερων. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο ότι τα δείγματα ψύχονται πολύ γρήγορα στις μεγάλες ταχύτητες και έτσι η αφυδάτωση συμβαίνει σε χαμηλές θερμοκρασίες επιδερμίδας. Ο ρυθμός μείωσης συνολώς του ελλείμματος κορεσμού υπερκαλύπτει την αύξηση της αφυδάτωσης λόγω μείωσης του πάχους του οριακού στρώματος στις μεγαλύτερες ταχύτητες. Το γεγονός αυτό παρουσιάζεται έντονα όσο κατεβαίνει η θερμοκρασία κατάψυξης.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται συσχετίσεις καθώς και συντελεστές συσχέτισης για την εξάρτηση της πυκνότητας αφυδάτωσης από την θερμοκρασία της επιφάνειας, το έλλειμμα πίεσης κορεσμού και το έλλειμμα κορεσμού για διάφορες θερμοκρασίες κατάψυξης και για τις ταχύτητες αέρα που μελετήθηκαν. Επίσης εμφανίζεται η συσχέτιση της πυκνότητας εξάχνωσης με την θερμοκρασία της επιφάνειας, το έλλειμμα πίεσης κορεσμού και το έλλειμμα κορεσμού για τις ταχύτητες που μελετήθηκαν, ανεξάρτητα από την θερμοκρασία κατάψυξης, οι συντελεστές συσχέτισης όμως σε αυτή την περίπτωση δεν είναι πολύ μεγάλοι κυμαινόμενοι από 0,63 έως 0,87.



Σχήμα 1. α,β,γ: Μεταβολή απωλειών μάζας με το χρόνο για θερμοκρασίες κατάψυξης α=-10 οC, β: -18 οC και γ: -25 οC .
 δ,ε,ζ: Μεταβολή της πυκνότητας εξάχνωσης (I) με το χρόνο για θερμοκρασίες κατάψυξης δ=-10 οC, ε: -18 οC και ζ: -25 οC.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Αποτελέσματα συσχετίσεων μεταξύ πυκνότητας αφυδάτωσης και θερμοκρασίας επιφάνειας, ελλείμματος πίεσης κορεσμού και ελλείμματος κορεσμού.

I=f(T)

U	$\Theta = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²	$\Theta = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²	$\Theta = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²
0,5	$I = -146,343 + 0,553xT$	0,954	$I = -179,865 + 0,677xT$	0,929	$I = \exp(-27,288 + 0,105xT)$	0,764
1,0	$I = -185,673 + 0,701xT$	0,921	$I = -181,570 + 0,687xT$	0,956	$I = \exp(-23,511 + 0,093xT)$	0,855
1,5	$I = -263,004 + 0,995xT$	0,913	$I = -214,530 + 0,816xT$	0,915	$I = \exp(-24,709 + 0,098xT)$	0,869
2,0	$I = -268,856 + 1,031xT$	0,800	$I = -282,220 + 1,079xT$	0,814	$I = \exp(-21,652 + 0,088xT)$	0,875
5,0	$I = -639,261 + 2,424xT$	0,974	$I = -369,968 + 1,420xT$	0,909	$I = \exp(-19,529 + 0,081xT)$	0,797

I=f(ΔP)

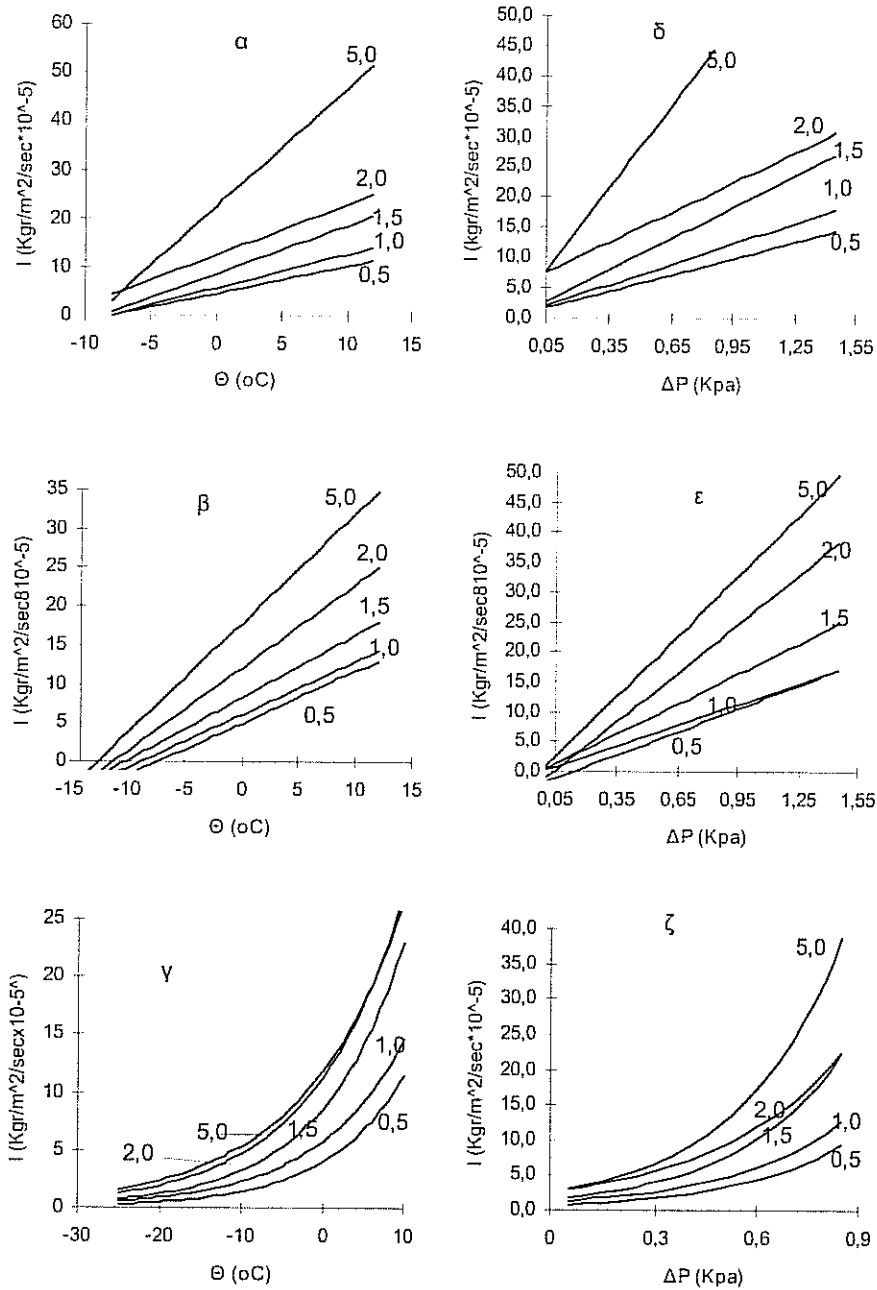
U	$\Theta = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²	$\Theta = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²	$\Theta = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²
0,5	$I = 1,244 + 9,081x\Delta P$	0,934	$I = -1,847 + 13,023 x\Delta P$	0,969	$I = \exp(-0,385 + 3,101x\Delta P)$	0,835
1,0	$I = 1,451 + 11,449x\Delta P$	0,892	$I = 0,163 + 11,634x\Delta P$	0,928	$I = \exp(0,085 + 2,884x\Delta P)$	0,886
1,5	$I = 1,930 + 17,335x\Delta P$	0,904	$I = 0,368 + 16,791x\Delta P$	0,887	$I = \exp(0,426 + 3,159x\Delta P)$	0,944
2,0	$I = 6,743 + 16,529x\Delta P$	0,723	$I = -1,340 + 27,378x\Delta P$	0,860	$I = \exp(0,954 + 2,536x\Delta P)$	0,867
5,0	$I = 5,526 + 45,584x\Delta P$	0,795	$I = 0,720 + 33,722x\Delta P$	0,898	$I = \exp(0,920 + 3,219x\Delta P)$	0,954

I=f(ΔW)

U	$\Theta = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²	$\Theta = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²	$\Theta = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$	R ²
0,5	$I = 1,278 + 1,447x\Delta W$	0,933	$I = -1,797 + 2,081x\Delta W$	0,966	$I = \exp(-0,377 + 0,497x\Delta W)$	0,833
1,0	$I = 1,495 + 1,913x\Delta W$	0,890	$I = 0,229 + 1,854x\Delta W$	0,927	$I = \exp(0,090 + 0,463x\Delta W)$	0,884
1,5	$I = 1,979 + 2,764x\Delta W$	0,903	$I = -0,313 + 2,687x\Delta W$	0,884	$I = \exp(0,428 + 0,509x\Delta W)$	0,944
2,0	$I = 6,817 + 2,587x\Delta W$	0,728	$I = -1,307 + 4,399x\Delta W$	0,860	$I = \exp(0,959 + 0,407x\Delta W)$	0,865
5,0	$I = 5,627 + 7,286x\Delta W$	0,975	$I = 0,785 + 5,410x\Delta W$	0,896	$I = \exp(0,921 + 0,519x\Delta W)$	0,955

Συσχετίσεις ανεξάρτητα της θερμοκρασίας κατάψυξης

U	I=f(T)	R ²	I=f(ΔP)	R ²	I=f(ΔW)	R ²
0,5	$I = \exp(-29,805 + 0,114xT)$	0,836	$I = -0,385 + 10,529x\Delta P$	0,846	$I = 0,358 + 1,686x\Delta W$	0,846
1,0	$I = \exp(-24,456 + 0,096xT)$	0,835	$I = 0,622 + 11,466x\Delta P$	0,872	$I = 0,655 + 1,834x\Delta W$	0,872
1,5	$I = \exp(-24,071 + 0,096xT)$	0,830	$I = 1,055 + 16,034x\Delta P$	0,823	$I = 1,082 + 2,571x\Delta W$	0,823
2,0	$I = \exp(-21,875 + 0,089xT)$	0,817	$I = 2,221 + 20,661x\Delta P$	0,721	$I = 2,256 + 3,314x\Delta W$	0,721
5,0	$I = \exp(-24,820 + 0,101xT)$	0,845	$I = 0,590 + 35,843x\Delta P$	0,631	$I = 0,523 + 5,771x\Delta W$	0,633



Σχήμα 2. α,β,γ: Μεταβολή πυκνότητας εξαχνωσης (I) με την θερμοκρασία της επιφάνειας του δείγματος (Θ) για θερμοκρασίες κατάψυξης $\alpha=-10$ $^{\circ}\text{C}$, $\beta: -18$ $^{\circ}\text{C}$ και $\gamma: -25$ $^{\circ}\text{C}$.

δ,ε,ζ: Μεταβολή πυκνότητας εξαχνωσης (I) με το έλλειμμα πίεσης κορεσμού (ΔP) για θερμοκρασίες κατάψυξης $\delta=-10$ $^{\circ}\text{C}$, $\epsilon: -18$ $^{\circ}\text{C}$ και $\zeta: -25$ $^{\circ}\text{C}$.

Η πυκνότητα αφυδάτωσης μειώνεται πολύ γρήγορα με την πτώση της επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός αναμενόμενο αφού η τάση ατμών του νερού μειώνεται έντονα με την πτώση της θερμοκρασίας. Στα σχήματα 2.α, 2.β, 2.γ εμφανίζονται γραφικά τα παραπάνω ενώ στα σχήματα 2.δ, 2.ε, 2.ζ φαίνεται η μεταβολή της πυκνότητας αφυδάτωσης με το έλλειμμα πίεσης κορεσμού. Βλέπουμε ότι η αύξηση της ταχύτητας οδηγεί σε αύξηση της πυκνότητας αφυδάτωσης. Σε θερμοκρασίες κατάψυξης της τάξεως των -25 οC για μεγάλες τιμές του ελλείμματος πίεσης κορεσμού, το φαινόμενο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι παράγοντες που ελέγχουν σοβαρά το φαινόμενο της αφυδάτωσης κατά την κατάψυξη είναι η ταχύτητα του αέρα και το έλλειμμα κορεσμού που είναι συνάρτηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του δείγματος. Η τελική απώλεια μάζας όμως είναι συνάρτηση και της χρονικής διάρκειας του φαινομένου. Έτσι ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρείται στην αρχή του φαινομένου πολύ μεγάλη τιμή ελλείμματος κορεσμού, η τελική απώλεια μάζας είναι ίση ή μικρότερη από αυτή που παρατηρείται σε υψηλότερες θερμοκρασίες κατάψυξης.

Επειδή η ταχύτητα κατάψυξης έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα των προϊόντων θα πρέπει η θερμοκρασία κατάψυξης να είναι αρκετά χαμηλή και η ταχύτητα του αέρα όχι μεγάλη. Τα πειραματικά βεβαίως στοιχεία που δείχνουν μείωση της αφυδάτωσης σε χαμηλές θερμοκρασίες κατάψυξης και υψηλές ταχύτητες δεν είναι αρκετά για να στηρίξουν αυτή την άποψη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Lambrinos (1990): 'Sublimation de la glace sous convection forcee ; coefficients de transfer de masse'. Revue Generale du Froid No 9 (Nov./Dec.), pp. 25-30.
2. Lambrinos, M. Sakly (1994): 'Evaluation experimentale, par simulation des echanges thermiques ayant lieu a la surface d' echantillons cylindriques geles'. Revue Generale du Froid, Vol. 17, No 2, pp. 135-139.
3. Lambrinos, D. Mitropoulos (1995) : Le role du factorur 'temps' sur la deshydratation des produits congeles. Proceedings of the 19th Int. Congress of Refrigeration, Vol. II, pp. 235-241.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΕΚΚΟΚΚΙΣΜΟ ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΧΗΜΙΚΗ ΑΠΟΧΝΟΩΣΗ ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΟΣΠΟΡΟΥ

Νικόλαος Χουλιαράς¹, Θεοφάνης Γέμιος² και +Ιωάννης Δουλούδης¹

¹Εργαστήριο Εδαφολογίας ΤΕΙ Λάρισας, ²Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σημαντικές ποσότητες οργανικών αποβλήτων παράγονται κατά τον εκκοκκισμό του βαμβακιού (εκτός του σπόρου) και κατά την χημική αποχνόωση του βαμβακόσπορου με χρήση θεικού οξέως, προς απόκτηση σπόρου κατάλληλου για σπορά. Για τη μελέτη αυτών των υλικών σε πείραμα επώασης διάρκειας 9 εβδομάδων, προστέθηκαν υποπροϊόντα εκκοκκισμού βαμβακιού (ασθενώς αλκαλικό υλικό) σε όξινο έδαφος. Επίσης σε ασβεστούχο έδαφος προστέθηκαν υποπροϊόντα της χημικής επεξεργασίας του βαμβακόσπορου (όξινο υλικό) σε ανάλογο πείραμα. Παράλληλα έλαβε χώρα συγκριτικό πείραμα με εφαρμογή οργανικού λιπάσματος εμπορίου στο όξινο έδαφος.

Η εφαρμογή των υλικών αύξησε την περιεκτικότητα όλων των επεμβάσεων σε οργανική ουσία και σε διαλυτά συστατικά. Στο όξινο έδαφος το pH αυξήθηκε από 5,65 σε 7,68 για τη μεγαλύτερη δόση εφαρμογής του υλικού εκκοκκισμού, ενώ η εφαρμογή του υλικού αποχνόωσης μείωσε το αρχικό pH του εδάφους από 8,50 σε 8,03 επίσης για τη μεγαλύτερη δόση εφαρμογής του στο ασβεστούχο έδαφος. Η εφαρμογή των υλικών αύξησε την περιεκτικότητα των επεμβάσεων σε διαθέσιμα P (Olsen) και K (εναλλακτικό). Όσον αφορά τα μικροθρεπτικά, σημαντικές μεταβολές που παρατηρήθηκαν είναι οι μειώσεις των διαθέσιμων μορφών Fe και Mn που προκάλεσε η εφαρμογή του υλικού εκκοκκισμού στο Alfisol και σχετίζεται με την δραστηκή αύξηση του pH. Δεν προκύπτει ουσιώδης επίδραση με την εφαρμογή των υλικών στην περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ανόργανο N.

APPLICATION OF GIN TRASH AND RESIDUE OF COTTONSEED ACID DELINTING PROCESS, TO SOILS

ABSTRACT

In a 9 weeks incubation experiment, gin trash (weakly alkaline material), was added to an acid soil and the residue of cottonseed acid delinting process (acid material), was added to a calcareous soil; a parallel control experiment, was carried out by adding a commercial organic fertiliser, to the same acid soil, used in the previous treatment with gin trash.

The application of those materials to the soils, increased the contents in organic matter and the available P and K. The gin trash, and the organic fertiliser, (chemically neutral materials), corrected the soil acidity but the residue of acid delinting the cottonseed (acid material) reduced the soil alkalinity. The experiment didn't show any significant effect on mineral N content of the soils.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιομηχανική εκκόκκιση του βαμβακιού συνδυάζεται με την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων (εκτός του σπόρου), των οποίων τα ποσοστά κυμαίνονται στο 15% της εισερχόμενης για επεξεργασία πρώτης ύλης (προφοροζική ενημέρωση από ΕΓΣ/Λάρισα, 1996). Παραγωγή αποβλήτου προκύπτει επίσης και κατά την χημική αποχώνωση του βαμβακόσπορου με χρήση θεικού οξέως για την απόκτηση σπόρου κατάλληλα αποχνομένου για τη σπορά, σε ποσοστά επίσης 10-15% του αρχικά εισερχόμενου υλικού (προφοροζική ενημέρωση από ΕΓΣ/Λάρισα, 1996).

Ως γνωστόν στις μέρες μας εστιάζεται ιδιαίτερο οικολογικό ενδιαφέρον σ' εκείνα τα υλικά που ως απόβλητα αντί να απορρίπτονται και να ρυπαίνουν, είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν στο έδαφος εξυπηρετώντας την συντήρηση ή βελτίωση ιδιοτήτων του στη φυσική τους κατάσταση ή ύστερα από επεξεργασία όπως η κομποστοποίηση (Gemplos και συν. 1995: Χουλιάρης και συν. 1996: Nelson and Flores, 1994). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις περιοχές της εντατικής εκμετάλλευσης του εδάφους, που χαρακτηρίζονται από ισχυρή ελάττωση της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία, παρουσιάζουν τα υλικά που έχουν πλούσιο οργανικό φορτίο (Par et al., 1989: Blaine and Melting, 1992: Σιδηράς και Χουλιάρης, 1993). Η εφαρμογή τους όμως στα εδάφη πρέπει πάντα να βασίζεται σε τεκμηριωμένα στοιχεία.

Τα απορρίμματα επεξεργασιών φυτικών προϊόντων δείχνουν μεγάλη ποικιλία σύστασης (Heckman et al., 1996). Οι συνέπειες της εφαρμογής των στο έδαφος εξαρτώνται από την σύσταση αυτών των υλικών όπως πχ περιεκτικότητα σε βαριά μέταλλα αλλά αυτό δεν αρκεί. Η αντικειμενική πληροφόρηση επί του θέματος αποκτάται μόνο από σχετικό πειραματισμό. Ως γνωστόν οι τελικές συνέπειες της χρήσης προκύπτουν από την δράση πληθώρας παραγόντων που διαμορφώνονται κατά την αλληλεπίδραση του υλικού και του είδους του εδάφους (Χουλιάρης, 1994). Όσο καλύτερα ελέγχονται οι συνέπειες της εφαρμογής των υλικών τόσοσ ασφαλέστερη καθίσταται η χρήση τους (Chouliaras et al., 1998).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο ειδών (Πίνακας 1). Το πρώτο είναι σκουπίδι από υποπροϊόντα εκκόκκιμού (E) του εργοστασίου της Ένωσης Γεωργικών Συνεταιρισμών Τρικάλων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το υλικό παράγεται ύστερα από διαχωρισμό και αφαίρεση των χονδροειδών ξυλωδών μερών. Περιέχει χώμα, φυτικά υπολείμματα και ίνες βαμβακιού. Το άλλο είναι το υποπροϊόν της χημικής επεξεργασίας (X) του βαμβακόσπορου από το εργοστάσιο της Ένωσης Γεωργικών Συνεταιρισμών Λάρισας και αποτελείται κύρια από ίνες βαμβακιού εμποτισμένες με θειικό οξύ, γι' αυτό και είναι όξινο υλικό, (Πίνακας 1).

Το υλικό (E) που έχει ασθενώς αλκαλικό pH, εφαρμόστηκε σε συνθήκες επώασης σε όξινο έδαφος (Typic Rhodoxeralf από την περιοχή Αλμυρού). Το υλικό (X) έχει όξινο pH και δοκιμάστηκε σε αβεστούχο (Typic Xerofluent, από την περιοχή Πυργατού, Πίνακας 2) με την ίδια τεχνική.

Έτσι σε 100 g αεροξηραμένου εδάφους προστέθηκαν 0, 3, 6, 9 g από το υλικό (E) για το όξινο έδαφος και 0, 1,4, 2,8 και 4,2 g από το υλικό (X) για το αβεστούχο έδαφος. Η επιλογή των δόσεων έγινε ώστε να υπάρχει ισοδυναμία στην προσθήκη οργανικής ύλης από το κάθε υλικό για την αντίστοιχη δόση. Ανάλογο πείραμα για σύγκριση εκτελέστηκε με εφαρμογή οργανικού λιπάσματος εμπορίου (γερμανική τύρφη εμπλουτισμένη με θρεπτικά, Πίνακας 1) και σε δοσολογίες 0, 1,6, 3,2, και 4,8 g αεροξηραμένου υλικού, ανά 100 g εδάφους Allisol. Τα πειράματα παρασκευάστηκαν σε 3 επαναλήψεις και υποβλήθηκαν σε περίοδο επώασης 9 εβδομάδων σε θερ-

μορρασία 28 οC. Κατά την περίοδο των 3 πρώτων εβδομάδων και των 3 τελευταίων, η υγρασία των δειγμάτων διατηρήθηκε στα 2/3 της υδατοϊκανότητας, κατάσταση που ευνοεί τις αερόβιες ζυμώσεις. Στην αρχή της ενδιάμεσης περιόδου των 3 εβδομάδων ξήρανσης, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε απομάκρυνση των υδατοδιαλυτών μορφών με εφαρμογή έκπλυσης με νερό σε αναλογία (έδαφος: H₂O) = 1:5, ώστε να ανιχνευτούν οι υποκείμενες μορφές των διαφόρων στοιχείων σε έκπλυση. Έτσι με τη σχετική πειραματική μέθοδο, επιτυγχάνεται οικολογική προσέγγιση της προκαλούμενης έκπλυσης υπό φυσικές συνθήκες (Chone et al., 1974). Στο τέλος της περιόδου επώασης στα εδαφικά δείγματα έγιναν οι παρακάτω εργαστηριακοί προσδιορισμοί:

Πίνακας 1. Ιδιότητες των υλικών που εφαρμόστηκαν στο έδαφος. (Η σύσταση αναφέρεται επί της ξηρής ουσίας).

Υλικό Περιγραφή	Οργανικό Λίπασμα Εμπορίου (O) Τύρφη Γερμανική εμπλουτισμένη με ανόργανα θρεπτικά στοιχεία	Υποπροϊόν Εκκοκκισμού (E) βαμβακώδες- χωματώδες	Υπόλειμμα χημικής αποχλόωσης (X) βαμβακώδες
pH (H ₂ O)1:5	6,10	7,64	1,0
Οργανικές Ύλες %	61	33	73
CaCO ₃ %	0	7,3	0
N%	0,8	0,3	1,4
P%	0,05	0,2	0,06
K%	0,8	1,3	1,1
Fe ppm	1000	4750	1300
Zn ppm	38	63	25
Mn ppm	84	283	100
Cu ppm	<20	<20	<20

Πίνακας 2: Ιδιότητες των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν.

Έδαφος	βάθος	Υφή cm	Οργανικές Ύλες	PH (H ₂ O) 1:5	CaCO ₃ (%)	C.E.C cmol/kg	S/T *	C/N 100
Alfisol	0-25	SCL	1,5	4,82	0	7	43	12
Entisol	0-25	SiL	1,7	8,38	2,7	22,5	sat	6

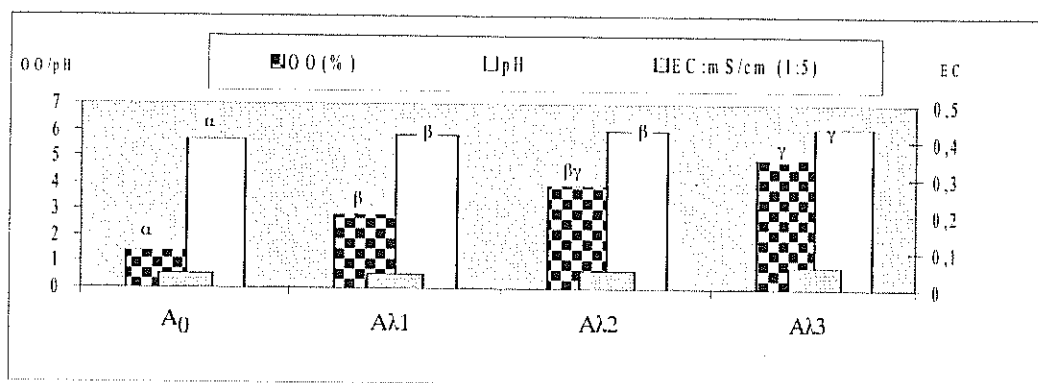
- pH : αιώρημα (1:5)
- CaCO₃ %
- Περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Walkley)
- Αλατότητα : Ηλεκτρική αγωγιμότητα στο εκχύλισμα (έδαφος :H₂O)/1:5

- Εναλλακτικό Κ με εκχύλιση σε NH_4OAc , IN.
- P-Olsen
- Άζωτο νιτρικό και αμμωνιακό με απόσταξη, σε δείγματα λαμβανόμενα ανά 2 εβδομάδες κατά την περίοδο της επώασης.
- Αφομοιώσιμα Fe, Zn, Mn, Cu με τη μέθοδο του DTPA
- Επίσης στο διάλυμα έκπλυσης (1:5) που παραλήφθηκε, μετρήθηκαν το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η περιεκτικότητα σε αμμωνιακά και νιτρικά, P, K, Ca, Fe, Zn, Mn και Cu.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Α. Πείραμα με οργανικό λιπάσμα εμπορίου

Η εφαρμογή του οργανικού λιπάσματος βελτίωσε το pH του εδάφους από 5.65 σε 6.11 στη μεγαλύτερη δόση και η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία αυξήθηκε σημαντικά (Σχήμα 1). Το υδατοδιαλυτό εκχύλισμα είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε αλάτια όμως δείχνει αύξηση της έκπλυσης σε Ca και Na με την εφαρμογή του λιπάσματος (Πίνακας 3). Βελτιώθηκαν τα επίπεδα σε αφομοιώσιμα Κάλι και Φώσφορο (Πίνακας 4), ενώ η αλατότητα δεν αυξήθηκε ουσιαστικά. Όσον αφορά το ανόργανο N (αδημοσίευστα δεδομένα), δεν παρατηρείται ουσιαστική επίδραση στο έδαφος με την εφαρμογή του οργανικού λιπάσματος, κι αυτό μάλλον πρέπει να αποδοθεί στην χαμηλή περιεκτικότητα σ' αυτό το στοιχείο του λιπάσματος.



Σχήμα 1: Επίδραση του οργανικού λιπάσματος στις ιδιότητες των εδαφών μετά από περίοδο επώασης (A: Alfisol / OO: Οργανική ουσία / λ: οργανικό λιπάσμα / 0, 1, 2, 3: δόσεις εφαρμογής του λιπάσματος, αξιολόγηση διαφορών κατά Tukey 0,05 και κατά ιδιότητα).

Πίνακας 3. Επίδραση του οργανικού λιπάσιματος στην παραγωγή υδατοδιαλυτών στοιχείων κατά την έκπλυση (mg/kg εδάφους).

Επεμβάσεις	EC Εκχύλισμα Έδαφος:H ₂ O (1:5) mS/cm	P	K	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu
A0	0,07α#	5,2α	10,442β	5,72α	27,7α	3,2β	<0,5	<2,5
Aλ1	0,11β	2,7α	5,85α	30,37β	19,8α	1,5α	<0,5	<2,5
Aλ2	0,15γ	3,4α	6,523α	50,47γ	15,7α	1α	<0,5	<2,5
Aλ3	0,12β	4α	13,033γ	30,9β	18α	1α	<0,5	<2,5

A: Alfisol, λ: οργανικό λίπασμα 0/1/2/3: δόσεις εφαρμογής των υλικών,
#Τεστ Tukey κατά στήλη (0,05).

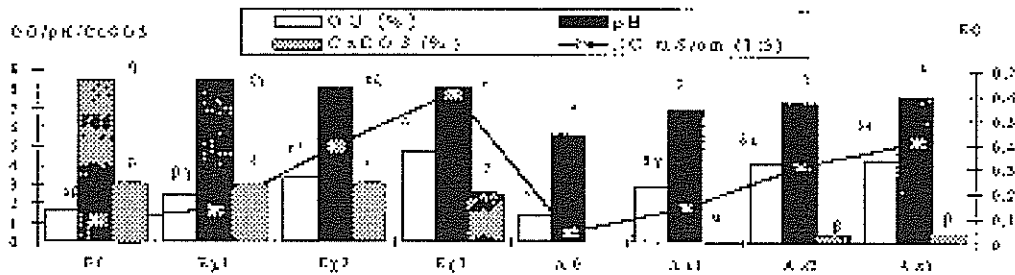
Πίνακας 4. Επίδραση οργανικού λιπάσιματος στην παραγωγή αφομοιώσιμων θρεπτικών στοιχείων μετά από περίοδο επώασης (mg/kg εδάφους).

Επεμβάσεις	P-Olsen	K	FeDTPA	MnDTPA	ZnDTPA	CuDTPA
A0	43.4α#	0.155α	21.9α	98.7α	1α	2.28β
Aλ1	48.7α	0.212β	21.8α	86α	0.6α	1.47αβ
Aλ2	61.7αβ	0.227β	28.9α	72α	0.8α	1.2α
Aλ3	78.5β	0.25β	25.2α	72α	0.77α	0.8α

A: Alfisol, λ: οργανικό λίπασμα, 0/1/2/3: δόσεις εφαρμογής των υλικών, K: εναλλακτική μορφή
#Τεστ Tukey κατά στήλη (0,05)

B. Επίδραση των υποπροϊόντων εκκοκκισμού και αποχώνωσης στις ιδιότητες των εδαφών

Υδατοδιαλυτά Συστατικά: Η εφαρμογή των υποπροϊόντων αύξησε σημαντικά την περιεκτικότητα του εδάφους σε ευκίνητες στο νερό μορφές Ca και K, που ανιχνεύθηκαν στο ενδιάμεσο στάδιο της περιόδου επώασης (Πίνακας 5). Στο σχετικό διάλυμα έκπλυσης, βρέθηκε αξιολογική αύξηση της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας. Γι' αυτό η τελική εκτίμηση της αλατότητας του εδάφους όπως μετρήθηκε στο τέλος της περιόδου επώασης (Σχήμα 2), δεν πρέπει να αξιολογηθεί ανεξάρτητα από την αλατότητα που απομάκρυνε η έκπλυση των υδατοδιαλυτών μορφών στο ενδιάμεσο του πειράματος. Πρακτικό συμπέρασμα αυτής της διαπίστωσης είναι η πιθανή αυξημένη αλατότητα του εδάφους σε χρόνο γειτονικό της εφαρμογής του υλικού αυτού στο έδαφος, αν δεν μεσολαβήσουν εν τω μεταξύ συνθήκες έκπλυσης.



Σχήμα 2: Επίδραση των απορριμμάτων εκκοκκισμού και ασχονόωσης βαμβακιού στις ιδιότητες των εδαφών μετά από περίοδο επώασης. (E,A: Entisol, Alfisol/ ΟΟ:οργανική ουσία / χ, ε: απόβλητα ασχονόωσης και εκκοκκισμού/ 0, 1, 2, 3: δόσεις εφαρμογής του αποβλήτου, αξιολόγηση διαφορών κατά Tukey 0,05 και κατά ιδιότητα)

Πίνακας 5. Επίδραση των απορριμμάτων στην παραγωγή υδατοδιαλυτών στοιχείων κατά την έκπλυση (mg/kg εδάφους).

Επεμβάσεις	EC Εκχύλισμα Έδαφος:H ₂ O,(1:5) mS/cm	P	K	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu
E0	0,37β#	0,5α	2α	347βγ	3,3α	13,6β	2,5β	<2,5
Eχ1	0,0608βγ	0,5α	10,7αβ	587γδ	3α	16,4β	2,8β	<2,5
Eχ2	0,722γδε	1αβ	18αβ	808δε	3,8β	16β	5γ	<2,5
Eχ3	0,892δε	2,4γ	20,2β	973ε	7,3β	15,5β	2,8β	<2,5
A0	0,07α	5,2ε	10,5αβ	5,72α	27,7γ	3,2α	<0,5	<2,5
Aε1	0,62βγδε	2βγ	98γ	36,4αβ	<2,5	0,5α	<0,5	<2,5
Aε2	0,96ε	3,7δ	160δ	46αβ	<2,5	1,2α	<0,5	<2,5
Aε3	1,24ζ	3,7δ	257ε	52,4αβ	<2,5	0,3α	<0,5	<2,5

E: Entisol, A: Alfisol, χ: Υλικό ασχονόωσης, ε: υλικό εκκοκκισμού, 0/1/2/3: δόσεις εφαρμογής των υλικών, #Τεστ Tukey κατά στήλη (0,05).

Γενικές ιδιότητες των εδαφών: Στο όξινο έδαφος (Alfisol) η εφαρμογή του υλικού (E) που προήλθε από τον εκκοκκισμό του βαμβακιού, εξουδετέρωσε την οξύτητα του όπως δείχνουν τα δεδομένα των προσδιορισμών επί των δειγμάτων, στο τέλος της περιόδου επώασης και το pH αυξήθηκε από 5,65 σε 7,68 για τη μεγαλύτερη δόση εφαρμογής του υλικού (E), (Σχήμα 2). Στο έδαφος αυτό η εφαρμογή του υλικού εκκοκκισμού προκάλεσε ανιχνεύσιμη αύξηση της περιεκτικότητας των επεμβάσεων σε CaCO₃ για τη μεγαλύτερη δόση εφαρμογής του από 0 σε 0,5%. Αντίθετα στο ασβεστούχο έδαφος (Entisol) η εφαρμογή του υλικού (X) που προήλθε από την χημική ασχονόωση του βαμβακιού με θειικό οξύ, μείωσε ελαφρώς το αρχικό pH του εδάφους από 8,50 σε 8,03 επίσης για τη μεγαλύτερη δόση

εφαρμογής του (X). Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία αυξάνει σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής των υλικών, σημειωτέον δε ότι πρόκειται για περιεκτικότητα στο τέλος της περιόδου επώασης και ήδη ένα σημαντικό ποσοστό έχει αποδομηθεί. Η αλατότητα επίσης των δειγμάτων αυξάνει σε συνάρτηση με την δόση των υλικών, δεν διαμορφώνονται όμως υψηλά επίπεδα αλατότητας για τα φυτά. (Σημειωτέον επίσης ότι ήδη η έκπλυση έχει απομακρύνει κατά το ενδιάμεσο της διάρκειας του πειραματισμού ένα σημαντικό ποσοστό των ευδιάλυτων συστατικών των επεμβάσεων).

Αφομοιώσιμα θρεπτικά: Η εφαρμογή των υλικών αύξησε την περιεκτικότητα των επεμβάσεων σε P-Olsen και K-εναλλακτικό (Πίνακας 6). Αυτό σε συνδυασμό με τις ήδη απομακρυνθείσες ποσότητες υδατοδιαλυτών, δείχνει το μέγεθος των διαθέσιμων ποσοτήτων θρεπτικών στοιχείων που παράγονται στα δείγματα με την εφαρμογή των υλικών της μελέτης. Όσον αφορά τα μικροθρεπτικά στατιστικά σημαντικές μεταβολές που παρατηρήθηκαν είναι οι μειώσεις των διαθέσιμων μορφών Fe και Mn στο Alfisol που προκάλεσε η εφαρμογή των υποπροϊόντων εκκοκκισμού (Πίνακας 6). Στα δείγματα αυτά η εφαρμογή αυτού του υλικού εξουδετέρωσε την οξύτητα του εδάφους και η μείωση της διαθεσιμότητας αυτών των μικροθρεπτικών, μάλλον πρέπει να συνδέεται με την αύξηση του pH των δειγμάτων (Χουλιαράς και συν., 1996). Όμως παρά την μείωση του FeDTPA αυτό διατηρείται σε πολύ υψηλά επίπεδα σε σχέση με τις ανάγκες των φυτών, επειδή δε το MnDTPA στο Alfisol βρίσκεται σε ανεπιθύμητα μεγάλα επίπεδα (κίνδυνος τοξικότητας), η εφαρμογή του υλικού (E) ευνοεί τον περιορισμό του (Loue, 86).

Δεν προκύπτει επίδραση με την εφαρμογή των υλικών στην περιεκτικότητα των δειγμάτων σε ανόργανο N (αδημοσίευτα δεδομένα). Είναι συνεπώς πιθανή η δύσκολη αποδόμηση του οργανικού άζωτου της ίνας του βαμβακιού, γι' αυτό φαίνεται πως όλες οι επεμβάσεις όσον αφορά την περιεκτικότητα σε ανόργανο άζωτο μοιάζουν με τον μάρτυρα. Συνεπώς τα προαναφερθέντα υλικά πρέπει να θεωρούνται ως υλικά αμφισβητούμενα όσον αφορά την ικανότητα τους να αποδώσουν αφομοιώσιμο άζωτο για τα φυτά. Οποσδήποτε ένα πείραμα υπαίθρου είναι πιο φερέγγυο για πιο αντικειμενική εκτίμηση του προβλήματος, γιατί η ανοργανοποίηση υπό συνθήκες επώασης είναι λιγότερο έντονη (Jensen and Paustian, 1989).

Πίνακας 6. Επίδραση των απορριμμάτων στην παραγωγή αφομοιώσιμων μορφών των θρεπτικών στοιχείων μετά την περίοδο επώασης (mg/kg εδάφους).

Επεμβάσεις	P-Olsen	K	FeDTPA	MnDTPA	ZnDTPA	CuDTPA
E0	26,4α#	149β	8,7α	4,2α	1α	<0,5
Eχ1	24,9α	170β	9,3α	5,7α	0,9α	<0,5
Eχ2	33,7α	181γ	8,7α	5α	1,3α	<0,5
Eχ3	36,7α	181γ	8α	3,9α	1,3α	<0,5
A0	43,4α	61α	21,9β	98,7γ	1β	2,3β
Aε1	122,9β	263β	10,9α	58β	1,2α	1,3α
Aε2	162γ	442ε	13,8αβ	71β	1,5α	1,6αβ
Aε3	168γ	580ζ	14,4αβ	76β	1,5α	1,2α

E: Entisol, A: Alfisol, χ/ε: προϊόν αποχλόωσης και εκκοκκισμού, 0/1/2/3: δόσεις εφαρμογής των υλικών, K: εναλλακτική μορφή, #Τεστ Tukey κατά στήλη (0,05)

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα δεδομένα του πειράματος εφαρμογής των υποπροϊόντων εκκοκκισμού και αποχνόωσης, σε σύγκριση με την εφαρμογή του οργανικού λιπάσματος εμπορίου, επιτρέπουν την παρακάτω συνοπτική αξιολόγηση:

- Όλα τα οργανικά υλικά (υποπροϊόντα και λίπασμα), αυξάνουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, τον αφομοιώσιμο Ρ και το αφομοιώσιμο Κ.
- Το οργανικό λίπασμα και τα υποπροϊόντα εκκοκκισμού βελτώνουν ουσιαστικά την οξύτητα των εδαφών, ενώ το υποπροϊόν της χημικής αποχνόωσης τείνει να ελαττώνει την αλκαλικότητα.
- Τα απορρίμματα του εκκοκκισμού και της αποχνόωσης του βαμβακιού αυξάνουν την αλατότητα των εδαφών ενώ το οργανικό λίπασμα επιφέρει ασήμαντη επίδραση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BLAINE, F., and J.R. MELTING, 1992. Soil Microbial Ecology. Marcel Dekker Inc.
- CHONE TH., F. JACQUIN, M. YAGHI: 1974. Emploi de ^{14}C et ^{45}Ca comme elements traceurs dse l'humification. Bull. ENSAIA, XV (1-2), 69-85.
- CHOULIARAS N., J.C. VEDY, and TSADILAS Chr: 1998. Speciation of Phosphate, Fe, Zn, Mn, Cu and their Availability in Soils Amended with Sweage Sludge. Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, FRANCE. Symposium 6, 8 p.
- GEMTOS, T., N. CHOULIARAS, and ST. MARAKIS, 1995. Vinsasse (Alcohol Industry Waste) Recycling in Agriculture. Proc. of 7th Intern. Symp. ISAGPW, Chicago, USA, 422 - 438.
- HECKMAN, J.R. and D. KLUCHINSKI, 1996. Chemical composition of municipal leaf waste and hand-collected urban leaf litter. J. Envir. Qual. 25:355-362.
- JENSEN, A., and K. PAUSTIAN: 1989. Nitrogen and Carbon transformation. "In" Jeans Aa Hansen and Henrikse. Nitrogen inorganic wastes applied to soils. Ed. Academic Press, 381 p.
- LOUE, A., 1986. Les Oligoelements en Agriculture, SCPA, Agri-Nathan, 339 p.
- NELSON, R.G., and R.A.FLORES, 1994. Survey of Processing Residues Generated by Kansas Agribusiness. Amer. Soc. of Agr. Engin. Vol. 10 (5): 703-708.
- PAR, J.F., R.I. PAPENDICK, S.B. HORNICK, and D. COLACICCO, 1989. Use of organic amendments for increasing the productivity of arid lands. Arid Soils Res. Rehabil. 3:149-170.
- ΣΙΑΔΗΡΑΣ, Ν., και Ν. ΧΟΥΛΙΑΡΑΣ., 1993. Επίδρασεις του συστήματος εδαφοκατεργασίας και αμειψιπορίας στη γονιμότητα των αγρών. Πρακτικά 4ου Παν/νίου Συν. Έλλην. Εδαφ. Εταιρείας, τόμος: Α, 25-39.
- ΧΟΥΛΙΑΡΑΣ, Ν., 1994. Η επίδραση της εφαρμογής οργανικών Υλικών στη γονιμότητα των Εδαφών. 5ο Πανελλήνιο Εδαφολ. Συνέδριο, Τόμος Α, 383-399.
- ΧΟΥΛΙΑΡΑΣ, Ν., 1995. Ρόλος του Εδάφους κατά την Ανακύκλωση των Οργανικών Αποβλήτων-Γεωργική Χρήση. ΤΕΙ/Α-ΣΠΕΚ, "Θεσσαλία", Σεμινάριο για τη Διαχείριση- Ανακύκλωση Αποβλήτων, 21 σ.
- ΧΟΥΛΙΑΡΑΣ, Ν., Χ.ΤΣΑΝΤΗΛΑΣ, Κ.ΤΣΙΤΣΙΑΣ, και Δ.ΔΗΜΟΓΙΑΝΝΗΣ. 1996. Επίδραση της Εφαρμογής Ιλύος Βιολογικού Καθαρισμού στη Σύσταση των Φυτικών Ιστών σίτου. 2ο Παν/νιο Συν/δριο ΓΕΩ-ΤΕΕ. Πρακτικά τόμος Α', 513-522.

5η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΕΛΔΑΦΟΣ & ΝΕΡΟ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Προεδρείο: Π. Καρακατσούλης, Γ. Τερζίδης,
Α. Πουλοβασίλης, Χ. Τζιμόπουλος,
Σ. Αγγελίδης, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος

Συγγραφείς: Α. Ευφραιμίδης

Γ. Τερζίδης, Ε. Αναστασιάδου-Παρθενίου, Ε. Χατζηγιαννάκης
Σ. Ελμαλόγλου, Μ. Μαλάμος
Μ. Σακελλαρίου, Ν. Μασλάρης, Δ. Καλφούντζος, Χ. Γούλας
Η. Τελόγλου, Θ. Ζήσης, Γ. Τερζίδης
Δ. Παπαμιχαήλ, Π. Γεωργίου, Δ. Καραμούζης, Γ. Παρισόπουλος
Χ. Τζιμόπουλος, Γ. Αραμπατζής
Χ. Τζιμόπουλος, Α. Σπυρίδης
Β. Κουτάλου, Στ. Γιαννόπουλος, Χ. Τζιμόπουλος,
Απ. Αρβανίτης, Μ. Τσακίρη
Μ.Θ. Μιμίδης, Σ.Μ. Αγγελίδης, Ν.Η. Χαλκίδης,
Χ. Καβαλιεράτου, Χ.Μπαμπατζιμόπουλος, Γ. Τερζίδης
Χ. Τερζούδη, Θ. Γέμτος
Β. Αντωνόπουλος, Α. Παυλάτου-Βε
Χ. Καβαλάρης, Θ. Γέμτος, Χ. Γεωργίου, Μ. Κουρκούτας
Ν.Γ. Δαναλάτος, Κ. Κοσμάς, Στ. Γερωντίδης, Μ. Μαραδιανού

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗΣ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Α. Ευφραιμίδης

Ηλεκτρονικός Μηχανικός ΤΕ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα σύγχρονα εγγειοβελτιωτικά έργα έχουν το χαρακτηριστικό της εκτεταμένης διασποράς των εγκαταστάσεών τους σε εκτάσεις δεκάδων χιλιομέτρων. Αντλιοστάσια, δεξαμενές, δι-κλείδες και άλλες τοπικές διατάξεις πρέπει να εργαστούν σύμφωνα με την μεταβολή ποικιλίας παραμέτρων του αρδευτικού δικτύου. Η πολυπλοκότητα της λογικής λειτουργίας των, υπαγορεύει την ύπαρξη ενός ενιαίου συστήματος αυτοματισμού, ενός "συστήματος τηλεπισκόπησης", που θα φροντίζει για το συντονισμό των επιμέρους συστημάτων, καθώς και για την απεικόνιση και καταγραφή των λειτουργικών παραμέτρων, σε μια θέση κεντρικού ελέγχου του συστήματος. Η δομή ενός τέτοιου συστήματος περιλαμβάνει επιμέρους σταθμούς αυτοματισμού που είναι σε άμεση επικοινωνιακή διασύνδεση με το κεντρικό σημείο ελέγχου. Με τη χρήση ενός τέτοιου συστήματος επιτυγχάνεται πλήρης και άμεση επίβλεψη ενός αρδευτικού δικτύου, με αποτέλεσμα την άριστη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

ABSTRACT

Modern waterworks have one common characteristic, consisting of several plants spread in areas of many kilometers. Pump-houses, tanks, valves and other local devices must operate according to the variation of several factors of the irrigation network. The complexity of their operation logic, makes necessary the existence of a unified automation system, a "remote-monitoring system", that will perform Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) functions over the several sub-stations, from a central control location. All these automation sub-stations will be in direct communication with the central control location. Applying such a system, in an irrigation network, leads us in full and direct supervision, accomplishing a perfect management of water resources.

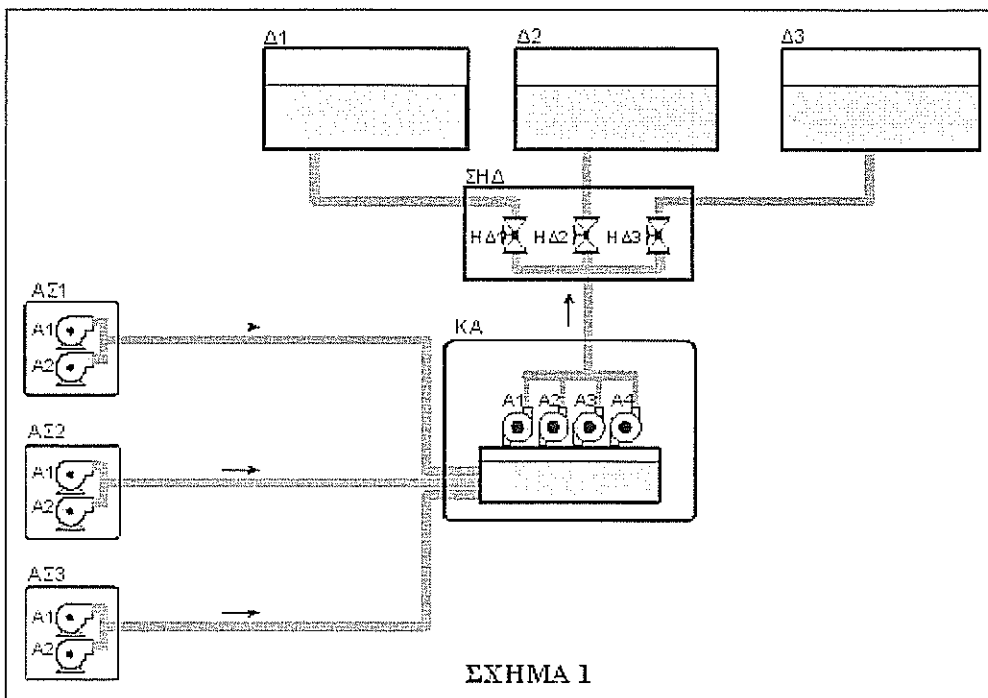
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εδώ και αρκετά χρόνια τώρα, ο κύριος όγκος των αρδεύσιμων εκτάσεων στην Ελληνική γη εξυπηρετείται από ιδιωτικές γεωτρήσεις. Η ανεξέλεγκτη χρήση των υδάτινων πόρων οδήγησε σε σημαντική πτώση του υδροφόρου ορίζοντα της κάθε περιοχής, κάνοντας αρκετά δύσκολη την ανεύρεση υδροφορέων και ανεβάζοντας σημαντικά το κόστολόγιο των αντλητικών συστημάτων. Τα προβλήματα αυτά αναμένεται να γίνουν ακόμη πιο έντονα στα χρόνια που θα ακολουθήσουν. Η ανάγκη για την κατασκευή ολοκληρωμένων εγγειοβελτιωτικών έργων, καθώς και για την αυτοματοποίηση και επέκταση των υπαρχόντων είναι επιτακτική. Τα δίκτυα εγγείων βελτιώσεων συνήθως καταλαμβάνουν εκτάσεις αρκετών δεκάδων χιλιομέτρων μέσα στις οποίες υπάρχουν διάσπαρτες διατάξεις που φροντίζουν για την άντληση και μεταφορά του νερού (δίκτυα μεταφοράς), την αποθήκευση (δεξαμενές) και την διανομή (δίκτυα εφαρμογής). Ο αυξημένος αριθμός των διατάξεων και η πολυπλοκότητα των λειτουργιών τους, κάνει απαραίτητη την ύπαρξη ενός συστήματος αυτοματοποίησης της λειτουργίας του κάθε αρδευτικού δικτύου.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να εξετάσει μερικές τυπικές διατάξεις αυτοματισμού που συναντώνται σε ολοκληρωμένα αρδευτικά δίκτυα, τη λογική λειτουργίας τους και πως αυτές στη συνέχεια μπορούν να ενταχθούν σε ένα σύστημα τηλεπισκόπησης. Ιδιαίτερο βάρος δίνεται στην ανάλυση των δυνατοτήτων που παρέχονται από ένα σύστημα τηλεπισκόπησης. Τα ουσιαστικά οφέλη που προκύπτουν αναφέρονται μεν, αλλά μια εις βάθος ανάλυση των λειτουργικών παραμέτρων που θα καταγραφούν από ένα εν λειτουργία σύστημα καθώς και συμπεράσματα από αυτή δεν δίνονται, μια και είναι εκτός του γνωστικού αντικείμενου του συγγραφέα. Θα ήταν όμως επιθυμητό να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής μελέτης, σε συνδυασμό με ερευνητές, γνώστες των απαιτήσεων ενός αρδευτικού συστήματος από την πλευρά της γεωργίας.

ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Προκειμένου να εξετάσουμε τις διατάξεις που μπορεί να συναντήσουμε σε ένα δίκτυο μεταφοράς, δημιουργούμε το υποθετικό δίκτυο του σχήματος 1. Στο δίκτυο αυτό τα αντλιοστάσια ΑΣ1, ΑΣ2 και ΑΣ3 είναι υπεύθυνα για την άντληση και αποστολή νερού από τα σημεία υδροληψίας προς το κεντρικό αντλιοστάσιο ΚΑ. Σε κάθε αντλιοστάσιο υπάρχουν δυο αντλίες (πχ στο ΑΣ1 οι αντλίες ΑΣ1-Α1 και ΑΣ1-Α2), κυρίως για λόγους ασφαλείας. Στο ΚΑ συγκεντρώνεται το νερό σε δεξαμενή μικρής χωρητικότητας (ΚΑ-Δ), απ' όπου με αντλίες επιφανείας (ΚΑ-Α1, ΚΑ-Α2, ΚΑ-Α3 και ΚΑ-Α4) αποστέλλεται προς τις δεξαμενές Δ1, Δ2 και Δ3. Οι δεξαμενές αυτές βρίσκονται στα υψηλότερα σημεία της υπό άρδευσης περιοχής και σε τέτοιο υψόμετρο, ώστε να εξασφαλίζεται η ζητούμενη πίεση στο δίκτυο εφαρμογής. Τη ροή του νερού προς τις Δ1, Δ2 και Δ3 ρυθμίζουν οι αντίστοιχες ηλεκτρικές δικλείδες ΣΗΔ-ΗΔ1, ΣΗΔ-ΗΔ2 και ΣΗΔ-ΗΔ3 που βρίσκονται στο Σταθμό Ηλεκτρικών Δικλείδων ΣΗΔ.



Προκειμένου το εν λόγω δίκτυο μεταφοράς να έχει βέλτιστη λειτουργία πρέπει να δουλεύει σύμφωνα με την ακόλουθη λογική:

- Οι δεξαμενές πρέπει ανά πάσα στιγμή να είναι κατά το δυνατό γεμάτες, ώστε να υπάρχει σταθερή πίεση στο δίκτυο εφαρμογής και μέγιστη αποθήκευση νερού για λόγους ασφαλείας.
- Σε κάθε αντλιοστάσιο από τα Α1, Α2 και Α3 υπάρχουν δυο αντλίες οι οποίες κάτω από συνθήκες κανονικής κατανάλωσης πρέπει να εναλλάσσονται, ώστε να υπάρχει ισομερής κατανομή της φθοράς, ενώ κάτω από συνθήκες αυξημένης ζήτησης νερού πρέπει να δουλεύουν και οι δυο. Σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης στη μια, η λειτουργία της δεύτερης πρέπει να συνεχίζει κανονικά.
- Οι τέσσερις αντλίες επιφανείας ΚΑ-Α1, ΚΑ-Α2, ΚΑ-Α3 και ΚΑ-Α4 που βρίσκονται στο ΚΑ φροντίζουν ώστε το νερό που συγκεντρώνεται στην τοπική δεξαμενή, να αποστέλλεται προς τις Δ1, Δ2 και Δ3. Πρέπει και αυτές να δουλεύουν βάση προγράμματος εναλλαγής, με δυνατότητα αποκλεισμού κάποιας από αυτές για λόγους επισκευής ή συντήρησης.
- Η ρύθμιση των ηλεκτρικών διαλκείδων ΣΗΔ-ΗΔ1, ΣΗΔ-ΗΔ2 και ΣΗΔ-ΗΔ3 πρέπει να επιτρέπει την ακριβή ρύθμιση της ποσότητας του νερού που πηγαιίνει προς κάθε δεξαμενή.

Θεωρώντας τώρα ότι από τις δεξαμενές Δ1, Δ2 και Δ3 ξεκινά το δίκτυο εφαρμογής, υποθέτουμε ότι πρόκειται για ένα υπόγειο, υπό πίεση δίκτυο, όπου η άρδευση των αγροτεμαχίων γίνεται μέσω αρδευτικών κεφαλών, στις οποίες έχουν ενσωματωθεί μετρητές παροχής (υδροόμετρα) και μετρητές πίεσης. Μέσω αυτών των μετρητών θα επιτευχθεί έλεγχος της ποσότητας νερού που χρησιμοποιεί ο κάθε αρδευτής, ώστε να αποφευχθεί τυχούσα σπατάλη. Παράλληλα, εάν είναι επιθυμητό, μπορεί να γίνει και χρέωση των σχετικών ποσοτήτων, ώστε να εξασφαλίζονται οι πόροι για τη συντήρηση των εγκαταστάσεων.

Όλες οι παραπάνω παραδοχές στην αρχιτεκτονική του δικτύου, έχουν γίνει για λόγους παραστατικότερης απεικόνισης των λειτουργιών του, μια και ο αντικειμενικός σκοπός της εργασίας είναι να φανεί η προσαρμογή του συστήματος αυτοματοποίησης και οι δυνατότητες που παρέχονται.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟΠΙΚΟΥΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Στην περίπτωση που το παραπάνω αρδευτικό δίκτυο λειτουργούσε με απλούς ηλεκτρολογικούς αυτοματισμούς, που ελέγχονταν τοπικά, σε κάθε θέση θα είχαμε τις εξής βασικές λειτουργίες:

Αντλιοστάσια ΑΣ1, ΑΣ2 και ΑΣ3:

- Χειροκίνητη εκκίνηση και στάση των αντλιών.
- Ένδειξη βλάβης της κάθε αντλίας, με απεικόνιση της αιτίας που την προκάλεσε (υπερθέρμανση, βλάβη δικτύου ΔΕΗ, εν ξηρώ λειτουργία κτλ.).
- Ένδειξη ωρών λειτουργίας της κάθε αντλίας.
- Ένδειξη πίεσης του νερού στην έξοδο των αντλιών.

Κεντρικό Αντλιοστάσιο ΚΑ:

- Αυτόματη εκκίνηση και στάση των αντλιών, βάση της στάθμης του νερού στη τοπική δεξαμενή.
- Ένδειξη βλάβης για την κάθε αντλία, με απεικόνιση της αιτίας που την προκάλεσε.
- Ένδειξη ωρών λειτουργίας της κάθε αντλίας.
- Ένδειξη πίεσης του νερού στην έξοδο των αντλιών.

Σταθμός Ηλεκτρικών Δικλιδών ΣΗΔ:

- Άνοιγμα και κλείσιμο της κάθε δικλίδας, με δυνατότητα ρύθμισης και σε οποιαδήποτε ενδιάμεση θέση.
- Απεικόνιση της παροχής στην έξοδο της κάθε δικλίδας, ώστε να είναι γνωστή η ποσότητα του νερού που πηγαίνει προς την κάθε δεξαμενή.
- Ένδειξη βλάβης για την κάθε δικλίδα με απεικόνιση της αιτίας που την προκάλεσε.

Δεξαμενές Δ1, Δ2 και Δ3

- Απεικόνιση της στάθμης του αποθηκευμένου ύδατος.
- Απεικόνιση του όγκου αποθηκευμένου ύδατος, βάση συνάρτησης συσχετισμού με τη στάθμη.
- Απεικόνιση της παροχής προς το δίκτυο εφαρμογής.

Για τη λειτουργία του δικτύου θα πρέπει να υπάρχει υπεύθυνος υδρονομέας ο οποίος θα επιθεωρεί τη στάθμη των δεξαμενών και τη ζήτηση από τους αρδευτές, στη συνέχεια θα ρυθμίζει τη θέση των δικλιδών και κατόπιν θα ενεργοποιεί τις αντλίες των ΑΣ1, ΑΣ2 και ΑΣ3. Ο κύκλος αυτός θα πρέπει να επαναλαμβάνεται καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, για να αντισταθμίζονται οι αυξομειώσεις της ζήτησης, χωρίς να αδειάζουν οι δεξαμενές και χωρίς να υπερχειλίζουν. Παράλληλα ανά τακτά χρονικά διαστήματα θα πρέπει να γίνεται επιθεώρηση των υδρομέτρων του δικτύου εφαρμογής και καταγραφή των μετρήσεων.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Από την παραπάνω περιγραφή και μόνο μπορεί να γίνει φανερό ότι βέλτιστη λειτουργία του δικτύου είναι αδύνατο να υπάρξει. Οι αποστάσεις που χωρίζουν συνήθως τα διάφορα σημεία του δικτύου είναι της τάξεως των μερικών δεκάδων χιλιομέτρων οδικώς. Σε αρκετές περιπτώσεις η απότομη μορφολογία της Ελληνικής γης κάνει την πρόσβαση ακόμη δυσκολότερη. Τα προβλήματα της παραπάνω λύσης θα μπορούσαν να συνοψιστούν στα εξής:

- Αυξημένος αριθμός εργατικού προσωπικού.
- Σπατάλη καυσίμων για τη συνεχή επιθεώρηση των σταθμών του συστήματος.
- Αδύνατη η επίτευξη του στόχου για διαρκή πληρότητα των δεξαμενών.
- Οι δεξαμενές μπορεί πολύ εύκολα να υπερχειλίσουν, σπαταλώντας νερό.
- Οι δεξαμενές μπορεί πολύ εύκολα να αδειάσουν, διακόπτοντας την παροχή νερού προς τους αρδευτές.
- Δύσκολη και αργή η αναγνώριση βλάβης σε κάποιο σημείο του δικτύου.
- Επίπονη, χρονοβόρα και σε ορισμένες περιπτώσεις ασύμφορη, η καταγραφή των λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Το πρώτο βήμα για την αυτοματοποίηση του αναφερθέντος αρδευτικού δικτύου είναι να τοποθετηθούν Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (βλ. Παράρτημα) στους προϋπάρχοντες ηλεκτρολογικούς πίνακες. Σκοπός της κίνησης αυτής είναι να μπορούν να ελεγχθούν όλες οι προαναφερθείσες λειτουργίες και μετρήσεις από το PLC. Σημειωτέον ότι η διασύνδεση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το παλιό κύκλωμα να μην καταργείται, αλλά να μπορεί να δουλέψει παράλληλα, εάν αυτό γίνει επιθυμητό.

Κατά τη σχεδίαση του συστήματος τηλεπισκόπησης ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στο επικοινωνιακό δίκτυο που θα αναπτυχθεί. Η αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των σταθμών κρίνεται κατά ένα μεγάλο βαθμό την επιτυχή λειτουργία του δικτύου άρδευσης. Σε πρώτη φάση γίνεται επιλογή του τρόπου επικοινωνίας. Εάν αυτή είναι ενσύρματη συνήθως έχουμε να διαλέξουμε ανάμεσα στις περιπτώσεις δικτύου ΟΤΕ (απλού ή ISDN), μισθωμένων γραμμών, βιομηχανικού δικτύου RS-485 ή οπτικών ινών. Εάν καταφύγουμε σε ασύρματη επικοινωνία μπορούμε να διαλέξουμε radio modems στις περιοχές VHF, UHF, microwave ή να χρησιμοποιήσουμε το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM.

Προκειμένου να γίνει επιλογή ανάμεσα στους παραπάνω τρόπους θα πρέπει να εξεταστούν:

- Ποιες λύσεις είναι διαθέσιμες στην περιοχή του έργου.
- Επιθυμητή ταχύτητα επικοινωνίας.
- Κόστος εγκατάστασης.
- Αποστάσεις των σημείων.
- Μορφολογία του εδάφους.
- Μέσος ημερήσιος χρόνος επικοινωνίας.

Εάν είναι σκόπιμο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι από ένας τρόποι επικοινωνίας, για παράδειγμα ένα κομμάτι του δικτύου να επικοινωνεί ενσύρματα, ενώ κάποιο άλλο ασύρματα.

Για την ευκολότερη επίβλεψη του αρδευτικού δικτύου συνήθως δημιουργείται μια θέση κεντρικού ελέγχου, από όπου μπορούμε να γνωρίζουμε τη λειτουργική κατάσταση όλων των μονάδων του συστήματος. Το σημείο αυτό μπορεί να βρίσκεται σε κάποιο από τους είδη υπάρχοντες σταθμούς (πχ Κεντρικό Αντλιοστάσιο) ή σε ένα ανεξάρτητο σημείο (γραφεία υπηρεσίας). Στο σημείο ελέγχου μπορεί να υπάρχει πίνακας με μιμικό διάγραμμα, όπου θα απεικονίζονται παραστατικά τα στοιχεία του συστήματος και η κατάστασή τους. Η ύπαρξη αυτού του πίνακα δεν είναι απαραίτητη, μια και οι ίδιες λειτουργίες μπορούν να γίνουν και μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή που περιγράφεται στη συνέχεια, όμως συνίσταται γιατί επιτρέπει το χειρισμό του συστήματος από προσωπικό που δεν είναι εξοικειωμένο με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Παράλληλα με τον πίνακα ελέγχου, οι τρέχουσες παράμετροι του συστήματος θα οδηγούνται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου θα αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων. Τα στοιχεία αυτά θα μπορούν να ανακαλεστούν ανά πάσα στιγμή και θα είναι διαθέσιμα για επεξεργασία σε προγράμματα στατιστικής ανάλυσης. Ειδικό κομμάτι του προγράμματος θα διαχειρίζεται τις μετρήσεις των ηλεκτρονικών υδρομετρητών του δικτύου εφαρμογής.

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΥ ΠΡΟΣΦΕΡΟΝΤΑΙ

Σύμφωνα με την παραδοχή που έγινε πριν, ότι θα υπάρχει ξεχωριστός πίνακας ελέγχου της λειτουργίας του αρδευτικού δικτύου, στον πίνακα αυτό θα εμφανίζονται όλοι οι έλεγχοι και οι ενδείξεις που αναφέρθηκαν ότι θα γίνονται τοπικά σε προηγούμενη παράγραφο. Αναλυτικά από τον πίνακα αυτό θα υπάρχουν οι εξής δυνατότητες:

- Απεικόνιση της λειτουργικής κατάστασης όλων των αντλιών (λειτουργία, στάση, βλάβη).
- Σε περίπτωση βλάβης σε κάποια από τις αντλίες, αιτία της βλάβης (υπερθέρμανση, βλάβη ΔΕΗ κτλ).
- Πίεση του νερού στην έξοδο των αντλιών, από όπου θα μπορεί να ανιχνευθεί διαρροή (πτώση της πίεσης) ή φραγή (άνοδος της πίεσης), στους αγωγούς μεταφοράς.

- Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των αντλιών είτε χειροκίνητα, είτε αυτόματα βάσει αποθηκευμένου προγράμματος.
- Απεικόνιση της θέσης των ηλεκτρικών δικλιδών.
- Απεικόνιση της παροχής προς κάθε μια από τις δεξαμενές.
- Βλάβη των ηλεκτρικών δικλιδών (υπερθέρμανση, φραγή κτλ).
- Ρύθμιση της θέσης των ηλεκτρικών δικλιδών είτε χειροκίνητα, είτε βάσει προγράμματος.
- Στάθμη αποθηκευμένου ύδατος στις δεξαμενές.
- Όγκος αποθηκευμένου ύδατος, βάσει συνάρτησης συσχετισμού με τη στάθμη.
- Παροχή των δεξαμενών προς το δίκτυο εφαρμογής, ώστε σύμφωνα με αυτή να γίνεται επιλογή του αριθμού των αντλιών που θα ενεργοποιηθούν. Να σημειωθεί εδώ ότι επιλογή του αριθμού των αντλιών, καθώς και της θέσης των ηλεκτρικών δικλιδών μπορεί να γίνεται και με εφαρμογή διαφορίσης στη μέτρηση της στάθμης των δεξαμενών. Με αυτή τη μέθοδο γίνεται ανίχνευση της τάσης που έχουν οι στάθμες των δεξαμενών για άνοδο ή κάθοδο, καθώς και η ταχύτητα μεταβολής τους, ώστε να αποφασίζεται εάν πρέπει να ενεργοποιηθούν και άλλες αντλίες ή αν κάποιες από αυτές που ήδη δουλεύουν πρέπει να σταματήσουν.
- Σήμανση συναγερμού σε περίπτωση που πέσει η πίεση σε κάποια από τις αρδευτικές κεφαλές, λόγω διαρροής.

Από το πλήθος των παραπάνω λειτουργιών, γίνεται φανερό ότι εάν το σύστημα ήταν λίγο μεγαλύτερο σε αριθμό υποσταθμίων θα ήταν δύσκολη, έως αδύνατη η κατασκευή αυτού του πίνακα λόγω υπερβολικά μεγάλου μεγέθους. Σε αυτή τη περίπτωση η λύση του ελέγχου, μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, θα ήταν επιβεβλημένη.

Η καταγραφή και η επεξεργασία των λειτουργικών παραμέτρων είναι απαραίτητο να γίνει με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η καταχώρηση των μετρήσεων μπορεί να γίνεται σε πραγματικό χρόνο, με ταυτόχρονη καταχώρηση της ώρας και ημέρας μέτρησης. Αναλυτικά θα καταγράφονται:

- Παροχή των αντλιοστασίων.
- Ώρες λειτουργίας των αντλιών.
- Παροχή των δεξαμενών.
- Πίεση του δικτύου.
- Διαθεσιμότητα των διατάξεων που απαρτίζουν το δίκτυο.
- Καταναλισζόμενες ποσότητες από τους αρδευτές.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ

Από όλες τις προηγούμενες παραγράφους, έχουν ήδη αρχίσει να διαφαίνονται τα πλεονεκτήματα χρήσης ενός συστήματος τηλεπισκόπησης, σε ένα αρδευτικό δίκτυο. Όλα τα προβλήματα που προέκυψαν κατά τη λειτουργία του με τοπικούς αυτοματισμούς λύνονται. Να σημειωθεί εδώ ότι η ποσότητα των υποσταθμίων που πάρθηκε ως παράδειγμα, απαρτίζει ένα δίκτυο μικρής ή μέσης έκτασης. Σε μεγάλα αρδευτικά έργα, είναι πλέον αδύνατη η λειτουργία, χωρίς την εφαρμογή συστήματος τηλεπισκόπησης.

Πέρα όμως από την επίλυση των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν προκύπτουν και κάποια έμμεσα πλεονεκτήματα από την καταγραφή και επεξεργασία των λειτουργικών παραμέτρων. Η αποδοτικότητα των σημείων άντλησης καταγράφεται για όλες τις εποχές του χρόνου. Η αντίληψη της μεταβολής από χρονιά σε χρονιά είναι άμεση. Εάν αυτές οι μετρήσεις συνδυαστούν με τη καταγραφή της ζήτησης από τους αρδευτές μπορεί να υπάρξει πλήρης προγραμματισμός των αρ-

δεύσεων. Μπορούν να αποφασιστούν αλλαγές στα είδη των καλλιεργειών που θα φιλοξενηθούν στην περιοχή και να γίνει επιλογή του τρόπου αρδύσεως. Οποιοσδήποτε προσθήκες ή μετατροπές αποφασισθούν στο δίκτυο άρδευσης θα έχουν σχεδόν βέβαιη επιτυχία μια και θα είναι προϊόντα συστηματικών μελετών, επάνω σε ολοκληρωμένες μετρήσεις. Εάν στο σύστημα τηλεπισκόπησης συνδεθεί και μετεωρολογικός σταθμός θα υπάρχει και άμεσος συσχετισμός των αρδύσεων με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.

Σίγουρα κάποιος ερευνητής, σχετιζόμενος με το αντικείμενο της γεωργίας θα μπορούσε να βρει και άλλες εφαρμογές του συστήματος τηλεπισκόπησης. Όμως τα παραπάνω μπορούν να αποτελέσουν ένα συστηματικό σημείο εκκίνησης για την εφαρμογή συστημάτων αυτού του τύπου, καθώς και των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από τη χρήση τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ύπαρξη ολοκληρωμένων δικτύων άρδευσης, για την κάλυψη των αναγκών της γεωργικής μας παραγωγής, είναι επιβεβλημένη. Η έκταση των δικτύων επιβάλλει την ύπαρξη συστημάτων τηλεπισκόπησης των λειτουργιών τους. Η εφαρμογή της λύσης αυτής βοηθάει σε ιδανικό έλεγχο των λειτουργιών τους. Η παρακολούθηση των λειτουργικών τους παραμέτρων, μέσα από πρόγραμμα καταγραφής σε ηλεκτρονικό υπολογιστή οδηγεί σε βέλτιστο προγραμματισμό της τακτικής αρδύσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLCs)

Οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (Programmable Logic Controllers) είναι συσκευές που έχουν τη δομή απλοποιημένου ηλεκτρονικού υπολογιστή, αλλά σε μορφή κατάλληλη για να δουλέψουν απροβλημάτιστα σε βιομηχανικό περιβάλλον. Προορίζονται για να επιτελέσουν συγκεκριμένες λειτουργίες αυτοματισμού, σύμφωνα με πρόγραμμα που έχουν αποθηκευμένο. Ξεκίνησαν να εφαρμόζονται στη βιομηχανία για αυτοματοποίηση μηχανών παραγωγής.

Ένα PLC αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω τμήματα:

- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας, όπου υπάρχουν ο μικροεπεξεργαστής (CPU), η μνήμη αποθήκευσης του προγράμματος (ROM) και η μνήμη αποθήκευσης δεδομένων (RAM). Φροντίζει για την εκτέλεση των λογικών λειτουργιών.
- Μονάδες Ψηφιακών Εισόδων (Digital Inputs). Κάθε είσοδος μπορεί να δεχτεί δυο μόνο καταστάσεις (πατημένος διακόπτης-μη πατημένος διακόπτης, ορθή λειτουργία αντλίας-βλάβη, κανονική τάση ΔΕΗ-βλάβη ΔΕΗ κτλ).
- Μονάδες Ψηφιακών Εξόδων (Digital Outputs). Μπορούν να εξομοιώσουν τη λειτουργία ενός διακόπτη δυο θέσεων (αναμμένη λάμπα-σβηστή λάμπα, εκκίνηση αντλίας-στάση αντλίας κτλ).
- Μονάδες Αναλογικών Εισόδων (Analog Inputs). Μπορούν να δεχθούν τη μέτρηση ενός αναλογικού μεγέθους με συνεχή τιμές μεταξύ κάποιων ορίων (μέτρηση πίεσης νερού για τιμές από 0 μέχρι 25 bar, μέτρηση στάθμης στη δεξαμενή 0-10m κτλ).
- Μονάδες Αναλογικών Εξόδων (Analog Outputs). Μπορούν να ρυθμίσουν τη τιμή σε μια παράμετρο που παίρνει συνεχείς τιμές σε ένα ορισμένο διάστημα (ρύθμιση στροφών σε ένα κινητήρα κτλ).
- Μονάδες επικοινωνίας (Communication Ports & Modems). Φροντίζουν για την επικοινωνιακή διασύνδεση ώστε να εξασφαλίζεται ανταλλαγή δεδομένων με άλλα PLCs ή με Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές. Ανάλογα με τον τύπο του modem που θα χρησιμοποιηθεί η επικοινωνία μπορεί να γίνει ενσύρματα (δίκτυο ΟΤΕ, μισθωμένες γραμμές, οπτικές ίνες κτλ) ή ασύρματα (VHF, UHF, GSM κτλ).

- Μονάδα Τροφοδοσίας (Power Supply Unit). Φροντίζει για την τροφοδοσία των κυκλωμάτων του PLC με κατάλληλη ηλεκτρική τάση. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να δεχθεί σύνδεση με μπαταρία, ώστε να εξακολουθήσει η λειτουργία της συσκευής ακόμη και στην περίπτωση βλάβης της τάσης δικτύου.

Συνοπτικά η λειτουργία του PLC έχει ως εξής: Το αποθηκευμένο πρόγραμμα δίνει εντολή για ανάγνωση των εισόδων. Ανάλογα με την κατάσταση που θα βρίσκονται αυτές, εκτελείται σχετική προγραμματισμένη λειτουργία στις εξόδους. Κατά το προγραμματισμό μπορούν να τεθούν χρονικές καθυστερήσεις ανάμεσα στη διαδοχή γεγονότων, με μεγάλη ακρίβεια. Ο κύκλος ανάγνωσης των εισόδων εκτελείται αδιάκοπα.

Πολύ σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές τηλεπισκοπίσεις παίζουν και οι θύρες σειριακής επικοινωνίας, γιατί από αυτές γίνεται ανταλλαγή της λειτουργικής κατάστασης με τους υπόλοιπους σταθμούς του αρδευτικού δικτύου. Με αυτόν το τρόπο για παράδειγμα, θα πληροφορηθούν τα PLCs των αντλιοστασίων για την έλλειψη νερού στις δεξαμενές και θα δώσουν εντολές εκκίνησης προς τις αντλίες.

ΑΠΛΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΕ ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΙΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΣ ΚΑΤΑΒΑΘΜΟΥΣ

Γ. Τερζίδης, Ε. Αναστασιάδου-Παρθενίου και Ε. Χατζηγιαννάκης

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται δύο απλές εξισώσεις για τον υπολογισμό της παροχής σε τραπεζοειδή διώρυγα που καταλήγει σε καταβαθμίο ελεύθερης υδατόπτωσης, όταν είναι γνωστό το ακραίο βάθος. Επίσης παρουσιάζεται και μία εμπειρική λογαριθμική αδιάστατη εξίσωση στάθμης-παροχής. Οι εξισώσεις αυτές προσφέρονται για πρακτικούς υπολογισμούς στο ύπαιθρο. Οι παροχές που υπολογίζονται με τις απλές αυτές σχέσεις συγκρίνονται με τα αποτελέσματα εξισώσεων καθώς και με πειραματικές μετρήσεις άλλων ερευνητών, που έγιναν σε τραπεζοειδείς αγωγούς διαφόρων μεγεθών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν πολύ ικανοποιητικά.

SIMPLE METHOD FOR DISCHARGE PREDICTIONS IN TRAPEZOIDAL FREE OVERFALLS

G. Terzidis, E. Anastasiadou-Partheniou and E. Hatzigiannakis

*Department of Hydraulics, Soil Science and Agr. Engineering
School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki*

ABSTRACT

Two simple equations are presented in this work for discharge predictions in a trapezoidal channel ending at a free overfall from measured values of the brink depth. An empirical logarithmic nondimensional equation relating discharge and water level is also presented here. The presented equations are suitable for field computations using only a hand calculator. The values of discharge obtained using these simple equations are compared with computed data and experimental data of other investigators obtained in trapezoidal channels with different geometrical characteristics of the cross section. Results seem to be in very good agreement with experimental data.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρά την ευρεία χρήση των τραπεζοειδών διωρύγων για μεταφορά νερού για αρδευτικούς και άλλους σκοπούς, λόγω της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας της διατομής τους, ο υπολογισμός της παροχής σ' αυτές γίνεται με πεπλεγμένες σχέσεις, που απαιτούν αριθμητικές λύσεις και ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η δυσκολία αυτή υπολογισμού της παροχής μπορεί να ξεπεραστεί με χρήση των καταβαθμών ελεύθερης υδατόπτωσης ως οργάνων μέτρησης.

Είναι γνωστό ότι οι καταβαθμοί ελεύθερης υδατόπτωσης, που κατασκευάζονται συχνά μέσα στις διώρυγες για μείωση απότομων κλίσεων και προστασία από διαβρώσεις, μπορούν να χρη-

αμοιωθηούν και ως όργανα μέτρησης της παροχής. Για το λόγο αυτό αρκεί να γνωρίζουμε τη σχέση του βάθους ροής στο χείλος του καταβαθμού προς το κρίσιμο βάθος, σε περίπτωση υποκρίσιμης ροής. Η εξαγωγή μιας τέτοιας σχέσης, ήταν κοινός στόχος των περισσότερων ερευνητών που κατά καιρούς ασχολήθηκαν με καταβαθμούς διαφόρων διατομών.

Ο ορθογωνικός καταβαθμός ήταν ο πρώτος που μελετήθηκε (Rouse, [27]) λόγω της απλότητας της διατομής του. Στη βιβλιογραφία βρίσκει κανείς διάφορες τιμές, θεωρητικές ή πειραματικές, της σχέσης του ακραίου βάθους προς το κρίσιμο βάθος (y_c/y_c). Στον πίνακα 1 δίνονται οι τιμές αυτής της σχέσης για ορθογωνικό καταβαθμό, καθώς και οι ερευνητές που τις έβγαλαν και η πορεία που ακολούθησαν.

Η έρευνα του τριγωνικού καταβαθμού άρχισε το 1961 (Diskin, [10]). Οι τιμές της σχέσης y_c/y_c , οι ερευνητές που τις έβγαλαν και η πορεία που ακολούθησαν δίνονται επίσης στον Πίνακα 1. Η διακύμανση των τιμών y_c/y_c οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και το μέγεθος της διατομής, η μη υδροστατική κατανομή της πίεσης στο χείλος του καταβαθμού, και η τραχύτητα των τοιχωμάτων του, καθώς και το αν ο κρουσός του νερού αμέσως μετά το χείλος είναι από τα πλάγια περιορισμένος ή εντελώς ελεύθερος.

Όσον αφορά τον καταβαθμό τραπεζοειδούς διατομής ο Diskin [10] έκανε την πρώτη θεωρητική και πειραματική μελέτη και οι Rajaratnam [23], Hamid [13] και Replogle [26] παρουσίασαν σημαντικές Εργασίες-Συζητήσεις πάνω στην εργασία του. Οι Ερευνητές αυτοί βασίστηκαν στην εξίσωση ποσότητας κίνησης θεωρώντας ότι η πίεση στο χείλος είναι μηδενική. Οι Rajaratnam και Muralidhar [25], Neogy [19], και Ali και Sykes [1] κατέληξαν σε πολύπλοκες σχέσεις ή διαγράμματα. Οι Keller και Fong [16] θεωρώντας την τραπεζοειδή διατομή ως συνδυασμό ορθογωνικής και τριγωνικής διατομής και παίρνοντας υπόψη την κατανομή της πίεσης στο χείλος του καταβαθμού, χρησιμοποιώντας για το συντελεστή κατανομής της πίεσης μια σταθμισμένη ως προς τις διατομές τιμή, κατέληξαν σε μια εξίσωση έκτου βαθμού ως προς το αδιάστατο κρίσιμο βάθος. Οι Τερζίδης και Αναστασιάδου-Παρθενίου ([32], [33]) χρησιμοποιώντας την εξίσωση συνέχειας, βασιζόμενοι στην ίδια θεώρηση της τραπεζοειδούς διατομής ως συνδυασμού ορθογωνικής και τριγωνικής, και χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του συντελεστή συστολής των Replogle [26] και Rajaratnam και Muralidhar [24], κατέληξαν σε μια απλή δευτεροβάθμια εξίσωση ως προς το αδιάστατο κρίσιμο βάθος.

Οι Gupta, Jamil και Mohsin [11] παρουσίασαν μια καμπύλη στάθμης-παροχής για τραπεζοειδείς αγωγούς με μηδενική, αρνητική και θετική κλίση πυθμένα, η οποία προέκυψε από στατιστική ανάλυση πειραματικών δεδομένων άλλων ερευνητών. Σχεδόν όλοι οι παραπάνω ερευνητές ασχολήθηκαν αποκλειστικά με υποκρίσιμη ροή. Μόνον οι Hager [12] και Τερζίδης [31] έχουν επεκτείνει τις έρευνές τους σε υπερκρίσιμη ροή.

Ο Χατζηγιαννάκης [14] και οι Αναστασιάδου-Παρθενίου και Χατζηγιαννάκης [3] προσομοιάζοντας τη ροή πάνω από τον καταβαθμό με ροή πάνω από εκχειλιστή λεπτής στέψης, κατέληξαν σε μια γενική εξίσωση, η οποία συνδέει το ακραίο βάθος με το βάθος στην πρώτη προς τα ανάντη διατομή με υδροστατική κατανομή της πίεσης. Τέτοια διατομή είναι η διατομή του κρίσιμου βάθους για υποκρίσιμη ροή και η διατομή του ομοιομόρφου βάθους για υπερκρίσιμη ροή. Η εξίσωση αυτή, που απαιτεί αριθμητική επίλυση, είναι γενική γιατί μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε υποκρίσιμη, όσο και σε υπερκρίσιμη ροή.

Οι Χατζηγιαννάκης, Αναστασιάδου-Παρθενίου και Τερζίδης [15] ακολουθώντας την ίδια θεωρητική προσέγγιση που ακολούθησαν οι Τερζίδης και Αναστασιάδου-Παρθενίου ([32], [33])

και χρησιμοποιώντας τις τιμές του λόγου γ_c/γ_s , που υπολογίστηκαν θεωρητικά για ορθογωνική διατομή (Τερζίδης [30], [31]) και επίσης για τριγωνική διατομή (Αναστασιάδου-Παρθενίου και Χατζηγιαννάκης [4]), παρουσίασαν μια εύκολη δευτεροβάθμια επίσης εξίσωση που συνδέει το ακραίο με το κρίσιμο βάθος. Οι δευτεροβάθμιες εξισώσεις είναι εύκολο να λυθούν με απλή αριθμομηχανή και προσφέρονται για πρακτικές εφαρμογές στο ύπαιθρο

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια πιο απλή ημ εμπειρική εξίσωση και μια εμπειρική που δίνουν το αδιάστατο κρίσιμο βάθος ως απλή μη γραμμική συνάρτηση του αδιάστατου ακραίου βάθους. Επιπλέον παρουσιάζεται και μια εμπειρική λογαριθμική αδιάστατη εξίσωση στάθμης-παροχής. Τα αποτελέσματα όλων των νέων εξισώσεων συγκρίνονται με τα πειραματικά δεδομένα και με αντίστοιχες εξισώσεις άλλων ερευνητών και μπορεί να θεωρηθούν ότι είναι πολύ ικανοποιητικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Τιμές του γ_c/γ_s σε οριζόντιους ορθογωνικούς και τριγωνικούς καταβαθμούς.

Ερευνητές	Έτος	Τιμές γ_c/γ_s		Διατομή καταβαθμού πορεία που ακολουθήθηκε
		Πειραματικές	Θεωρητικές	
Rouse [27]	1936	0.715	0.715	Ορθογων., εξ. Εγκλειστική
Delleur, Dooge and Gent [9]	1956	0.705		Ορθογωνική
Diskin [10]	1961		0.667	Ορθογων., ποσότητα κίνησης
"	"		0.775	Τριγωνική, ποσότητα κίνησης
Replogle [26]	1962	0.716	0.716	Ορθογων., ποσότητα κίνησης
Rajaratnam and Muralidhar [24]	1964	0.705	0.667	Ορθογων., ποσότητα κίνησης
"	"	0.795	0.775	Τριγωνική, ποσότητα κίνησης
Strelkoff and Moayeri [29]	1970		0.672	Ορθογων., υδροδυναμική θεωρία
Ali and Sykes [1]	1972	0.703	0.673	Ορθογων., ελεύθερος στρόβιλος
"	"	0.793	0.798	Τριγωνική, ελεύθερος στρόβιλος
Smith [28]	1972	0.713		Ορθογωνική
Kraijenhoff and Dommerholt [17]	1977	0.714		Ορθογωνική
Terzidis [30]	1982		0.715	Ορθογων., εξ. Εγκλειστική και Boussinesq
Hager [12]	1983		0.722	Ορθογωνική, Boussinesq
Christodoulou, Noutsopoulos [7]	1984	0.714	0.714	Ορθογων., επίδραση διαφόρ. παραγόντων
Marchi [18]	1993		0.706	Ορθογωνική, ποσότητα κίνησης
Bhallamudi [5]	1994		0.705	Ορθογωνική, ποσότητα κίνησης
"	"		0.795	Τριγωνική, θεωρία Boussinesq
Peruginelli [22]	1980		0.836	Τριγωνική, στατιστική ανάλυση
Bauer and Graf [6]	1971	0.781		Ορθογωνική
Anastasiadou and Hatzigiannakis	1997		0.817	Τριγωνική, εξίσωση εγκλειστική

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η παροχή Q_{trap} που περνά από μια τραπεζοειδή διατομή μπορεί να υποτεθεί ότι αποτελείται από δύο τμήματα: το ένα Q_{rec} που περνά από την ορθογωνική διατομή A_{rec} και το άλλο Q_{tri} που περνά από τις τριγωνικές διατομές A_{tri} εκατέρωθεν της ορθογωνικής διατομής. Έτσι, για συμμετρική τραπεζοειδή διατομή με κλίση πρανών 1:m η εξίσωση συνέχειας στο άκρο (χείλος) ε του τραπεζοειδούς καταβαθμού, μπορεί να γραφεί:

$$Q_{trap} = Q_{rec} - Q_{tri} \quad \text{ή} \quad (V_e A_e)_{trap} = (V_e A_e)_{rec} + (V_e A_e)_{tri} \quad (1)$$

όπου V_e είναι οι μέσες ταχύτητες στις αντίστοιχες διατομές (τραπεζοειδή, ορθογωνική και τριγωνική), στο άκρο του καταβαθμού. Με την υποδιαίρεση αυτή, η ορθογωνική διατομή έχει στερεό τοίχωμα μόνο στον πυθμένα και οι τριγωνικές έχουν την μία μόνο πλευρά τους σε στερεό τοίχωμα, ενώ οι κοινές με την ορθογωνική πλευρές τους είναι υγρές διεπιφάνειες με συνεχή εναλλαγή μικροποσότητας κίνησης λόγω του τυρβώδους, των στροβιλισμών και των τριβών. Είναι λογικό να παραδεχτούμε ότι οι μέσες ταχύτητες στις τρεις διατομές δεν είναι ακριβώς ίσες μεταξύ τους και θα πρέπει να εισαχθούν συντελεστές διόρθωσης:

$$(V_e)_{rec} = \alpha' (V_e)_{trap} \quad \text{και} \quad (V_e)_{tri} = \beta' (V_e)_{trap} \quad (2)$$

όπου οι συντελεστές διόρθωσης α' και β' μπορούν να προσδιοριστούν πειραματικά και έχουν τιμές πολύ κοντά στη μονάδα.

Από τις εξισώσεις (1) και (2) παίρνουμε:

$$(A_e)_{trap} = \alpha' (A_e)_{rec} + \beta' (A_e)_{tri} \quad (3)$$

Διαιρώντας τους όρους της (3) δια της κρίσιμης διατομής στον τραπεζοειδή αγωγό $(A)_{trap}$ και αντικαθιστώντας τα εμβαδά των A_{trap} , A_{rec} και A_{tri} με τα αντίστοιχα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, έχουμε:

$$\left(\frac{by_e + my_e^2}{by_e + my_e} \right)_{trap} = \frac{\alpha' (by_e)_{rec}}{(by_e + my_e)_{trap}} + \frac{\beta' (my_e^2)_{tri}}{(by_e + my_e)_{trap}} \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας στην (4) τις αδιάστατες μεταβλητές

$$X_e = \frac{my_e}{b} \quad \text{και} \quad X_e = \frac{my_e}{b} \quad (5)$$

και εκτελώντας τις αλγεβρικές πράξεις, παίρνουμε:

$$\frac{(1 + X_e)X_e}{(1 + X_e)X_e} \Big|_{trap} = \frac{\alpha' (y_e)_{rec}}{(1 + X_e)y_e} \Big|_{trap} + \frac{\beta' (X_e y_e)_{tri}}{(1 + X_e)y_e} \Big|_{trap} \quad (6)$$

Με τις παραδοχές ότι στην κρίσιμη διατομή έχουμε: $(y_c)_{top} = (y_c)_{rev} = (y_c)_{avg}$ και στη διατομή e έχουμε: $(y_c)_{avg} = \beta' (y_c)_{top}$, η εξίσωση (6) γράφεται:

$$(1 + X_c) X_c = \alpha' X_c \left(\frac{y_c}{y_c}\right)_{rev} + \gamma X_c X_c \left(\frac{y_c}{y_c}\right)_{avg} \quad (7)$$

όπου $\gamma' = \beta' \beta''$ είναι ο τελικός διορθωτικός συντελεστής της τριγωνικής διατομής, και X_c και X_e , χωρίς δείκτη, είναι τα αδιάστατα βάθη της τραπεζοειδούς διατομής.

Επειδή οι τιμές των $\left(\frac{y_c}{y_c}\right)_{rev}$ και $\left(\frac{y_c}{y_c}\right)_{avg}$ έχουν μεγάλη διακύμανση ακόμη και στους

ξεχωριστούς ορθογωνικούς και τριγωνικούς καταβαθμούς (βλέπε Πίνακες 1), λόγω των διαφορετικών διαστάσεων των καταβαθμών, των παροχών και της ακρίβειας των μετρήσεων, και επειδή δεν υπάρχουν ξεχωριστές μετρήσεις στις τεχνητά υποδιαμεμένες ορθογωνικές και τριγωνικές διατομές στους τραπεζοειδείς καταβαθμούς, θεωρήθηκε προτιμότερο να εισαχθούν στην εξίσωση (7), οι παράμετροι α και β , που ορίζονται από τις σχέσεις:

$$\alpha = \alpha' \left(\frac{y_c}{y_c}\right)_{rev} \quad \text{και} \quad \beta = \gamma' \left(\frac{y_c}{y_c}\right)_{avg} \quad (8)$$

οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν από τα πειραματικά στοιχεία σε τραπεζοειδείς διατομές, όταν δίνονται οι τιμές των y_c και Q ή X_c και X_e .

Έτσι, αντικαθιστώντας τις (8) στην (7) παίρνουμε:

$$X_c = \frac{(1 + X_e) X_e}{\beta X_c + \alpha} \quad (9)$$

όπου α και β αδιάστατες παράμετροι της ορθογωνικής και τριγωνικής διατομής αντίστοιχα, οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν από τα πειραματικά στοιχεία των ερευνητών που αναφέρονται στον Πίνακα 2. Έτσι με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων υπολογίστηκαν οι τιμές $\alpha=0,714$ και $\beta=0,764$ και η εξίσωση (9) γίνεται:

$$X_c = \frac{X_c^2 + X_e}{0,764 X_c + 0,714} \quad (10)$$

Η ημιεμπειρική εξίσωση (10) είναι πολύ απλή και ρητή ως προς X_c .

Από τον ορισμό του αριθμού Froude και για την τιμή $Fr=1$, στην κρίσιμη διατομή, έχουμε:

$$F_r^2 = \frac{Q^2 B_c}{g A_c^3} = 1 \quad \text{ή} \quad Z = \frac{m^{3/2} Q}{\sqrt{g b^{5/2}}} = \frac{X_c^{3/2} (1 + X_e)^{3/2}}{(1 + 2 X_c)^{1/2}} \quad (11)$$

Οι εξισώσεις (10) και (11) μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα για τη λύση του πρώτου προβλήματος, δηλαδή από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (b και m) του καταβαθμού και τις μετρήσεις του βάθους y_c του νερού στο χείλος του καταβαθμού να υπολογίζουμε τις παροχές Q .

Οι ίδιες εξισώσεις (11) και (10) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη λύση του δεύτερου προβλήματος, δηλαδή από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (b και m) του καταβαθμού και τις μετρομημένες ή προβλεπόμενες παροχές Q να υπολογίζουμε τα y_c για το σχεδιασμό του καταβαθμού. Το δεύτερο πρόβλημα είναι πιο δύσκολο γιατί ο υπολογισμός του X_c από την εξίσωση (11) απαιτεί επαναλήψεις ή αριθμητική μέθοδο και στη συνέχεια ο υπολογισμός του X_c από την εξίσωση (10) είναι η θετική ρίζα της δευτεροβάθμιας αλγεβρικής εξίσωσης, δηλαδή

$$X_c = (0.382 X_c - 0.5) + \left[(0.382 X_c - 0.5)^2 + 0.714 X_c \right]^{1/2} \quad (12)$$

Όμως η εξίσωση (11) μπορεί να λυθεί ως προς X_c , πιο εύκολα χωρίς επαναλήψεις και με ικανοποιητική ακρίβεια με τις παρακάτω προσεγγιστικές εξισώσεις:

α) Για $0.01 \leq Z \leq 10.6$

$$\log X_c = -0.0394 (\log Z)^2 + 0.5405 (\log Z) - 0.1142 \quad (13a)$$

β) Για $10.6 \leq Z \leq 200$

$$\log X_c = -0.01558 (\log Z)^2 + 0.49104 (\log Z) - 0.08805 \quad (13b)$$

όπου $Z = \frac{Qm^{3/2}}{\sqrt{gb}^{5/2}}$ είναι η αδιάστατη παροχή, $X_c = \frac{my_c}{b}$ είναι το αδιάστατο

κρίσιμο βάθος και \log είναι ο δεκαδικός λογάριθμος.

ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να βρουν απλή αριθμητική σχέση μεταξύ X_c και X_r , ανάλογη με αυτή που ισχύει στους ορθογωνικούς καταβαθμούς, βασιζόμενοι μόνο στα δικά τους πειραματικά στοιχεία ή και σε επιλεγμένα πειραματικά στοιχεία άλλων ερευνητών. Ως μέσες τιμές, που προτάθηκαν για το πηλίκο X_r/X_c σε οριζόντιους τραπεζοειδείς καταβαθμούς, είναι: 0,712 από τον Diskin (1961), 0,76 από τον Rajaratnam [23], 0,710 από τους Noutsopoulos and Christodoulou [7,8] και 0,745 από τους Gupta, Jamil and Moslin [11], παρόλο ότι όλοι σχεδόν παραδέχονται ότι η σχέση μεταξύ X_r και X_c είναι πολύ πιο πολύπλοκη.

Χρησιμοποιώντας 164 πειραματικά δεδομένα διαφόρων ερευνητών ([10], [16], [20, 21], [25]) σε οριζόντιους τραπεζοειδείς καταβαθμούς με μετρομημένες τιμές X_r , που κυμαίνονται από 0,05 έως 6,6, και εφαρμόζοντας τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων στις λογαριθμητικές τιμές των X_r και X_c , βρέθηκε η απλή εμπειρική εξίσωση:

$$X_c = 1.364 X_r^{0.987} \quad (14)$$

με $R^2 = 0.9996$ και ισχύει για $0.05 \leq X_r \leq 6.6$

Επίσης από τα ίδια πειραματικά δεδομένα προέκυψαν και οι παρακάτω εμπειρικές εξισώσεις:
 α) Για τον υπολογισμό της παροχής Q όταν μετρηθεί η τιμή του ακραίου βάθους, ισχύει η λογαριθμική εξίσωση:

$$\log Z = 0.2265 (\log X_e)^2 + 1.9668 (\log X_e) + 0.4869 \quad (15)$$

για $0.05 \leq X_e \leq 6.6$

β) Για τον υπολογισμό του ακραίου βάθους, όταν δίνεται η τιμή της παροχής Q, ισχύει η λογαριθμική εξίσωση:

$$\log X_e = -0.0353(\log Z)^2 + 0.5499(\log Z) - 0.2542 \quad (16)$$

για $0.02 \leq Z \leq 178$

Η εξίσωση (16) χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό του τραπεζοειδούς καταβαθμού με βάση τη μέγιστη αναμενόμενη σταθερή παροχή της τραπεζοειδούς διώρυγας ή γενικότερα του ανοικτού αγωγού, του οποίου το τελευταίο τμήμα σχεδιάζεται με τραπεζοειδή διατομή και οριζόντιο ή ήπιας κλίσης πυθμένα, που καταλήγει στον ελεύθερο τραπεζοειδή καταβαθμό με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα Σχήματα 1,2 και 3 φαίνονται 164 πειραματικά στοιχεία και οι εμπειρικές εξισώσεις (14), (15) και (16) αντίστοιχα, που προέκυψαν από αυτά. Στον Πίνακα 2 φαίνονται τα απόλυτα σφάλματα % των υπολογισμένων, με τις παραπάνω εξισώσεις, παροχών σε σύγκριση με τις μετρομηένες τιμές τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Σφάλματα % (Σύγκριση μετρομηένων παροχών και υπολογισμένων με εξισώσεις αυτής της εργασίας, καθώς και άλλων ερευνητών).

Εργασίες πειραματικών δεδομένων	% Υπολογισμένα με απλές εξισώσεις				Με εξίσωση 6ου βαθμού [2], [3], [14] %
	εξ. (10)	εξ. (14)	εξ. (15)	εξ. Gupta [11]	
[10] ch.1	1,279	2,267	4,889	2,060	1,680
[16]	3,042	2,532	2,310	6,561	2,030
[21]ch. c	2,461	2,390	3,011	5,794	3,520
[21]ch. d	3,414	4,468	5,112	1,946	5,890
[25]ch. 4	2,553	2,823	3,059	5,288	3,660
[25]ch. 5	1,543	2,198	1,430	2,846	5,560
[25]ch. 6	3,324	2,440	2,434	2,925	5,670
[25]ch. 7	5,380	4,252	2,607	7,956	4,450

Επίσης στον ίδιο πίνακα φαίνονται και τα απόλυτα σφάλματα % τα υπολογισμένα με την απλή εμπειρική εξίσωση $X_c = 0.745X_r$ των Gupta et al. [11] και με τη θεωρητική εξίσωση έκτου βαθμού [15].

Από τα σχήματα 2 και 3 και τις εξισώσεις (15) και (16), που πρακτικά εκφράζουν και τη διασπορά των πειραματικών δεδομένων, παρατηρούμε ότι τα μέσα σφάλματα των πειραματικών στοιχείων των διαφόρων ερευνητών δεν είναι μεγαλύτερα του επιτρεπτού σφάλματος 5% για τις μετρημένες παροχές.

Από τον Πίνακα 2 παρατηρούμε ότι η απλή σχέση $X_r / X_c = 0.745$ δίνει τα μεγαλύτερα σφάλματα και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ούτε για την πρόβλεψη των παροχών ούτε για το σχεδιασμό των καταβαθμών. Οι άλλες εξισώσεις (10), (14) και (15) είναι σχεδόν ισοδύναμες με ελαφρά υπεροχή της εμπειρικής εξίσωσης (14). Η ημιεμπειρική εξίσωση (10) έχει όμως το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιείται και για μετρημένες τιμές των X_r και πέρα από τα όρια αυτών των πειραματικών.

Η εξίσωση (15) ή (16) έχουν το πλεονέκτημα να υπολογίζουν την άγνωστη αδιάστατη παροχή ή το άγνωστο αδιάστατο ακραίο βάθος αντίστοιχα, χωρίς την ενδιάμεση χρήση της εξίσωσης (11), όταν όμως οι γνωστές παράμετροι X_r ή Z , αντίστοιχα, βρίσκονται μέσα στα όρια των τιμών των πειραματικών δεδομένων στα οποία βασίστηκε η εξαγωγή τους.

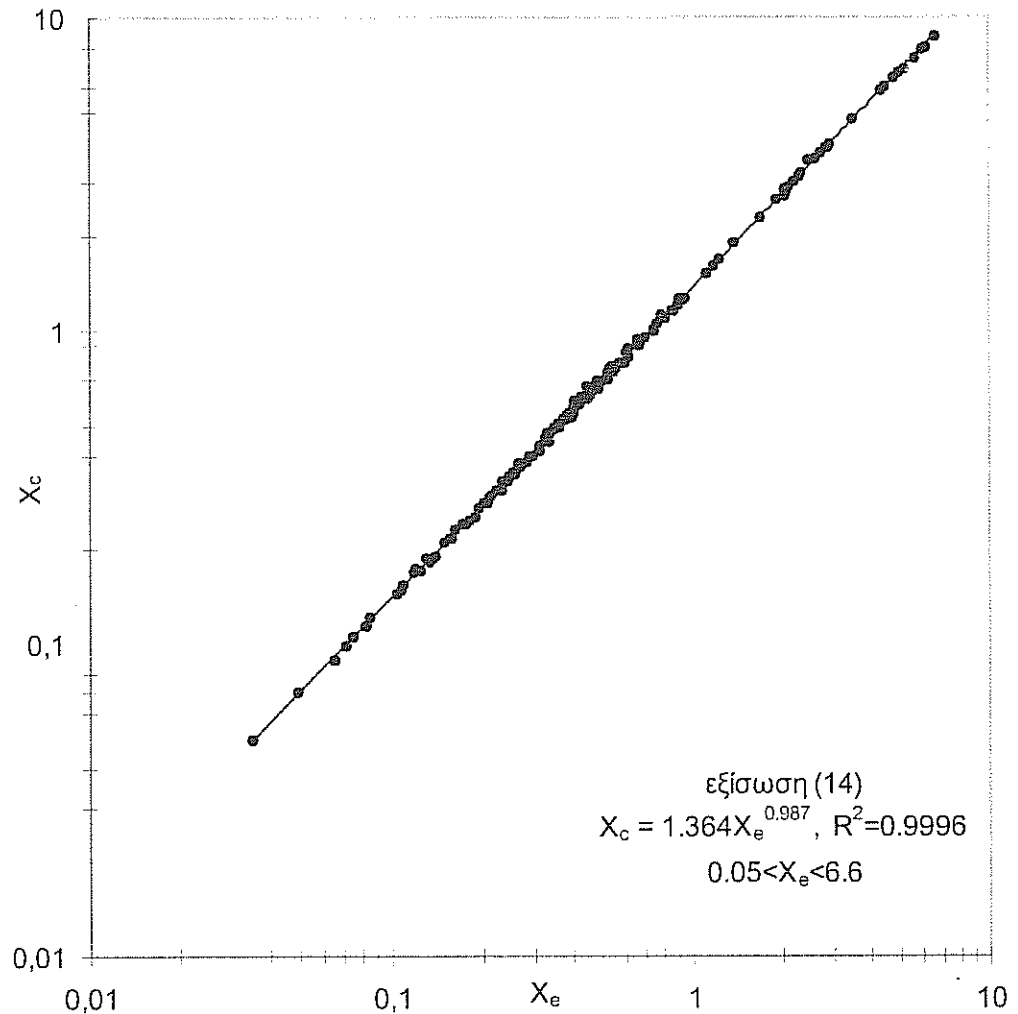
Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι συνθήκες των πειραματικών μετρήσεων δεν είναι ακριβώς οι ίδιες για όλους τους ερευνητές, καθώς και ορισμένοι καταβαθμοί δεν ήταν εντελώς οριζόντιοι.

Η θεωρητική εξίσωση έκτου βαθμού έχει το πλεονέκτημα ότι είναι γενική και χρησιμοποιήσει τα λιγότερα πειραματικά στοιχεία για ορισμένες παραμέτρους της. Οποσδήποτε η εξίσωση αυτή μπορεί να βελτιωθεί με επιπλέον πειραματικά στοιχεία και να μειώσει τα κάτω αυξημένα σφάλματα, που παρουσιάζει εδώ με την αρχική μορφή της εξαγωγής της.

Τέλος, θα πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα ότι όλες οι παραπάνω εξισώσεις (ή και άλλες που δεν αναφέρθηκαν εδώ), μπορούν να βελτιωθούν και να συμπεριλάβουν και άλλους παράγοντες, όπως τραχύτητα τοιχωμάτων, κλίσεις πυθμένα και υπερκρίσιμες ροές, που στην εργασία αυτή δεν συμπεριλήφθηκαν αλλά είναι απαραίτητες στις πραγματικές φυσικές συνθήκες.

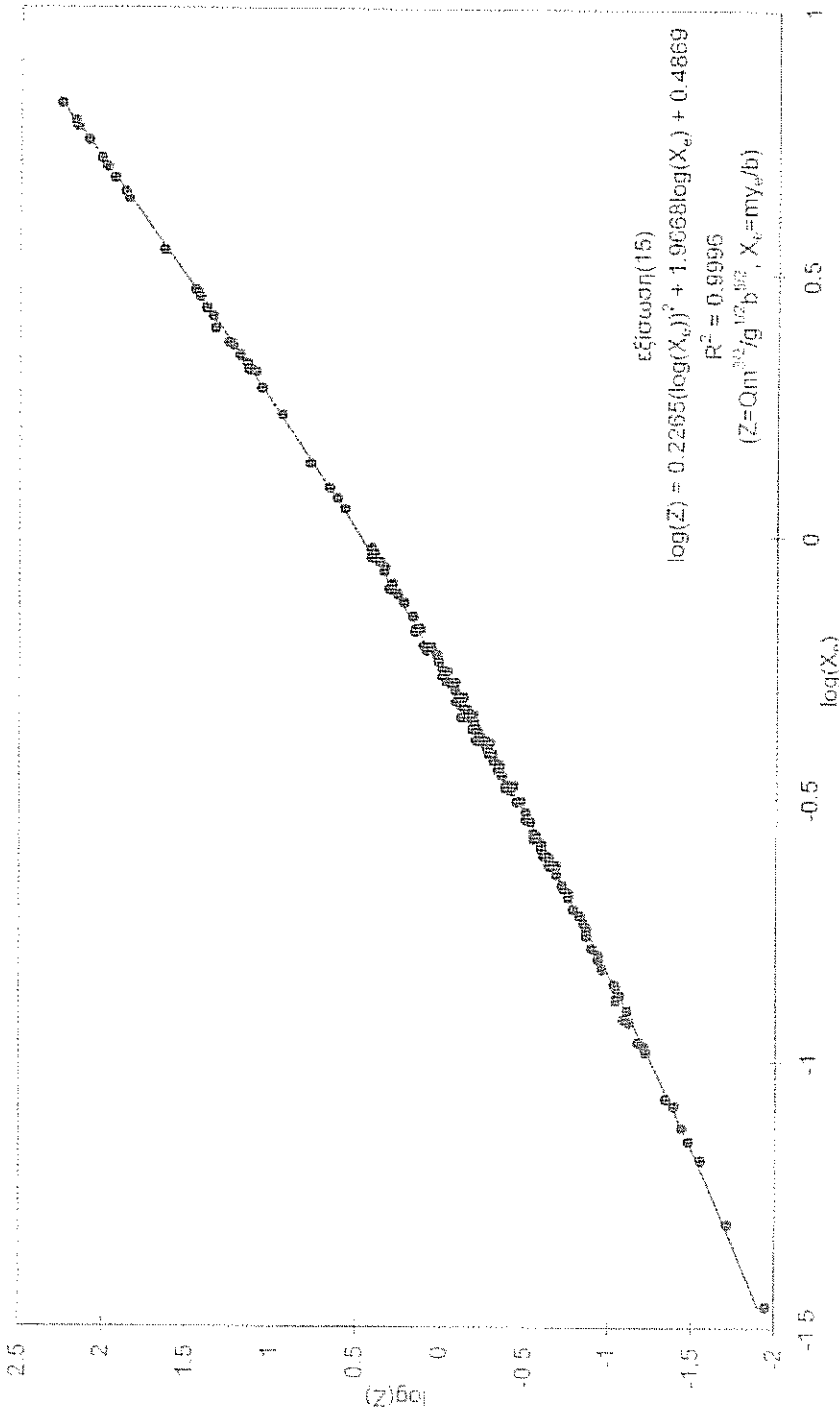
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ali, K.H.M., Sykes, A. Free Vortex theory applied to free overfall, J. Hydraul. Div., ASCE, 1972, vol. 98(HY5), pp. 973-979.
2. Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Χατζηγιαννάκης Ε.Γ., Γενική σχέση ακραίου βάθους-παροχής σε τραπέζοιδη καταβαθμό. Υδροτεχνικά, 1993, Τόμος 3(1), σελ. 25-40.
3. Anastasiadou-Partheniou, L., Hatzigiannakis, E., General end depth-discharge relationship at free overfall in trapezoidal channel, J. Irrig. Drain. Engrg. ASCE, 1995, vol. 121(IR2), pp.143-152
4. Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Χατζηγιαννάκης Ε. Ελεύθερη υδατόπτωση σε καταβαθμό τριγωνικής διατομής (μέτρηση παροχής - προφίλ ροής). 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΕΥΕ, Πάτρα, 14-18 Οκτωβρίου 1997, Πρακτικά, τομ. 1, σελ.226-233.
5. Bhallamudi, S.M.. End depth in trapezoidal and exponential channels, J. Hydraul. Research, IAHR, 1994, vol. 32(2), pp. 219-232.
6. Bauer, S.W., Graf, W.J. Free-overfall as flow measuring device, J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 1971, vol. 97(IR1), pp. 73-83.
7. Christodoulou, G.C., Noutsopoulos, G.C., Andreou, S.A. Factors affecting brink depth in rectangular overfalls, First Int. Conference on Channels and Channel Control Structures, Southampton, England, April 1984. Proceedings, Springer-Verlag, Berlin, pp.1-3- 1-17.

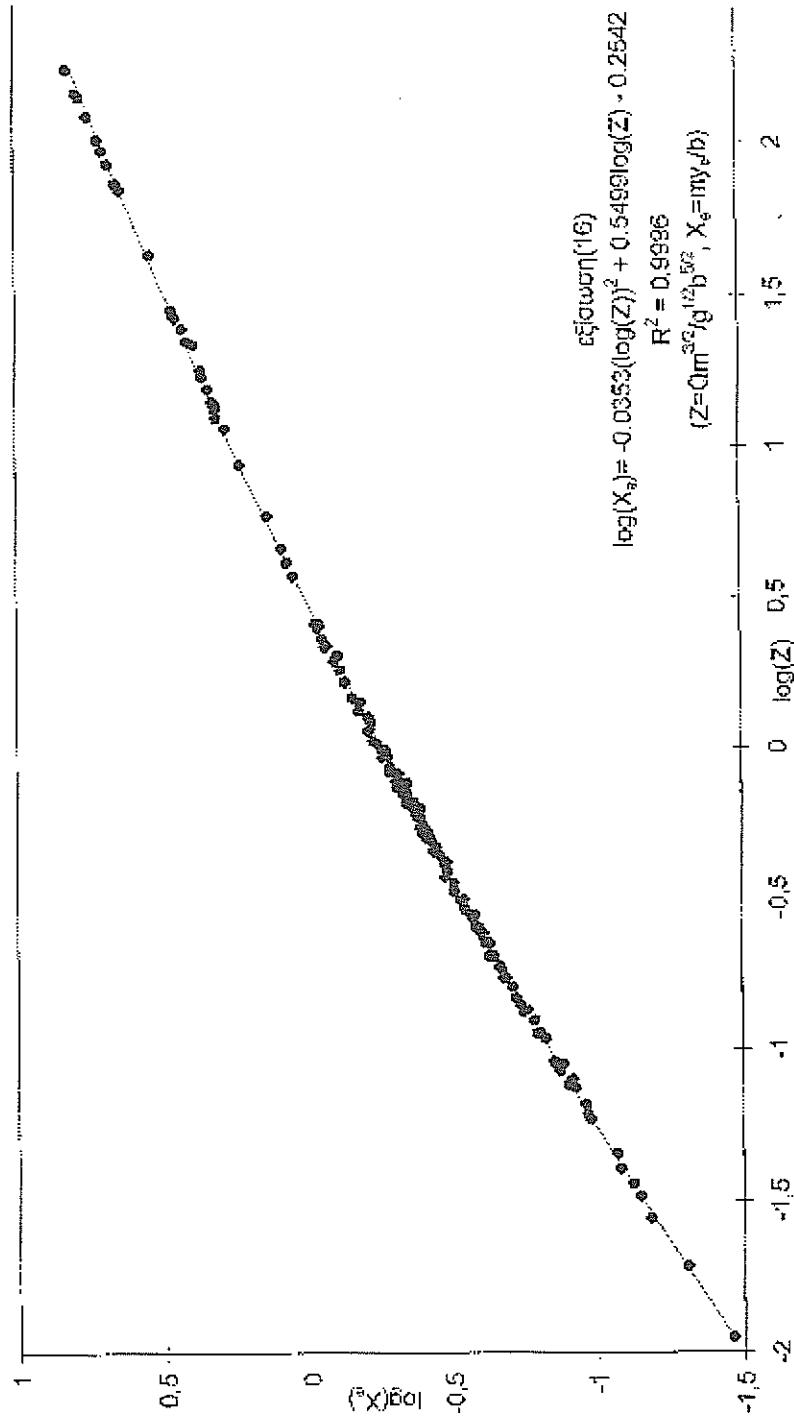


ΣΧΗΜΑ 1. Σχέσεις μεταξύ αδιάστατων βαθμών X_c και X_e

8. Christodoulou, G.C.. Discussion of "End depth in trapezoidal and exponential channels", by S.M. Bhallamudi. J. Hydraul. Research, IAHR, 1995, vol. 33(2), pp. 279-282.
9. Delleur, J.W., Dooge, J.C.I., Gent, K.W.. Influence of slope and roughness on the free overfall. J. Hydraul. Div., ASCE, 1956, vol. 82(HY4). Proc. Paper 1038, pp. 1038-30-1038-35.
10. Diskin, M.H.. End depth at a drop in trapezoidal channels, J. Hydraul. Div., ASCE, 1961, vol. 87(HY4), pp. 11-32.
11. Gupta, R.D., Jamil, M., and Mohsin, M.. Discharge prediction in smooth trapezoidal free overfall- (positive, zero and negative slopes). J. Irrig. Drain. Enginrg., ASCE, 1993, vol. 119(2), pp. 215-224



ΣΧΗΜΑ 2. Σχέσεις μεταξύ ακραίου βόθρου X_c και ειδικότητας ποροχής Z



ΣΧΗΜΑ 3. Σχέσεις μεταξύ αδιάστατης παροχής Z και ακραίου βόθους X_a

12. Hager, W.H. Hydraulics of plane free Overfall, J. Hydraul. Div., ASCE. (1983), vol.109(HY12), pp.1683-1697.
13. Hamid, H.I. Discussion of "End depth at a drop in trapezoidal channels", by M.H. Diskin, J. Hydraul. Div., ASCE, 1962, vol. 88(HY1), pp. 133-136.
14. Χατζηγιαννάκης Ε. Ροή σε τραπεζοειδή ελεύθερο καταβαθμό, Μεταπτυχιακή Διατριβή, 1990, Θεσσαλονίκη, σελ. 135.
15. Hatzigiannakis E., Anastasiadou-Partheniou L., Terzidis G.. Trapezoidal free overfall (simplified equation for discharge predictions). Int. Conf. on Protection and Restoration of the Environment IV. Halkidiki, Makedonia, Greece, July 1998, Proceedings, vol. 1. pp. 181-188.
16. Keller, R.J., Fong, S.S. Flow measurement with trapezoidal free overfall. J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE, 1989, vol. 115(1), pp. 125-136.
17. Kraijenhoff, D.A., Dommerholt, A.. Brink depth method in rectangular channel, J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 1977, vol. 103(IR2), pp. 171-177.
18. Marchi, E. On the free overfall, J.Hydraul. Research, IAHR, 1993, vol.31(6), pp.777-790.
19. Neogy, B.N. Brink depth for trapezoidal broad crested weir, J. Hydraul. Div., ASCE, 1972, vol. 98(HY12), pp. 2171-2189.
20. Pagliara, S.. Discussion of "End depth in trapezoidal and exponential channels", by S.M. Bhamudi, J. Hydraul. Research, IAHR, 1995, vol. 33(2), pp. 283-286.
21. Pagliara, S., Viti, C., Discussion of "Discharge prediction in smooth trapezoidal free overfall-(positive, zero and negative slopes)", by R.D. Gupta, M. Jamil, M. Mohsin.(pap.3233), J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE, 1995, vol. 121(1), pp. 128-130.
22. Peruginelli, A.. Chiamata di sbocco in sezione triangolare, Idrotecnica, 1980, Milan, Italy, 6(2), pp. 63-72.
23. Rajaratnam, N., Subir K., Hamid H.I.. Discussion of "End depth at a drop in trapezoidal channels", by M.H. Diskin, J. Hydraul. Div., ASCE, 1962, vol.88(HY1), pp.119-136.
24. Rajaratnam, N., and Muralidhar, D. End depth for exponential channels, J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 1964, vol. 90(IR1), pp. 17-39.
25. Rajaratnam, N., and Muralidhar, D. The trapezoidal free overfall, J. of Hydraul. Research, 1970, vol. 8(4), pp. 419-447.
26. Replogle, J.A Discussion of "End depth at a drop in trapezoidal channels", by M.H. Diskin, J. Hydraul. Div., ASCE, 1962, vol. 88(HY2), pp. 161-165.
27. Rouse, H. Discharge characteristics of the free overfall, Civ. Engrg., ASCE, 1936, vol. 6(4), pp. 257-260.
28. Smith, C.D. Discussion of "Free overfall as flow measuring device", by S.W. Bauer and W.J. Graf, J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 1972, vol. 98(IR1), pp. 162-164.
29. Strelkoff, T., Moayeri, M.S.. Pattern of potential flow in a free overfall, J. Hydraul. Div., ASCE, 1970, vol.96(HY4), pp. 879-901.
30. Τερζίδης Γ. Μαθήματα Υδραυλικής-3. Ανοικτοί Αγωγοί. Θεσσαλονίκη 1982, σελ.383.
31. Τερζίδης Γ. Υδραυλικά χαρακτηριστικά του ορθογωνικού ελεύθερου καταβαθμού. 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΕΥΕ, Υδροτεχνικά, Αθήνα 1985, σελ. 11-28.
32. Terzidis, G., Anastasiadou-Partheniou L. Discussion of "Flow measurement with trapezoidal free overfall" by R.J. Keller and S.S. Fong, J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE 1990, vol.116(6), pp. 860-862.
33. Terzidis, G., Anastasiadou-Partheniou L. Trapezoidal free overfall as flow measuring device, Advances in Water Resources Technology, 1991, G. Tsakiris (editor), Balkema Publ. for ECOWARM, pp. 35-41.

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΟΝ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΑΠΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΠΗΓΗ

Ελμαλόγλου Σταμάτης και Μαλάμος Νίκος

Εργαστήριο Γεωργικής Υδροαυτικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η ανάλυση της τοπικής διήθησης από επιφανειακή γραμμική πηγή στάγδην άρδευσης, σε δύο ομογενή, ακόρεστα εδάφη, χρησιμοποιώντας τρεις ρυθμούς διαβροχής για το κάθε έδαφος. Περιγράφεται μια μέθοδος για τον προσδιορισμό του πλάτους και του βάθους του διαβρεχόμενου εδαφικού όγκου. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στην αριθμητική επίλυση με την μέθοδο των εναλλασσόμενων διευθύνσεων ενός μαθηματικού μοντέλου ροής επίπεδης συμμετρίας. Τέλος προτείνεται μια μέθοδος για τον ορθολογικό σχεδιασμό ενός συστήματος στάγδην άρδευσης.

ABSTRACT

In this study it is presented the analysis of local infiltration from surface line source of trickle irrigation in two homogeneous, unsaturated soils using three wetting rates in each soil. A method for determining width and depth of the wetted soil volume under a trickle line is described. The proposed method is based on numerical results from a plane flow model. The Alternating Direction Implicit Method (A.D.I) was used for the numerical solution of the flow equation. Finally a method for a rational design of a trickle irrigation system is suggested.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

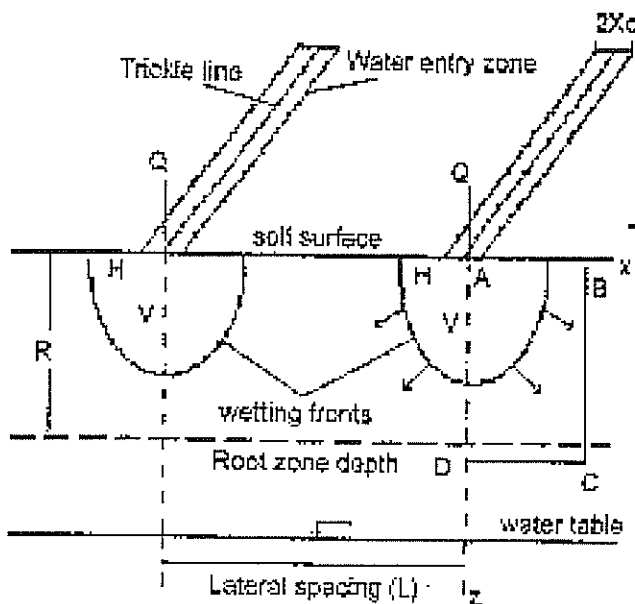
Τα συστήματα στάγδην άρδευσης γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή, από την αρχική εφαρμογή τους, στις αρχές της δεκαετίας του '60 (Bucks et al 1982 [4]). Σ' αυτά τα συστήματα το νερό εισέρχεται στο έδαφος μέσω μιας μικρής επιφάνειας γύρω από τον σταλακτήρα. Κατ' επέκταση το κατακόρυφο και το οριζόντιο μέτωπο διαβροχής είναι σημαντικά για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και την σωστή λειτουργία ενός συστήματος στάγδην άρδευσης.

Για την μη γραμμική εξίσωση ροής εδαφικής υγρασίας, μόνο αριθμητικές λύσεις έχουν αναπτυχθεί (Brandt et al.,1971 [3]; Levin et al.,1979 [9]; Ababou,1981 [1]; Ragab et al.,1984 [15]; Taghavi et al.,1984 [21]; Svehlic and Ghali,1984 [20]; Ghali and Svehlic,1988 [7]; Lafolie et al.,1989 [8]), οι οποίες έχουν επιτύχει καλή συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων τους και των πειραματικών δεδομένων. Για την αντίστοιχη γραμμικοποιημένη μορφή της εξίσωσης ροής έχουν αναπτυχθεί αναλυτικές λύσεις για συνθήκες σταθερής κατάστασης (Philip,1971 [12]; Raats,1971 [13], 1972 [14]) και για μη σταθερής κατάστασης. (Warrick,1974 [23]; Lomen and Warrick,1974 [10]; Warrick and Lomen,1976 [24]; Ben-Asher et al.,1978 [2]), των οποίων η εφαρμογή είναι περιορισμένη λόγω των υποθέσεων που εισάγουν. Το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάζεται στη συνέχεια και επιλύεται αριθμητικά με την μέθοδο των εναλλασσόμενων διευθύνσεων (Alternating Direction Implicit Method), λαμβάνει υπόψη την μη γραμμικότητα της εξίσωσης ροής και επιπλέον τη δυνατότητα σχηματισμού ενός λεπτού στρώματος νερού στην επιφάνεια του εδάφους κατά την διάρκεια της διήθησης.

Ο σκοπός αυτής της ερευνητικής δραστηριότητας είναι: (1) Η μελέτη της κίνησης του νερού στο έδαφος και η κατανομή του σε ομογενείς εδαφικές κατατομές κάτω από διάφορους ρυθμούς εφαρμογής από γραμμική επιφανειακή πηγή στάγδην άρδευσης, και (2) η αξιοποίηση των αριθμητικών αποτελεσμάτων για τον ορθολογικό σχεδιασμό ενός συστήματος στάγδην άρδευσης.

2. ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το τρισδιάστατο φυσικό μοντέλο παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Η στάγδην άρδευση εφαρμόζεται στην επιφάνεια του εδάφους από σταλακτήρες εν σειρά, με σταθερή παροχή, που μπορούν να θεωρηθούν σαν μια οριζόντια γραμμική πηγή, πλάτους $2X_0$. Η επίπεδη συμμετρία επιτρέπει το να εξεταστεί το φυσικό μοντέλο σε ένα από τα άπειρα κατακόρυφα επίπεδα, που είναι κάθετα προς το μήκος της γραμμικής πηγής και καθορίζονται από τους άξονες X και Z, αντίστοιχα.



Σχήμα 1: Το φυσικό μοντέλο.

3. ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Η εξίσωση ροής που περιγράφει το φυσικό μοντέλο είναι:

$$F(U) \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad G(U) \frac{\partial U}{\partial z} \quad (1)$$

όπου οι συντελεστές $F(U)$ και $G(U)$ δίνονται από τις σχέσεις:

$$F(U) = \frac{1}{K(U)} \frac{d\theta}{dH} \quad , \quad G(U) = \frac{1}{K(U)} \frac{dK}{dH} \quad (2)$$

και (Rubin, 1968 [17]):

$$U(H) = \int_{H_a}^H K(H) dH \quad (3)$$

όπου x, z είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες (L), H είναι το φορτίο πίεσης (L), K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (LT^{-1}), Q είναι η κατ' όγκο υγρασία του εδάφους (L^3L^{-3}), t είναι ο χρόνος από την αρχή της ροής (T), H_a είναι το αρχικό φορτίο πίεσης (L), το z θεωρείται θετικό προς τα κάτω.

3.1 ΑΡΧΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η αρχική συνθήκη είναι:

$$Q(x,z,0) = Q_a, H(x,z,0) = H_a, U(x,z,0) = U_a \quad (4)$$

όπου Q_a είναι η αρχική κατ' όγκο υγρασία. Η συνθήκη στο κάτω δεξιά όριο της περιοχής ροής καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο που η διακριτοποιημένη περιοχή μπορεί να περιοριστεί στο εδαφικό τμήμα όπου η μεταβλητή U μεταβάλλεται με τον χρόνο. Η διακριτοποιημένη περιοχή αυξάνει με τον χρόνο καθώς το μέτωπο διαβροχής εξαπλώνεται κατά τέτοιο τρόπο που πάντα περιορίζεται μεταξύ των ορίων του ABCD (σχήμα 1).

A. Συνθήκες στα κινούμενα όρια της περιοχής ροής:

$$t \geq 0 \quad x = X(t) \quad 0 \leq z \leq Z(t) \quad U = U_a \quad (5)$$

$$z = Z(t) \quad 0 \leq x \leq X(t) \quad U = U_a \quad (6)$$

όπου $X(t), Z(t)$, είναι οι συντεταγμένες των κινητών ορίων.

B. Συνθήκες στα σταθερά όρια της περιοχής ροής:

i. Στην επιφάνεια του εδάφους ($z=0$):

$$q_0 = \frac{Q}{S_0} \quad , \quad \text{για } t > 0, z = 0 \text{ και } 0 < x < X_0$$

όπου Q είναι η παροχή της γραμμικής πηγής στάγδην άρδευσης και $S_0 = 2X_0$. Γενικά, η αρχική ειδική παροχή q_0 είναι πολύ μεγαλύτερη από την K_s , όπου K_s είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό (LT^{-1}), έτσι η ζώνη διήθησης σύντομα γίνεται κορεσμένη. Συνεπώς, μία λεπτή στρώση

νερού σχηματίζεται η οποία διευρύνεται, συμμετρικά, γύρω από το κέντρο της ζώνης διήθησης, αν η επιφάνεια του εδάφους είναι οριζόντια.

Το $X_s(t)$ ορίζεται ως το ήμισυ της επιφάνειας της ζώνης διήθησης. Σύμφωνα με την προηγούμενη ανάλυση διακρίνουμε δύο στάδια.

Στο πρώτο στάδιο, στο οποίο $t < t_1$, όπου t_1 είναι ο χρόνος μέχρι το σημείο όπου η αρχική ζώνη διήθησης παραμένει μη κορεσμένη, η συνθήκη στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς βροχοπτώση ή εξάτμιση, είναι:

$$qz = -\theta U / \theta z + K = Q/S_0 \text{ για } 0 \leq x \leq X_0 \quad (7)$$

$$qz = -\theta U / \theta z + K = 0 \text{ για } x > X_0 \quad (8)$$

Στο δεύτερο στάδιο, για το οποίο $t > t_1$, η ζώνη διήθησης είναι κορεσμένη. Υποθέτοντας ότι το πάχος της λεπτής στρώσης νερού είναι αμελητέο, η συνθήκη γίνεται:

$$H = 0 \text{ για } 0 \leq x \leq X_s(t) \quad (9)$$

$$qz = 0 \text{ για } x > X_s(t) \quad (10)$$

Κατά την διάρκεια του πρώτου σταδίου ($t < t_1$), η διατήρηση του ισοζυγίου της μάζας δια μέσου της επιφάνειας του εδάφους εξασφαλίζεται με τις συνθήκες του NEWMAN's (εξισώσεις 7,8). Μετά τον κορεσμό της ζώνης διήθησης ($t \geq t_1$), η συνθήκη του DIRICHLET (εξίσωση 9) δεν επιτρέπει να εξασφαλίσουμε τη διατήρηση του ισοζυγίου της μάζας οπότε είναι αναγκαίο να επιβάλλουμε μια νέα συνθήκη η οποία δίνει έμμεσα το μέγεθος της ζώνης διήθησης $X_s(t)$ σε όλες τις στιγμές.

$$Q = 2 \int_0^{x_{s(t)}} q_z dx \quad (11)$$

ii Στον άξονα συμμετρίας ($x=0$):

$$t > 0 \quad 0 < z < Z(t) \quad q_x = -U/x = 0 \quad (12)$$

3.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης 1, πρώτα αναπτύχθηκε από τους Peaceman and Rachford (1955) [11], και στη συνέχεια εφαρμόστηκε σε προβλήματα διοδιαστάτης ή τριοδιαστάτης διήθησης από πολλούς συγγραφείς όπως: Rubin, 1968 [17]; Remson et al., 1971 [16]; Selim and Kirkham, 1973 [18]; Vauclin et al., 1976 [22]; Ababou, 1981 [1]; Elmaloglou and Grigoriakis, 1997 [5]. Πρόκειται για την πεπλεγμένη μέθοδο εναλλασσόμενων διευθύνσεων (Alternating Direction Implicit Method - A.D.I.), η οποία απαιτεί τη συμπλήρωση δύο βημάτων χρόνου για ένα πλήρη κύκλο εφαρμογής.

4. ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΕΔΑΦΩΝ

Χρησιμοποιήσαμε δύο διαφορετικά εδάφη, ένα αμμώδες (sandy) και ένα αργιλοπηλώδες (clay loamy):

- Sable DEK

Είναι μία άμμος λεπτή, περατή, περιέχουσα ένα μη αμελητέο ποσοστό λεπτών υλικών (Ababou, 1981 [1]).

- PIMA Clay Loam

Είναι ένα αργιλοπηλώδες έδαφος (Stockton and Warrick, 1971 [19]).

Η επίλυση της εξίσωσης ροής (1), απαιτεί τη γνώση των σχέσεων $Q(H)$ και $K(H)$. Και για τα δύο εδάφη, οι αναλυτικές εκφράσεις για τις σχέσεις $Q(H)$ και $K(H)$ είναι:

$$\Theta(H) = \Theta_r + \frac{\Theta_s - \Theta_r}{(1 + (-\beta H)^n)^m} \quad K(H) = K_s \exp(\alpha H) \quad , \quad (13)$$

Οι τιμές των παραμέτρων που περιέχονται στις αναλυτικές εκφράσεις των σχέσεων $Q(H)$ και $K(H)$ συνοψίζονται στον ΠΙΝΑΚΑ 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Τιμές των παραμέτρων.

Έδαφος	PIMA Clay Loam	Sable DEK
K_s (cm/h)	0.4125	5.85
α (cm ⁻¹)	0.02	0.073
Θ_s	0.55	0.3
Θ_r	0.2	0.055
β	0.03213	0.029227
n	1.2822	2.0304
m	0.22	0.507486

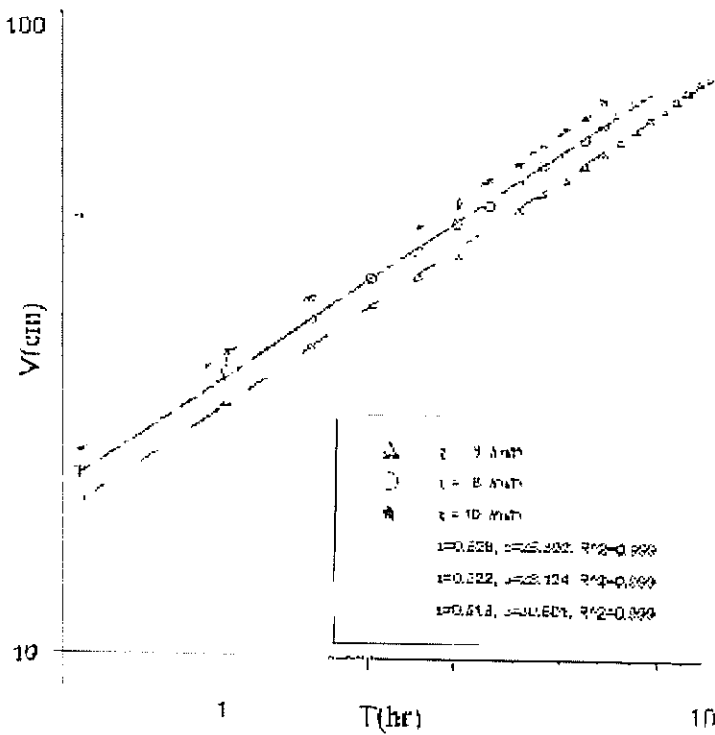
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για καθένα από τα δύο υπό μελέτη εδάφη εξομοιώθηκε η τοπική διήθηση από γραμμική πηγή στην κλίμακα των συνηθισμένων παροχών για την στάγδην άρδευση:

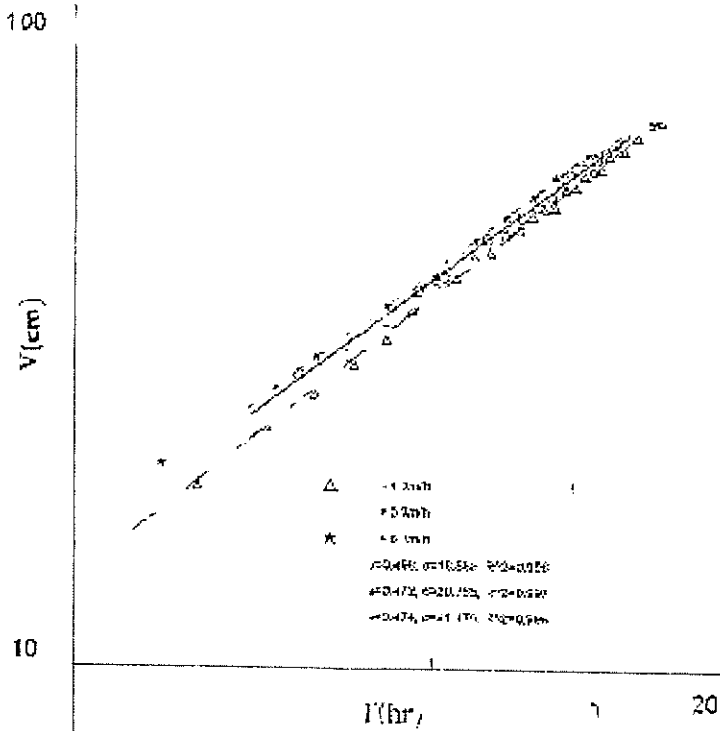
$Q = 6.0, 8.0, 10.0$ l/m/h για το αμμώδες έδαφος και

$Q = 4.0, 5.0, 6.0$ l/m/h για το αργιλοπηλώδες, αντίστοιχα.

Στα σχήματα 2 και 3, παρουσιάζεται η κατακόρυφη προώθηση του μετώπου διαβροχής, V , στον άξονα $H=0$. (σχήμα 1), με τον χρόνο και για τα δύο εδάφη, κάτω από διάφορους ρυθμούς εφαρμογής του νερού.



Σχήμα 2: Κατακόρυφη προώθηση του νερού με το χρόνο, για το έδαφος DEK.



Σχήμα 3: Κατακόρυφη προώθηση του νερού με το χρόνο, για το έδαφος PCL.

Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζεται η οριζόντια προώθηση του μετώπου διαβροχής, H , στον άξονα $V=0$, με τον χρόνο και για τα δύο εδάφη, κάτω από διάφορους ρυθμούς εφαρμογής του νερού.

Είναι προφανές ότι η κατακόρυφη και η οριζόντια κίνηση του νερού στο εδαφικό προφίλ μπορεί να εκφραστεί από τις εμπειρικές σχέσεις:

$$V = a T^c \quad (14)$$

$$H = b T^d \quad (15)$$

στις οποίες a , b , c , και d είναι εμπειρικές παράμετροι εξαρτώμενοι από τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του εδάφους και τον ρυθμό εφαρμογής του νερού.

Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να προσεγγίσουμε τις δύο παραμέτρους που εμπεριέχονται στο σχεδιασμό ενός συστήματος στάγδην άρδευσης (τη διάρκεια της άρδευσης και την ισοποχή των αγωγών στάγδην άρδευσης).

Η διάρκεια της άρδευσης, T_i , σε ώρες, είναι ο χρόνος που απαιτείται για να εφαρμοστεί η επιθυμητή ποσότητα νερού και είναι συνάρτηση του εύρους άρδευσης, T_g , του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής (ημερήσιες απαιτήσεις σε νερό), I , και της παροχής, Q .

Η κατακόρυφη και οριζόντια κίνηση του νερού στον χρόνο T_i , είναι V_i και H_i αντίστοιχα, οπότε:

$$V_i = a T_i^c \quad (16)$$

$$H_i = b T_i^d \quad (17)$$

Σε χρόνο T_i , το νερό στην εδαφική κατατομή έχει φτάσει, κάθετα, σε βάθος V_i , και οριζόντια, σε πλάτος H_i . Παρόλα αυτά το νερό συνεχίζει να προωθείται. Οι εξισώσεις που περιγράφουν την επιπρόσθετη κίνηση του νερού είναι:

$$\ln \frac{V}{V_i} = k_1 \sqrt{\ln \frac{t}{T_i}} \quad (18)$$

και

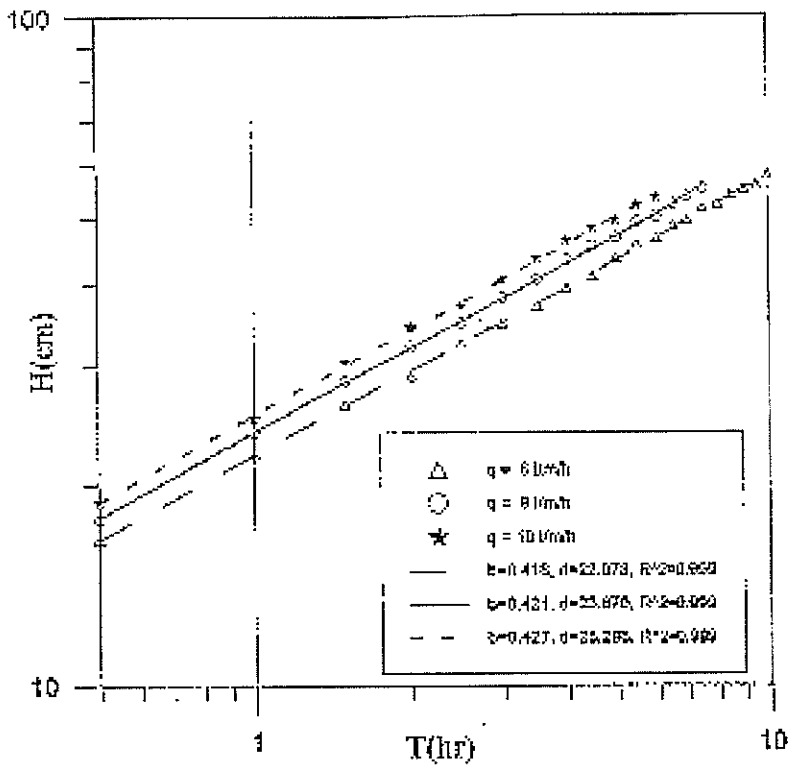
$$\ln \frac{H}{H_i} = k_2 \sqrt{\ln \frac{t}{T_i}} \quad (19)$$

στις οποίες t είναι ο συνολικός μετρηθείς χρόνος από την έναρξη της άρδευσης, V είναι η συνολική κατακόρυφη κίνηση σε χρόνο t , H είναι η συνολική οριζόντια κίνηση σε χρόνο t , k_1 και k_2 είναι παράγοντες αναλογικότητας που συνδέονται με τον τύπο του εδάφους, την αρχική εδαφική υγρασία, και τον ρυθμό εφαρμογής του νερού.

Οι τιμές των k_1 και k_2 , αριθμητικά προσδιορισμένες, παρουσιάζονται στον ΠΙΝΑΚΑ 2. Για την ίδια παροχή η τιμή του k_1 είναι μεγαλύτερη για το αμμώδες έδαφος και είχε σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερο ποσοστό κατακόρυφης κίνησης του νερού μετά το τέλος της άρδευσης.

Η εξίσωση 18 μπορεί να μετασχηματιστεί ώστε να δίνει την κατακόρυφη κίνηση σε κάθε χρόνο μεγαλύτερο του T_i , ως εξής:

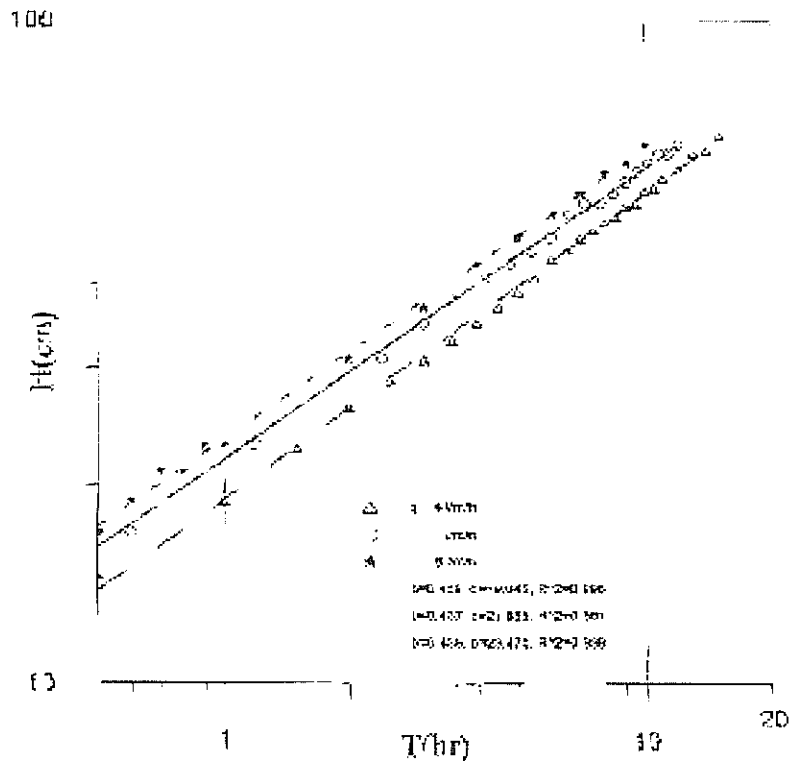
$$V = V \exp\left(k_1 \sqrt{\ln \frac{t}{T_i}}\right) \quad (20)$$



Σχήμα 4: Οριζόντια προώθηση του νερού με τον χρόνο, για το έδαφος DEK.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Τιμές των k_1 , k_2 , που επηρεάζουν την Κατακόρυφη και την Οριζόντια κίνηση του νερού μετά το τέλος της άρδευσης.

Έδαφος Ρυθμός εφαρμογής (l/m/h)	Sable DEK			PIMA Clay Loam		
	6	8	10	4	5	6
k_1	0.491	0.436	0.398	0.464	0.433	0.404
k_2	0.262	0.231	0.206	0.382	0.340	0.302



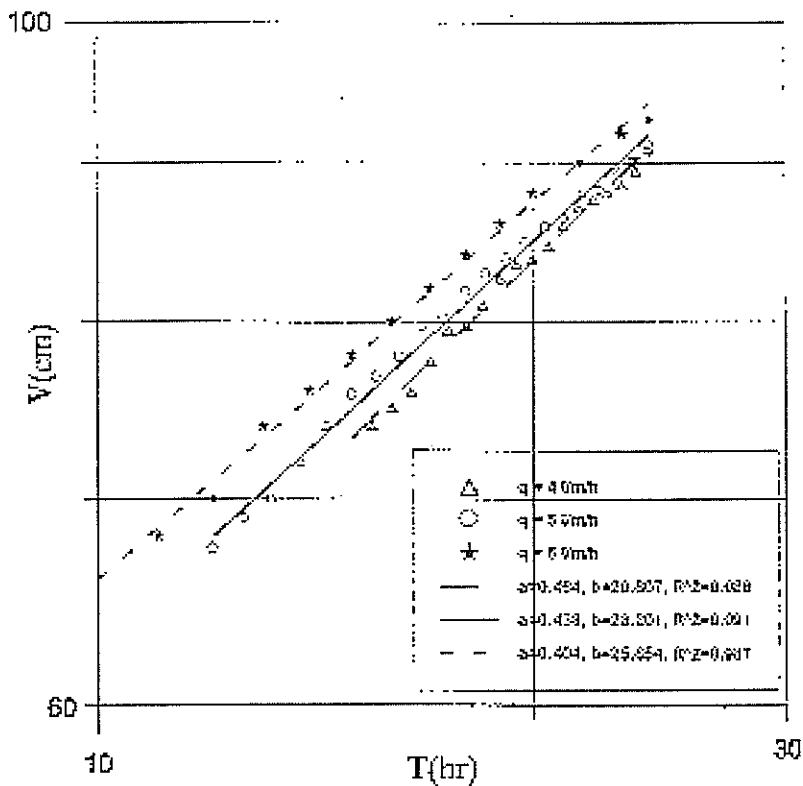
Σχήμα 5: Οριζόντια προώθηση του νερού με τον χρόνο, για το έδαφος PCL.

Για να αποφύγουμε τις απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης πέρα του δυναμικού βάθους ριζοστρώματος, η εξίσωση 20 μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της αναμενόμενης μέγιστης διείσδυσης του νερού, που θα συμβεί για κάθε εύρος άρδευσης Tg . Αν η τιμή του V είναι μικρότερη ή ίση του δυναμικού βάθους ριζοστρώματος, R , της καλλιέργειας, όταν το t ισούται με το εύρος άρδευσης Tg , δεν θα υπάρξει καμία απώλεια νερού. Αν το V ξεπεράσει το R , τότε ο χρόνος εφαρμογής, Ti , ή η παροχή, Q , πρέπει να ρυθμιστούν ανάλογα. Όταν χρησιμοποιείται νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα τότε θα ήταν σκόπιμο το V να ξεπεράσει το R για να επιτύχουμε έκπλυση των αλάτων.

Οι μετρήσεις για τον καθορισμό των σχεδιαστικών παραμέτρων που απαιτούνται για τις εξισώσεις 14 και 15 είναι σχετικά απλές. Η κατακόρυφη και η οριζόντια κίνηση του νερού κάτω από την γραμμική άρδευση, κατά προσέγγιση στους χρόνους $Ti/2$ και Ti , είναι ικανά δεδομένα και μπορούν να ληφθούν με όργανο ή με συσκευή νετρονίων. Σ' αυτήν την εργασία, οι παράμετροι που αναφέρθηκαν (a, b, c, d) υπολογίζονται με γραμμική συσχέτιση από τα αριθμητικά αποτελέσματα, όπως φαίνεται και στα σχήματα 2, 3, 4 και 5.

Σαν μετρήσεις για τον καθορισμό των σχεδιαστικών παραμέτρων που απαιτούνται για τις εξισώσεις 18 και 19 μπορούν να χρησιμοποιηθούν η κατακόρυφη και η οριζόντια κίνηση του νερού

κάτω από την γραμμική άρδευσης, κατά προσέγγιση στους χρόνους T_i και T_g . Σ' αυτήν την εργασία, οι παράμετροι που αναφέρθηκαν υπολογίζονται με γραμμική συσχέτιση από τα αριθμητικά αποτελέσματα, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6: Κατακόρυφη προώθηση του νερού με το χρόνο, για το έδαφος PCL από T_i ως 24 hr.

Θέτοντας το βάθος διείσδυσης του νερού στο χρόνο T_g , σαν $V=R$, και γνωρίζοντας ότι:

$$T_g = \frac{T_i Q}{I} \quad (21)$$

το κατάλληλο εύρος άρδευσης μπορεί να καθοριστεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$T_g = \frac{Q}{I} \left[\frac{R}{a} \exp \left(-k_1 \sqrt{\ln \frac{Q}{I}} \right) \right]^{\frac{1}{c}} \quad (22)$$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φυσικό πρόβλημα και η αριθμητική επίλυσή του παρουσιάστηκαν παραπάνω. Με βάση τα αριθμητικά αποτελέσματα αναπτύχθηκε μία μέθοδος υπολογισμού των σχεδιαστικών παραμέτρων όπως χρόνος εφαρμογής, T_i , εύρος άρδευσης, T_g , και η ισοαποχή των γραμμικών άρδευσης, L , ενός επιφανειακού συστήματος στάγδην άρδευσης.

Λόγω της επίδρασης της βαρύτητας, η οριζόντια προώθηση του νερού, για το έδαφος Sable DEK, μετά τον τερματισμό της άρδευσης, είναι πολύ μικρή σε σχέση με την κατακόρυφη. Αντίθετα, η κίνηση του νερού στο έδαφος Pima clay loam επηρεάζεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις έχοντας ως αποτέλεσμα την ομοιόμορφη κατανομή της κίνησης του νερού και προς τις δύο διευθύνσεις.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι για γραμμικές καλλιέργειες επιπολαϊόριζες και με μεγάλες αποστάσεις φύτευσης, συνιστώνται μεγάλες παροχές, ενώ για καλλιέργειες βαθύριζες και με μικρές αποστάσεις φύτευσης, συνιστώνται μικρές παροχές. Σε λεπτόκοκκα εδάφη, η κίνηση του νερού μετά το τέλος της άρδευσης είναι περιορισμένη.

Επίσης με βάση το δυναμικό βάθος ριζοστρώματος, τις ημερήσιες υδατικές απαιτήσεις, τον ρυθμό εφαρμογής και τα αριθμητικά αποτελέσματα, το εύρος και η διάρκεια άρδευσης μπορούν να καθοριστούν με σκοπό την αποφυγή των απωλειών λόγω βαθιάς διήθησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ababou, R., 1981. "Modelisation des transferts hydriques dans un sol en infiltration localisee". These de Docteur Ingenieur, Universite de Grenoble.
2. Ben-Asher, J., Lomen, D.O., and Warrick, A.W., 1978, "Linear and nonlinear models of infiltration from a point source", Soil Science Society of America Journal 42: 3-6.
3. Brandt, A., Bresler, E., Diner, N., Ben-Asher, J., Heller, J., and Goldberg, D., 1971, "Infiltration from a trickle source, I. Mathematical models", Soil Science Society of America Proceedings. 35: 675-682.
4. Bucks, D.A., F.S. Naksayama, and A.W. Warrick, 1982, "Principles of trickle (drip) irrigation." p.220-298 in D. Hillel(ed.), Advances in irrigation. Academic Press, New York.
5. Elmaloglou, S. and Grigorakis, G., 1997, "Linear and nonlinear models of infiltration from surface line source of trickle irrigation.", ICID Journal. vol. 46, no. 2, p. 81-92.
6. Gardner, W.R., 1958, "Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table", Soil Science 85: 228-232.
7. Ghali, G.S., and Svehlik, Z.J., 1988, "Soil-water dynamics and optimum operating regime in trickle-irrigated fields", Agricultural Water Management 13: 127-143.
8. Lafolie, F., Guenneon, R., and van Genuchten, M.Th., 1989, "Analysis of water flow under trickle irrigation : I. Theory and numerical solution", Soil Science Society of America Journal 53: 1310-1318.
9. Levin, I., van Rooyen, P.C., and van Rooyen, F.C., 1979, "The effect of discharge rate and intermittent water application by point source irrigation on the soil moisture distribution pattern", Soil Science Society of America Journal 43: 8-16.
10. Lomen, D.O., and Warrick, A.W., 1974, "Time-Dependent linearized infiltration (II : line Source)". Soil Science Society of America Proceedings 38: 568-572.
11. Peaceman, D.W., and Rachford, H.M., 1955, "The numerical solution of parabolic and elliptic differential equations", Journal of Society of Industrial and Applied Mathematics. 3, 24-41.
12. Philip, J.R., 1971. "General theorem on steady infiltration from surface sources with application to point and line sources", Soil Science Society of America Proceedings 35: 867-871.
13. Raats, P.A.C., 1971. "Steady infiltration from point sources, cavities, and basins", Soil Science Society of America Proceedings 35: 689-694.

14. Raats, P.A.C., 1972, "Steady infiltration from sources at arbitrary depth", *Soil Science Society of America Proceedings* 36: 399-401.
15. Ragab, R., Feyen, J., and Hillel, D., 1984, "Simulating infiltration in sand from a trickle line source using the matric flux potential concept", *Soil Science* 137: 120-127.
16. Remson, I., Hornberger, G.M., Molz, F.D., 1971, "Numerical Methods in Subsurface Hydrology", John Wiley, New York. 389 pp.
17. Rubin, J., 1968, "Theoretical analysis of two dimensional transient flow of water in unsaturated and partly unsaturated soils", *Soil Science Society of America Proceedings* 32: 607-615.
18. Selim, H.M., and Kirkham, D., 1973, "Unsteady Two Dimensional Flow of water in Unsaturated soils above an impervious Barrier", *Soil Science Society of America Proceedings* 37: 489-495.
19. Stockton, J.G., and Warrick, A.W., 1971, "Spatial variability of unsaturated hydraulic conductivity", *Soil Science Society of America Proceedings* 35: 847-848.
20. Svehlik, Z.J., and Ghali, G.S., 1984, "Dispersion Losses in trickle irrigation", *Conference internationale "les besoins en eau des cultures"*, INRA, Paris, France, pp. 533-546.
21. Taghavi, S.A., Marino, M.A., and Rolston, D.E., 1984, "Infiltration from a trickle irrigation source", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 110(2), 331-341.
22. Vauclin, M., Khanji, D., Vachaud, G., 1976, "Etude experimentale et numerique du drainage et de la recharge des nappes a surface libre, avec prise en compte de la zone non saturee", *Journal de Mecanique*, 15: 307-348.
23. Warrick, A.W., 1974, "Time-Dependent linearized infiltration (I: Point Sources)", *Soil Science Society of America Proceedings* 38: 383-387.
24. Warrick, A.W., and Lomen, D.O., 1976, "Time-Dependent linearized infiltration, III: Strip and disc sources", *Soil Science Society of America Journal* 40: 639-643.

ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ

¹Σακελλαρίου Μ., ²Μασλάρης Ν., ³Καλφούντζος Δ., ⁴Τούλας Χ.

¹Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Βόλος,
²Γεωπόνος, Γεωργική Έρευνα, Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης, Σύνδος
³Έρευνήτης, Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών, ΕΘΙΑΓΕ, Λάρισα,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης διαφορετικών διατάξεων σταλακτιφόρων σωλήνων και σταλακτιήρων, τόσο στην κατανομή της εδαφικής υγρασίας όσο και στην παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων. Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε αντιπροσωπευτικό αγρό της περιοχής Λάρισας. Η τοποθέτηση των σωλήνων έγινε ανά δύο (1m) και ανά τρεις (1.5 m) σειρές ζαχαροτεύτλων, των δε σταλακτιήρων ανά 0.5 και 0.75 m επί του σταλακτιφόρου σωλήνα. Σύμφωνα με τα δεδομένα στις δύο διατάξεις 1.0 m X 0.50 m και 1.0 m X 0.75 m παρατηρήθηκε μειωμένη υγρασία μόνο στις θέσεις μεταξύ των γραμμών των ζαχαροτεύτλων που δεν υπήρχε σταλακτιφόρος. Η μειωμένη αυτή υγρασία δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων. Στις διατάξεις 1.5 m X 0.50 m και 1.5 m X 0.75 m, οι ίδιοι φάνηκε να μην είναι επαρκείς στις μεσαίες γραμμές των ζαχαροτεύτλων ακόμη και μία μέτρα μετά την άρδευση. Γενικά τα δεδομένα έδειξαν κατ' αρχήν ότι η ορθή διάταξη στάγδην άρδευσης φαίνεται να είναι γραμμική παρά γραμμική ανεξάρτητα από την απόσταση των σταλακτιήρων.

SUGAR BEET RESPONSE TO DIFFERENT DRIP IRRIGATION ARRANGEMENT

ABSTRACT

Drip irrigation effect on sugar beet yield components and soil moisture distribution was studied. Two lateral arrangements in combination with two sprinkler arrangements laterals were needed. The experiment was conducted in the Larissa area in a field representative of the major sugar beet crop area. Experimental design was a two by two factorial in RCB arrangement with six applications. Laterals were set every third row (1.5 m apart) and every two (1.0 m apart) whereas sprinklers were set 0.5 m and 0.75 m within laterals. Soil moisture measurements were taken using TDR method. Root weight, sugar content and sugar field were recorded. Data indicated that soil moisture was reduced in the rows which were not next to laterals. This reduction did not seem to affect sugar beet performance. The arrangement one meter between laterals, regardless the sprinkle distance within laterals, seemed to be favoring increased sugar beet yield components. The above evidence is preliminary and more data are needed before conclusions can be drawn. This reduction did not seem to affect sugar beet performance.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ζαχαρότευτλα είναι μία από τις ανθεκτικότερες καλλιέργειες τόσο στην ξηρασία, όσο και στην αλατότητα του εδάφους. Η ανθεκτικότητα αυτή οφείλεται στη μακρά βλαστική περίοδο της καλλιέργειας, η οποία δεν παρουσιάζει ευαισθησία κατά το στάδιο άνθησης, στο βαθύ ριζικό της σύστημα και στην ικανότητα προσαρμογής της στις μεταβολές της οσμωτικής πίεσης (Dunham [5]).

Όσον αφορά την άρδευση, το ζαχαρότευτλο επηρεάζεται δυσμενώς από την κατάκλυση. Κακώς στραγγιζόμενα εδάφη πρέπει να αποφεύγονται ενώ σε ξηρές περιοχές συνιστάται άρδευση. Οι απααισίες που αναφέρονται στην επίδραση της άρδευσης στα ζαχαρότευτλα αφορούν άρδευση με καταιονισμό. Οι Hang et al [6], προσδιόρισαν την επίδραση της έλλειψης νερού στην συγγέντρωση ζαχάρου, βάρους ριζών και ξηρής ουσίας σε ένα πηλοαμμώδες και ένα αμμώδες έδαφος. Γενικά αύξηση ζαχάρου γίνεται υπό καθεστώς 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. Σχετικά με την κατανομή της υγρασίας στο έδαφος κατά την άρδευση των ζαχαροτεύτλων, έχει παρατηρηθεί ότι η μεγαλύτερη επιφάνεια υγραίνσεως εμφανίζεται σε οριζόντια τομή σε βάθος 30 cm περίπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Παπαζαφειρίου [7]). Σε εγκάρσια τομή διαπιστώθηκε ότι σε καλά προετοιμασμένο λεπτό έδαφος επικρατεί περισσότερο το τριχοειδές δυναμικό και το μέτωπο της υγρασίας 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 είναι αιμοειδές. Σε χονδροκόκκα εδάφη είναι έντονη η επίδραση της βαρύτητας και υπερισχύει η κατακόρυφη κίνηση της υγρασίας, ενώ η ύπαρξη αδιαπέραστης 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 (Brand et al [2], Bresler et al [3], Wooding, [8] e. ά.)

Οι Hills et al [5], παρατήρησαν ότι η άρδευση συνιστάται όταν η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους εξαντληθεί σε βάθος μέχρι 90 cm. έως 60%.

Από όσο είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε η άρδευση με σταγόνες στα ζαχαρότευτλα αποτελεί αντιζείμενο μελέτης, χωρίς να έχουν αναφερθεί επίσημα δεδομένα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η προκαταρκτική μελέτη της επίδρασης διαφορετικών διατάξεων σταλακτηφόρων σωλήνων και σταλακτιών νερού στην κατανομή της εδαφικής υγρασίας και στην παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων.

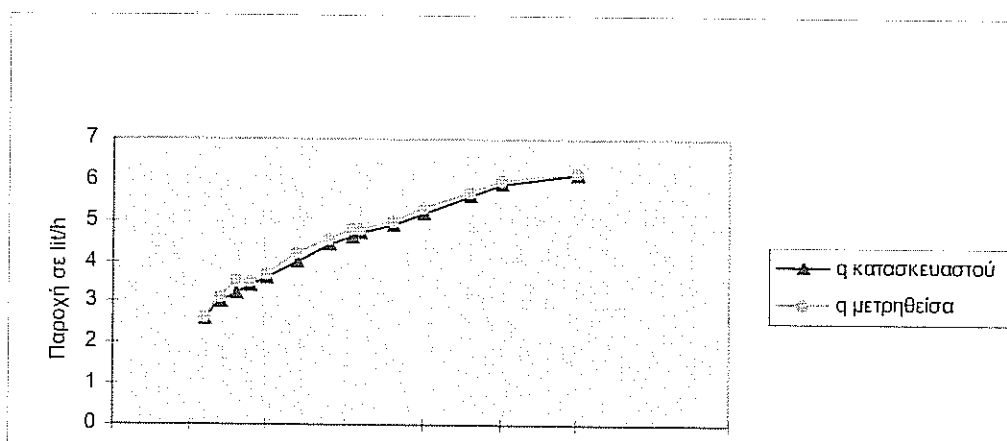
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Εγκαταστάθηκε αρδευτικό δίκτυο που αποτελείτο από τον κύριο αγωγό μεταφοράς με φορητούς χαλυβδοσωλήνες Φ 108, τους δευτερεύοντες αγωγούς από PE Φ40 στις 6 Atm. Και τους σταλακτηφόρους σωλήνες από PE Φ20 με ενσωματωμένους απλούς σταλακτιères Eurodrip GR. Οι σταλακτιères αυτοί διαθέτουν βαθύ λαβύρινθο μ-ανδρικής διαδρομής, ώστε να εξασφαλίζουν την τριβώδη ροή του νερού και την ελάχιστη ευαισθησία στις εμφράξεις. Η παροχή εκάστου ήταν 3.8 l/h σε πίεση λειτουργίας 1,4 Atm. Από μετρήσεις της παροχής των σταλακτιών διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις της, ήσαν μέσα στα επιτρεπτά από τον κατασκευαστή όρια όπως δείχνει το σχήμα 1. Η άντληση του νερού (20 m³/h) γινόταν με πετρελαιοκινητήρα 10 HP από βάθος 7 m. Στην κεφαλή του πειραματικού αγρού υπήρχε φίλτρο σίας 120-150 mesh, δυνατότητας 30 m³/h με μανόμετρα στην είσοδο και την έξοδο. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο υπήρχαν ρυθμιστές πίεσης 1.4 Atm.

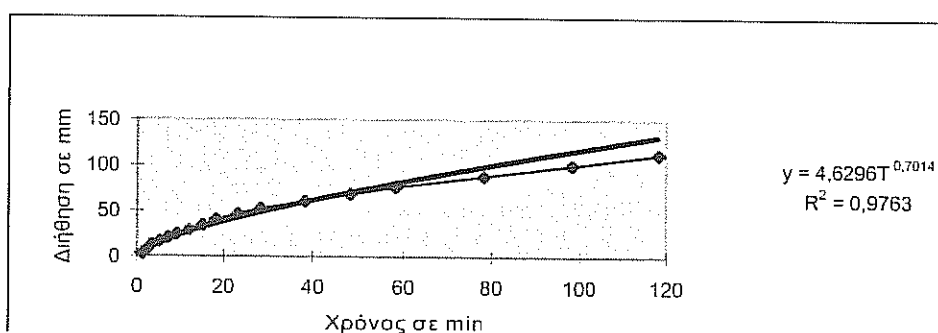
Οι μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας έγιναν με τη μέθοδο TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία είναι μία μη ραδιενεργός μέθοδος γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους, εκτός ακραίων περιπτώσεων. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στη μέτρηση

του χρόνου που απαιτείται ώστε ένας ηλεκτρομαγνητικός παλμός να διασχίσει ένα κυματοδηγό ο οποίος εισχωρεί στο έδαφος. Η ταχύτητα με την οποία ο παλμός κινείται μέσα στον κυματοδηγό σχετίζεται με την διηλεκτρική σταθερά του μέσου με το οποίο είναι σε επαφή. Σε καλλιεργούμενα εδάφη, η κατ' όγκο περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, είναι συνάρτηση της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους και μπορεί να προσδιορισθεί δια μέσου αυτής.

Η μέτρηση της κατακόρυφης διήθησης του εδάφους έγινε με το διηθητόμετρο εφαρμογής των αρδεύσεων. Η τελική διηθητικότητα βρέθηκε ίση με 3.6 cm/h.



ΣΧΗΜΑ 1. Καμπύλες πίεσεων-παροχών σταλακτήρων GR



ΣΧΗΜΑ 2. Σχέση αθροιστικής διήθησης

Τα πειραματικά σημεία προσεγγίστηκαν από την εξίσωση του σχήματος 2, από την οποία προκύπτει η σχέση της στιγμιαίας διηθητικότητας.

$$i = 3.2474t^{-0.2984} \text{ mm/min} \quad (1)$$

Η υδραυλική αγωγιμότητα του αγρού μετρήθηκε με Guelph Permeameter, του οποίου η λειτουργία στηρίζεται στην αρχή της φιάλης Mariotte, εξασφαλίζοντας έτσι σταθερή παροχή νερού στο έδαφος.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε αγρό της περιοχής Λάρισσας. Μελετήθηκαν οι διάφοροι συνδυασμοί διατάξεων συστήματος άρδευσης με σταγόνες, παρακολούθηθηκε ο όγκος διαβροχής του εδάφους και αξιολογήθηκαν οι συνέπειες στη παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων. Συγκεκριμένα μετρήθηκε το βάρος, η περιεκτικότητα σε ζάχαρη και η παραγωγή ακατέργαστης και κρυσταλλικής ζάχαρης. Κάθε συνδυασμός (επέμβαση) εφάρμοσε ίση ποσότητα νερού, σε διαφορετικούς χρόνους λειτουργίας του συστήματος.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν τροποποιημένο παραγοντικό 2X2 με 6 επαναλήψεις. Τα επίπεδα του πρώτου παράγοντα ήταν η ισοποχή μεταξύ των σταλακτηφόρων σωλήνων και τα επίπεδα του δευτέρου παράγοντα ήταν η επί του σταλακτηφόρου σωλήνα αποστάσεις των σταλακτιών (Σχ. 3, Πιν. 1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Διάταξη επεμβάσεων.

Διάταξη άρδευσης	Απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων St (m)	Απόσταση μεταξύ σταλακτιών Sr (m)	Σταλακτιές ανά στρ.	Ωριαίο ύψος νερού Idh* mm/ώρα
WD _{1.50} =A	1	0,50	2.000	7,6
WD _{1.75} =B	1	0,75	1.333	5,07
WD _{1.5-50} =Γ	1,5	0,50	1.333	5,07
WD _{1.5-75} =Δ	1,5	0,75	889	3,38

$$* Idh = \frac{q}{St \times Sr} \quad q = \text{παροχή σταλακτιών lit/ώρα, } St \times Sr = \text{διάταξη σταλακτιών}$$

Κάθε πειραματικό τεμάχιο (π.τ) είχε πλάτος 8 m (κάθετα στις γραμμές σποράς, οι οποίες ήταν ανά μισό μέτρο) και μήκος 10 m (παράλληλα στις γραμμές σποράς) Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισοδιαπνοή τύπου A (Evapotranspiration type A), με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση.

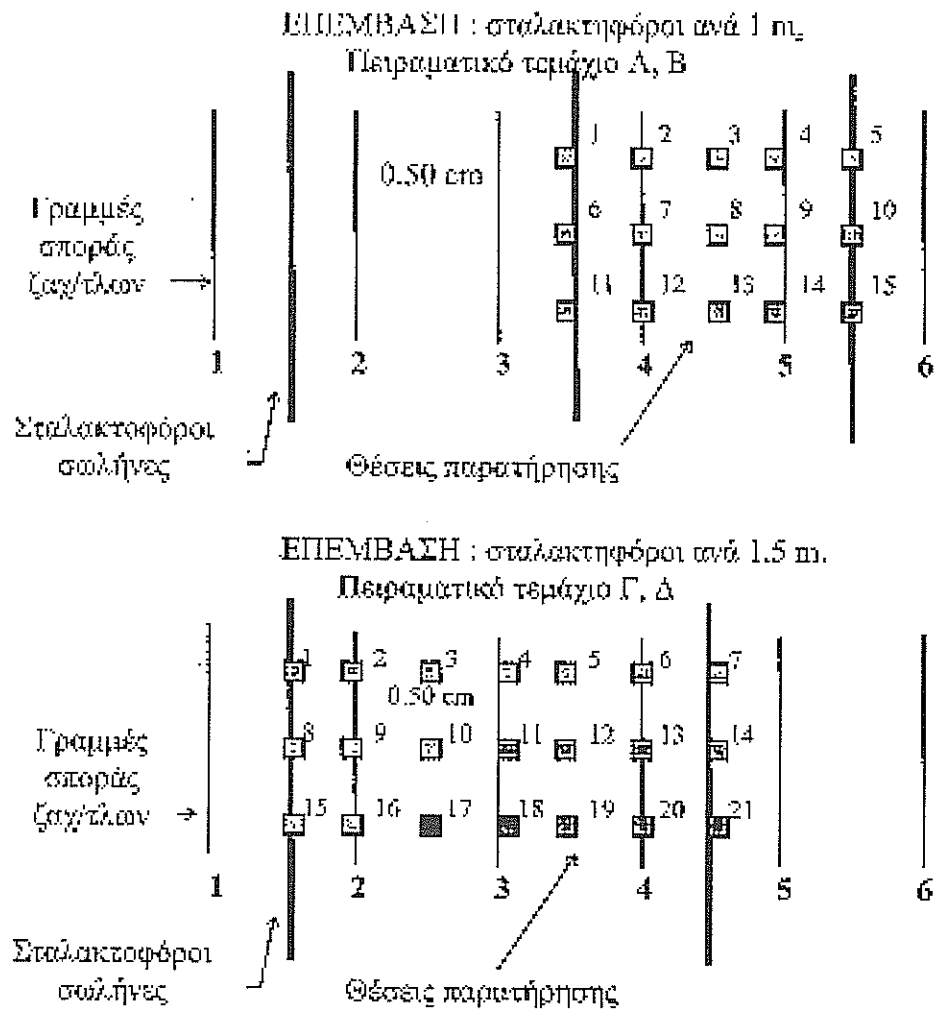
Οι αρδεύσεις επαναλαμβάνονταν κάθε 3-4 ημέρες, για να διατηρείται συνεχώς η υγρασία του εδάφους κοντά στην τιμή της Υδατοϊκανότητας.

Κατά την διάρκεια της αρδευτικής περιόδου έγιναν 13 αρδεύσεις και η καλλιέργεια συνολικά προσέλαβε 558 mm νερού.

Έγιναν δύο σειρές μετρήσεων της υγρασίας εδάφους στις 31/7/97 και στις 7/9/97 που αντιστοιχούν στην πρώτη ημέρα μετά από άρδευση. Το βάθος των μετρήσεων ήταν 16.5 και 20 cm. Οι μετρήσεις έγιναν στη θέση των σταλακτηφόρων σωλήνων, επί των γραμμών των ζαχαροτεύτλων και ανάμεσα από αυτές (Σχ. 3).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

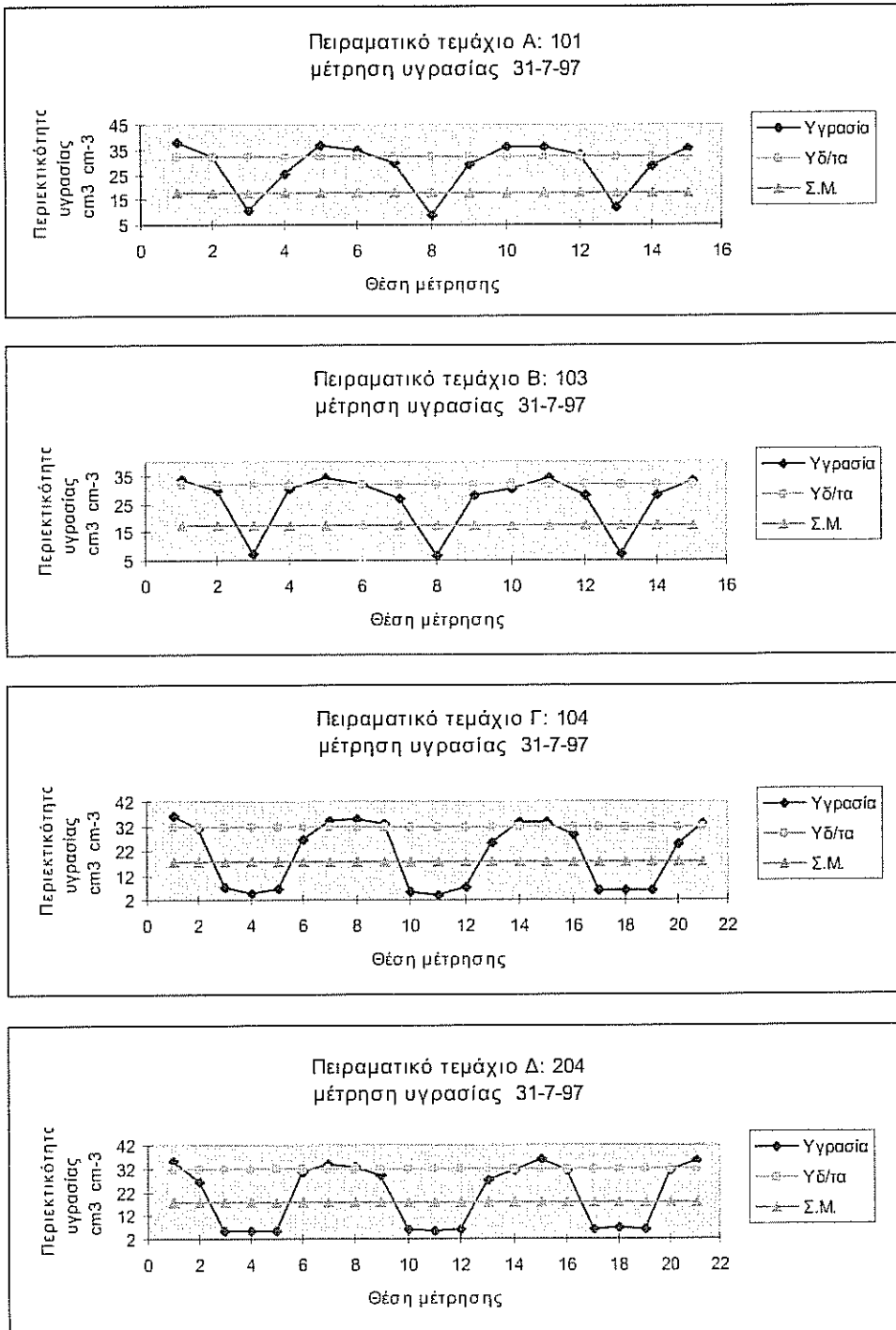
Από τις αναλύσεις του εδάφους προέκυψε ότι το έδαφος ήταν αμμοαργιλλοπηλώδες με συμπεριφορά βαρέως λόγω της αλατότητας. Από την ανάλυση της ποιότητας του νερού προέκυψε ότι υπάρχει αλατότητα, ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με κακή στράγγιση και ανεπαρκή έκπλυση και ότι χρησιμοποιείται μόνο σε φυτά ανθεκτικά σε άλατα. Η θέση του ζαχαροτεύ-



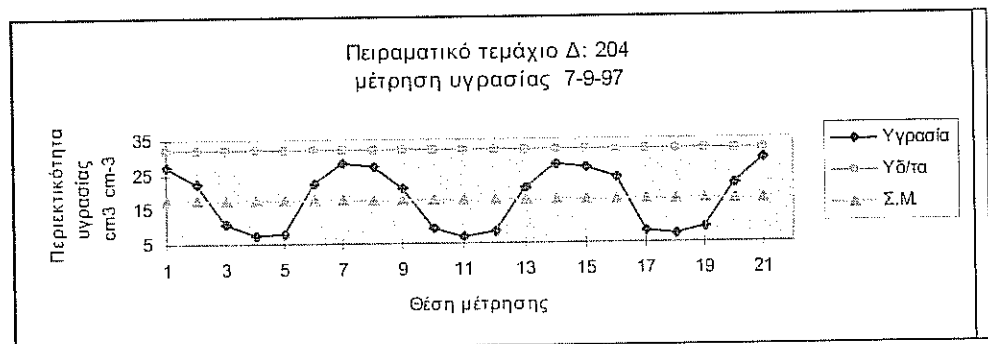
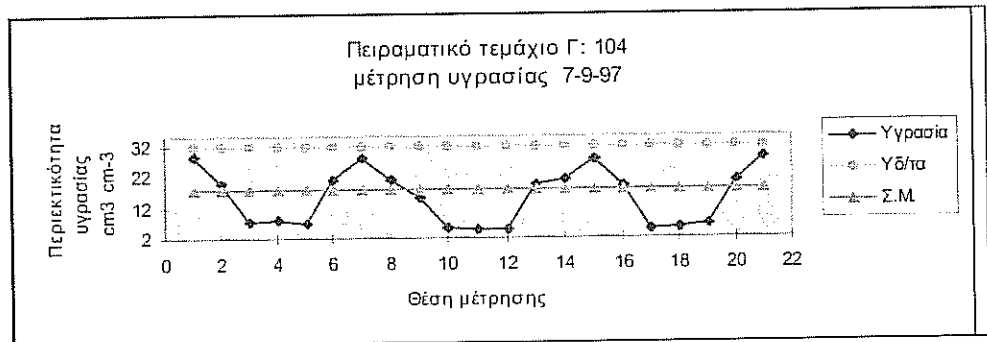
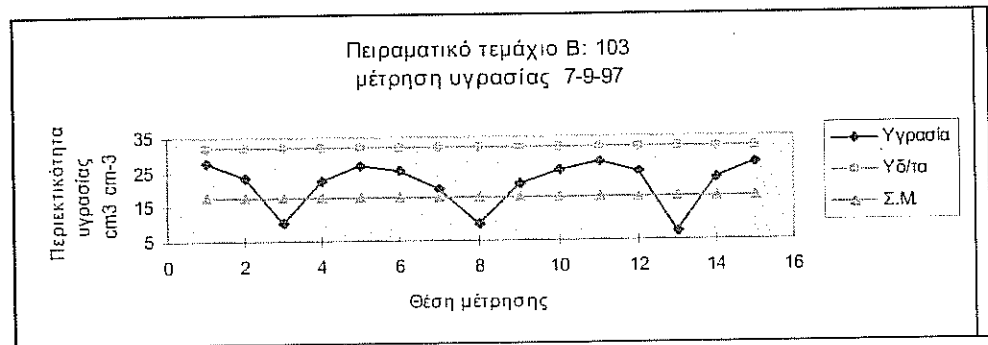
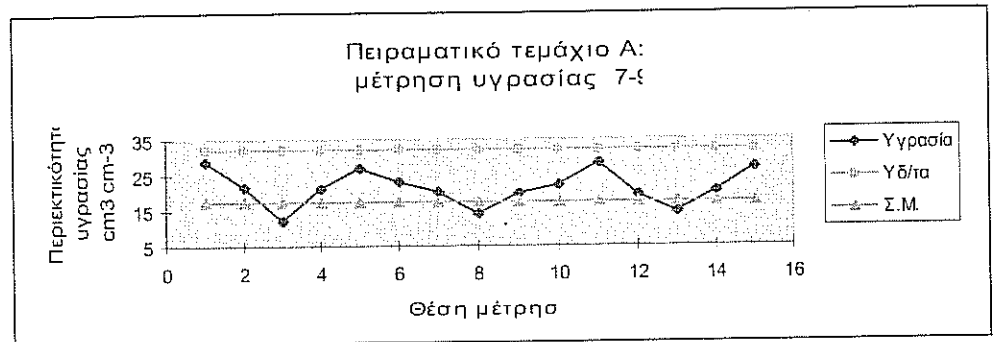
ΣΧΗΜΑ 3. Διάταξη σταλακτηφόρων σωλήνων ανά πειραματική επέμβαση.

τλου από πλευράς ανθεκτικότητας στα άλατα είναι τρίτη μετά το βαμβάκι και το κριθάρι. Επομένως η καλλιέργεια δεν θύγεται από την άρδευση, σε αντίθεση με το έδαφος το οποίο άρχισε να υποβαθμίζεται λόγω της μακροχρόνιας χρήσης του αρδευτικού νερού.

Η υδραυλική αγωγιμότητα του χωραφιού βρέθηκε ίση με $2 \cdot 10^{-3}$ cm/sec οσα 7 πώτα 15 cm του εδάφους και $8,5 \cdot 10^{-4}$ cm/sec σε βάθος 45 cm. Με βάση τα δεδομένα του αγρού στις διατάξεις Α και Β (σταλακτηφόροι ανά δύο σειρές φυτών) η κατανομή της υγρασίας ήταν πρακτικά η ίδια (Σχ. 4 και 5). Ελάχιστη υγρασία, κάτω από το σημείο μάρανσης, εμφανίζεται μεταξύ των γραμμών φυτών όπου δεν υπάρχουν σταλακτηφόροι. Η υγρασία έδειξε να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε προς τις σειρές φυτών κοντά στους σταλακτιήρες (σημεία 2, 4, 7, 9, 12, 14) και προς τους σταλακτηφόρους σωλήνες (1, 5, 6, 10, 11, 15).



ΣΧΗΜΑ 4. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, δόση άρδευσης 30.4 mm, άρδευση 30-7-97.



ΣΧΗΜΑ.5. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, δόση άρδευσης 40.5 mm, άρδευση 5-9-97.

Οι διατάξεις Γ και Δ (σταλακτηφόροι ανά τρεις σειρές φυτών), παρουσιάζουν την ίδια κατανομή υγρασίας (Σχ. 4 και 5). Οι χαμηλότερες τιμές υγρασίας εμφανίζονται στη μεσαία σειρά ζαχαροτεύλων (σημεία 4, 11 και 18 και ανάμεσα στις σειρές φυτών (σημεία 3, 5, 10, 12, 17, 19). Η υγρασία ήταν σε ψηλότερα επίπεδα στις σειρές κοντά στους σταλακτήρες (σημεία 2, 6, 9, 13, 16, 20) και έφθανε στην Υδατοϊκανότητα επί των σταλακτιών.

Γενικά οι τιμές των μετρήσεων της 31/7/97 ήταν ψηλότερες από τις αντίστοιχες της 7/9/97, διότι οι πρώτες ελήφθησαν την επόμενη της άρδευσης, ενώ οι δεύτερες, δύο ημέρες μετά την άρδευση.

Σύμφωνα με τα δεδομένα (Πιν. 2) οι συνολικές επιδράσεις τόσο στην απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων όσο και μεταξύ σταλακτιών στον ίδιο σωλήνα, δεν επέδρασαν σημαντικά στην παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύλων. Προέκυψε μόνο ένδειξη πιθανής επίδρασης στο βάρος ριζών. Συγκεκριμένα όταν οι σταλακτηφόροι σωλήνες ήταν σε απόσταση 1 m, έδειξαν μία υπερωχή σε βάρος των ριζών 6.3% σε σχέση με την απόσταση 1.5 m (σημαντικό $P=0.08$)

Περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων (Πιν. 3) έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των αποστάσεων των σταλακτιών επί του σταλακτηφόρου στο 1.5 m. Επιμέρους ανάλυση της αλληλεπίδρασης έδειξε ότι για όλα τα παραγωγικά χαρακτηριστικά (βάρος, περιεκτικότητα σε ζάχαρη και απόδοση σε ζάχαρη, ακατέργαστη και κρυσταλλική η απόδοση ήταν μειωμένη στις γραμμές που δεν εφάπτονταν με σταλακτηφόρο στην απόσταση 1.5 m. Τα δεδομένα αυτά είναι μία πρώτη ένδειξη της σημασίας που έχει η διάταξη της στάγδην άρδευσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Παραγωγική συμπεριφορά ζαχαροτεύλων σε επεμβάσεις με στάγδην άρδευση.

Πειραματικός αγρός	: Γλαύκη	Ημερομηνία σορός	: 24/03/97
Τύπος εδάφους	: SCL	Ημερομηνία σ/δής	: 19/09/97
Πειραματικό σχέδιο	: Παραγοντικό 2x2x6	Άρδευτικό νερό	: 558 mm

Παραγωγικά αποτελέσματα επεμβάσεων

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	Αριθμός ριζών / στρ.	Βάρος Φύλλων Κορυφών	Βάρος ριζών χγγ./στρ.	Ζαχαρικός τίτλος "S"	Ζάχαρη, χγγ./στρ.	
					Ακατέργαστη	Κρυσταλλική
Απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων						
1.0 m	10640	-	6160	13.11	808	519
1.5 m	10521	-	5791	13.22	765	491
F-test	MΣ		(+)	MΣ	MΣ	MΣ
Απόσταση μεταξύ σταλακτιών στον ίδιο σωλήνα						
50 cm	10521	-	5893	13.25	780	507
75 cm	10640	-	6059	13.07	792	504
F-test	MΣ		MΣ	MΣ	MΣ	MΣ

(+) : Σημαντικότητα $P=0.08$ MΣ: $P=0.05$

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα δεδομένα στις δύο διατάξεις 1.0 m x 0.50 m εαε 1.0 m x 0.75 m παρατηρήθηκε μειωμένη υγρασία μόνο στις θέσεις μεταξύ των γραμμών των ζαχαροτεύλων που δεν υπήρχε σταλακτηφόρος. Η μειωμένη αυτή υγρασία δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύλων.

Στις διατάξεις 1.5 m X 0.50 m εαε 1.5 m X 0.75 m, οι ίαο φάνηκε να μην είναι επαρκές στις μεσαίες γραμμές των ζαχαροτεύλων ακόμη και μία μέρα μετά την άρδευση.

Γενικά φάνηκε κατ' αρχήν ότι η ορθή διάταξη στάγδην άρδευσης είναι γραμμή παρά γραμμή ανεξάρτητα από την απόσταση των σταλακτιών.

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι μία πρώτη ένδειξη των επιδράσεων της διάταξης της άρδευσης με σταγόνες. Θα χρειασθούν περισσότερα στοιχεία για να επιβεβαιωθούν τα προηγούμενα συμπεράσματα. Τα δεδομένα αυτά αναμένονται την επόμενη διετία από πειράματα που είναι σε εξέλιξη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας πειραματικών επεμβάσεων.

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	Αριθμός ριζών / στρ.	Παραγωγικά αποτελέσματα επεμβάσεων				<u>Ζύγαση, γλυ./στρ.</u>	
		Βάρος Φύλλων Κορυφών	Βάρος ριζών γλυ./στρ.	Ζαχαρικός τίτλος "S	Ακατέρ- γαστη	Κρυσταλ- λική	
I. Παραγοντική επίδραση							
Διάταξη αρδευτικού δικτύου							
1.0 m x 50 cm	10508	-	6119	13.05	798	513	
x 75 cm	10771	-	6202	13.18	817	524	
1.5 m x 50 cm	10533	-	5666	13.40	763	500	
x 75 cm	10508	-	5917	12.96	767	483	
F-test	ΜΣ		ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	
Γραμμές σποράς Ζαχαροτεύλων* (1.5 m)							
3η + 6η γραμμές	10375	-	4822	12.96	623	442	
4η + 5η γραμμές	10667	-	6762	13.41	906	541	
F-test	ΜΣ		**	**	**	(+)	
II. Αλληλεπίδραση παραγόντων							
1.5x50, 3η+ 6η γραμ.	10525	-	4762	13.04	620	440	
x50, 4η+5η γραμ.	10542	-	6571	13.76	905	560	
x75, 3η+6η γραμ.	10225	-	4882	12.87	626	444	
x75, 4η+5η γραμ.	10792	-	6952	13.05	908	522	
M.O. πειράματος	10580		5976	13.15	786	505	
F-test	ΜΣ		**	ΜΣ	**	(+)	
CV (%)	5.5		6.6	3.4	6.8	18.6	

** , (+) : Σημαντικότητα για $P=0.01$ ΜΣ: $P=0.10$ αντίστοιχα

*3η + 6η γραμμές : είναι γραμμές ζαχαροτεύλων που δεν εφάπτονται με σταλακτοφόρο σωλήνα άρδευσης όταν η απόσταση μεταξύ των σωλήνων είναι 1.5 m.

*4η + 5η γραμμές : είναι οι γραμμές ζαχαροτεύλων που εφάπτονται με σταλακτοφόρο σωλήνα άρδευσης και στις δύο διατάξεις σωλήνων (απόσταση μεταξύ των 1.0 ή 1.5 m).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amaducci M T, Cucci G, Caro De A, Gherbin P, Mambelli S, Venturi G, Sugar beet yield response to irrigation in different environmental conditions, *Irrigazione E drainaggio*, 1989, Vol. 36 no 4, pp.
2. Brand A, Bresler E, Diner N, Ben-Asher I, Heller J and Goldberg D, Infiltration from a trickle source. Mathematical models, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1971, Vol 35: 675- 682.
3. Bresler E, and Goldberg G. Infiltration from trickle source : II Experimental data and theoretical prediction, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1971, Vol 35: 675-682.
4. Dunham R M. The sugar beet crop: Science into practice. Edited by D A Cooke and R K Scott. Published in 1993 by Chapman & Hall, pp 675.
5. Hills F J, Winter S R, Henderson D W. Irrigation of agricultural crops. *Agronomy monograph*, 1990, No 30, pp 795-810.
6. Hang N, Miller D E. Response of sugarbeet to deficit, high-frequency sprinkler irrigation. I. Sucrose accumulation and top and root dry matter production. *Agronomy Journal*, 1986, Vol 78, pp 10-14.
7. Παπαζαφειρίου, Ζ., Σχεδίαση και υπολογισμός αρδευτικών συστημάτων με σταλακτιήρες. Υπουργείο Γεωργίας, Υπηρεσία Γεωργικών Ερευνών, Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων , Θεσσαλονίκη, 1977 σελ. 58.
8. Wooding R. A, Steady infiltration from a circular pond. *Water Resour. Res.* 1968, Vol. 4, pp 1259-1273.

ΔΙΗΘΗΣΗ ΠΡΟΣ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΑΠΟ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑ ΜΕ ΒΑΘΜΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΤΑΘΜΗ

Η. Τελόγλου, Θ. Ζήσης και Γ. Τερζίδης

*Τομέας Εργείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή εξετάζεται η επίδραση της βαθμιαία μεταβαλλόμενης στάθμης ενός υδατορεύματος, στη διήθηση του νερού προς ένα παρακείμενο κεκλιμένο ελεύθερο υδροφορέα ημιάπειρης έκτασης. Για την περιγραφή του φαινομένου, χρησιμοποιείται μία επεκταμένη μορφή της μη ομογενούς εξίσωσης Boussinesq, για την οποία θεωρείται ότι οι γραμμές ροής είναι παράλληλες προς το κεκλιμένο αδιαπέρατο υπόστρωμα. Η ημιγρομμιακή αναλυτική λύση που παρουσιάζεται συμφωνεί ικανοποιητικά με αντίστοιχη αριθμητική λύση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα για τον υπολογισμό της μεταβολής του ύψους της υπόγειας στάθμης, αλλά και της παροχής εμπλουτισμού του υδροφορέα.

SEEPAGE TOWARDS A SLOPING AQUIFER FROM A STREAM WITH GRADUALLY VARYING FLOW DEPTH

E. Teloglou, T. Zissis and G. Terzidis

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

ABSTRACT

In this paper the influence of a gradually varying flow depth in a stream to the seepage towards an unconfined sloping aquifer of semiinfinite extent is studied. An extended form of the non-homogeneous Boussinesq equation is used to describe the seepage. In this approximation it is considered that the streamlines are parallel to the sloping impermeable layer. A quasi-linear analytical solution of this equation is presented that is in excellent agreement with a numerical solution of the Boussinesq equation. The analytical solution can be used to calculate the water table height as well as the recharge of the aquifer.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μη γραμμική μερική διαφορική εξίσωση του Boussinesq πολλές φορές έχει αποτελέσει τη βάση στη μελέτη προβλημάτων κίνησης του υπόγειου νερού, τόσο σε οριζόντιους, όσο και σε κεκλιμένους ελεύθερους υδροφορείς. Πολλοί ερευνητές έχουν δώσει κατά καιρούς αναλυτικές λύσεις και αριθμητικά υπολογιστικά σχήματα που αφορούν, τόσο ειδικά προβλήματα στράγγισης εδαφών μεταξύ οριζοντίων τάφρων ή στραγγιστικών σωλήνων, όσο και πιο γενικά προβλήματα ροής σε οριζόντιους ελεύθερους υδροφορείς (Dumm[3], Maasland[4], Moody[6], Terzidis[10],[11], και Marino[5]).

Η επέκταση της εξίσωσης Boussinesq στους κεκλιμένους υδροφορείς έχει αντιμετωπισθεί με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Σύμφωνα με την πρώτη οι γραμμές ροής σε μια κατακόρυφη διατομή θεωρούνται οριζόντιες, ενώ στη δεύτερη περίπτωση γίνεται δεκτό ότι οι γραμμές ροής είναι παράλληλες προς το κεκλιμένο αδιαπέρατο υπόστρωμα.

Για την περίπτωση της οριζόντιας ροής η Polubarinova-Kochina [7] παρουσίασε μια γραμμική αναλυτική λύση για το πρόβλημα της διήθησης από μία τάφρο προς ένα ημιάπειρης έκτασης υδροφορέα. Για τη μελέτη του ίδιου προβλήματος οι Yussuf et al. [12] επιλύουν αριθμητικά τη μη γραμμική μορφή της ίδιας επεκταμένης εξίσωσης Boussinesq. Επίσης οι Chauhan et al. [2] και οι Sewa Ram and Chauhan [8] παρουσίασαν αναλυτικές λύσεις της ομογενούς και της μη ομογενούς επεκταμένης εξίσωσης Boussinesq, αντίστοιχα, για τη ροή προς στραγγιστικούς αγωγούς σε κεκλιμένο υδροφορέα.

Για την περίπτωση κατά την οποία οι γραμμές ροής είναι παράλληλες προς το κεκλιμένο αδιαπέρατο υπόστρωμα ο Charman [1] παρουσίασε μια νέα επεκταμένη μορφή της εξίσωσης Boussinesq ως προς οριζόντιο άξονα, ενώ το ύψος της υπόγειας στάθμης μετριέται ως προς την κατακόρυφο.

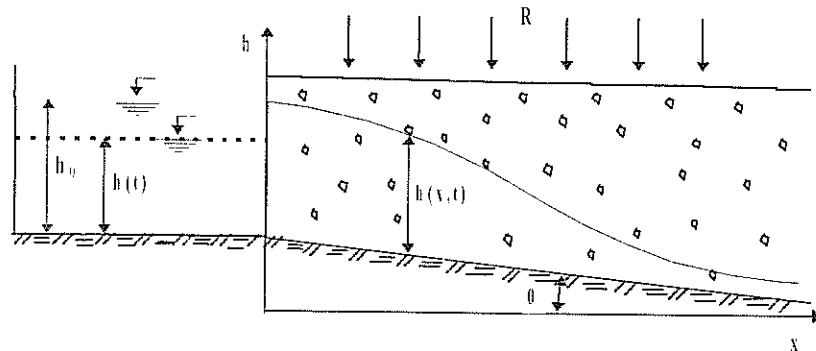
Χρησιμοποιώντας την ίδια προσέγγιση οι Τελόγλου κ.α. [9] παρουσίασαν δύο ημιγραμμικές αναλυτικές λύσεις της εξίσωσης Boussinesq για την ασταθή διήθηση νερού από τάφρο προς ένα κεκλιμένο υδροφορέα ημιάπειρης έκτασης. Οι γραμμές ροής θεωρούνται παράλληλες προς το αδιαπέρατο υπόστρωμα.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση της βαθμιαία μεταβαλλόμενης στάθμης ενός υδατορεύματος στη διήθηση του νερού προς παρακείμενο κεκλιμένο ελεύθερο υδροφορέα ημιάπειρης έκτασης. Παρουσιάζεται μια ημιγραμμική αναλυτική λύση της εξίσωσης Boussinesq για κεκλιμένους υδροφορείς. Στην προσέγγιση αυτή οι γραμμές ροής θεωρούνται παράλληλες προς το κεκλιμένο αδιαπέρατο υπόστρωμα. Επιπλέον γίνεται δεκτό ότι μια σταθερή παροχή επαναπλήρωσης μπορεί να λαμβάνει χώρα από την επιφάνεια του εδάφους. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της ημιγραμμικής αναλυτικής λύσης γίνεται με αποτελέσματα αριθμητικών λύσεων. Η προσέγγιση που επιτυγχάνεται είναι πολύ ικανοποιητική. Τέλος, με βάση τη λύση που επιτυγχάνεται είναι δυνατό να δημιουργηθούν αδιάστατα διαγράμματα με τη βοήθεια των οποίων θα είναι εύκολο να υπολογισθούν η παροχή διήθησης, καθώς και το ύψος της υπόγειας στάθμης σε μια δεδομένη στιγμή και απόσταση από το υδατόρευμα.

ΔΙΗΘΗΣΗ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΟ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑ

Στο Σχ. 1, παρουσιάζεται διαγραμματικά ένας κεκλιμένος ελεύθερος υδροφορέας ημιάπειρης έκτασης, προς τον οποίο διηθείται νερό από τα τοιχώματα ενός φυσικού υδατορεύματος.

Αρχικά θεωρούμε ότι δεν υπάρχει νερό στο υδατόρευμα και το πορώδες υλικό του υδροφορέα έχει στραγγισθεί τελείως. Στη συνέχεια, νερό αρχίζει να ρέει μέσα στο υδατόρευμα και η στάθμη του αυξάνει βαθμιαία με το χρόνο. Η σταδιακή ανύψωση της στάθμης του νερού δημιουργεί συνθήκες πλευρικής διήθησης με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας υπόγειας στάθμης και την προώθηση αυτής μέσα στον υδροφορέα. Συγχρόνως εξετάζεται η απόκριση του υδροφορέα όταν δέχεται μια σταθερή παροχή επαναπλήρωσης από την επιφάνεια του εδάφους, η οποία μπορεί να οφείλεται σε άρδευση ή βροχόπτωση. Για την επίλυση του προβλήματος γίνονται ορισμένες απλοποιητικές παραδοχές, οι οποίες είναι: (1) ο υδροφορέας είναι ομογενής, ισότροπος και εδράζεται πάνω σε κεκλιμένο αδιαπέρατο υπόστρωμα, (2) οι υδρογεωλογικές παράμετροι του εδάφους παραμένουν σταθερές, (3) ισχύουν οι παραδοχές Dupuit-Forchheimer.



ΣΧΗΜΑ 1. Διήθηση από υδατόρρευμα προς κεκλιμένο ελεύθερο υδροφορέα

Το φυσικό αυτό πρόβλημα περιγράφεται ικανοποιητικά από τη μη γραμμική και μη ομογενή διαφορική εξίσωση του Boussinesq για κεκλιμένους υδροφορείς (Charman, [1]), η οποία είναι:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) \tan \vartheta \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{S}{K \cos^2 \vartheta} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{R}{K \cos^2 \vartheta} \quad (1)$$

όπου h = το ύψος της υπόγειας στάθμης που είναι συνάρτηση της απόστασης x από το υδατόρρευμα και του χρόνου t , θ = η γωνία του πυθμένα του υδροφορέα ως προς το οριζόντιο, K = η υδραυλική αγωγιμότητα, S = η ειδική σε νερό απόδοση του εδάφους και R = παροχή επαναπλήρωσης.

Η αρχική και οι οριακές συνθήκες του προβλήματος περιγράφονται από τις σχέσεις:

$$h(x,0) = 0 \quad 0 < x < \infty, \quad t = 0 \quad (2\alpha)$$

$$h(0,t) = h_0 (1 - e^{-\lambda_0 t}) \quad x = 0, \quad t > 0 \quad (2\beta)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} h(x,t) = 0 \quad t > 0 \quad (2\gamma)$$

όπου λ_0 = μία θετική σταθερά που προσδιορίζει το ρυθμό ανίψωσης της στάθμης του νερού και h_0 = το μέγιστο βάθος του νερού στο υδατόρρευμα.

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Η εξίσωση (1) μπορεί να γραφεί με τη μορφή:

$$\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} - \frac{\tan \vartheta}{h} \frac{\partial h^2}{\partial x} = \frac{S}{K \cdot h \cdot \cos^2 \vartheta} \frac{\partial h^2}{\partial t} - \frac{2R}{K \cdot \cos^2 \vartheta} \quad (3)$$

Αν θεωρήσουμε ότι το h των παρονομαστών είναι σταθερό και ίσο με ένα μέσο βάθος, και χρησιμοποιήσουμε τις αδιάστατες μεταβλητές:

$$H = \frac{h^2}{h_0^2} \quad \xi = \frac{x}{h_0} \quad \tau = \frac{K \cdot \cos^2 \vartheta \cdot t}{S \cdot h_0} \quad (4\alpha, \beta, \gamma)$$

θα έχουμε:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial \xi^2} - 2\alpha \frac{\partial H}{\partial \xi} = \delta \frac{\partial H}{\partial \tau} - \frac{2R}{K \cos^2 \vartheta} \quad (5)$$

$$H(\xi, 0) = 0 \quad 0 < \xi < \infty, \quad \tau = 0 \quad (6\alpha)$$

$$H(0, \tau) = (1 - e^{-\lambda^2 \tau})^2 \quad \xi = 0, \quad \tau > 0 \quad (6\beta)$$

$$\lim_{\xi \rightarrow \infty} H(\xi, \tau) = 0 \quad \tau > 0 \quad (6\gamma)$$

όπου:

$$\alpha = \frac{h_0 \tan \vartheta}{2h} \quad \lambda^2 = \frac{\lambda_c h_0 S}{K \cos^2 \vartheta} \quad \delta = \frac{h_0}{h} \quad (7\alpha, \beta, \gamma)$$

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο μετασχηματισμών Laplace στις εξισώσεις (5) και (6α,β,γ) παίρνουμε τη λύση του προβλήματος που δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} H(\xi, \tau) = & \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\xi - 2\frac{\alpha}{\delta} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) + e^{2\alpha\xi} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + 2\frac{\alpha}{\delta} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) \right] \\ & - e^{(\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \alpha\delta})\xi - \lambda^2 \tau} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\xi - \frac{2}{\delta} \sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda^2} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) + e^{2\sqrt{\alpha^2 - \alpha\delta}\xi} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + \frac{2}{\delta} \sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda^2} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) \right] \\ & + \frac{e^{(\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda^2})\xi - 2\lambda^2 \tau}}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\xi - \frac{2}{\delta} \sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda^2} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) + e^{2\sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda^2}\xi} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + \frac{2}{\delta} \sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda^2} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) \right] \\ & + \frac{R}{K \cos^2 \vartheta} \left[\left(\tau - \frac{\xi}{2\frac{\alpha}{\delta}} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi - 2\frac{\alpha}{\delta} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) + \left(\tau + \frac{\xi}{2\frac{\alpha}{\delta}} \right) e^{2\alpha\xi} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + 2\frac{\alpha}{\delta} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) \right] + \frac{2R}{K \cos^2 \vartheta} \tau \end{aligned} \quad (8)$$

Στην περίπτωση μηδενικής παροχής επαναπλήρωσης, η εξίσωση (8) παίρνει τη μορφή:

$$\begin{aligned}
 H(\xi, \tau) = & \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\xi - 2\frac{\alpha}{\delta} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) + e^{2\alpha\xi} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + 2\frac{\alpha}{\delta} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) \right] \\
 & - e^{(\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda_1^2})\xi - \lambda_1^2 \tau} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\xi - \frac{2}{\delta} \sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda_1^2} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) + e^{2\sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda_1^2} \xi} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + \frac{2}{\delta} \sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda_1^2} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) \right] \\
 & + \frac{e^{(\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda_1^2})\xi - 2\lambda_1^2 \tau}}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{\xi - \frac{2}{\delta} \sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda_1^2} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) + e^{2\sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda_1^2} \xi} \operatorname{erfc} \left(\frac{\xi + \frac{2}{\delta} \sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda_1^2} \tau}{2\sqrt{\tau/\delta}} \right) \right]
 \end{aligned} \tag{9}$$

Χρησιμοποιώντας για την παροχή ανά μονάδα πλάτους τη σχέση (Charman [1]):

$$q_o = K \cos^2 \vartheta \cdot h \left(\frac{\partial h}{\partial x} - \tan \vartheta \right) \tag{10}$$

σε συνδυασμό με τις εξισώσεις (4α,β) και (8), προκύπτει η εξίσωση (11) με την οποία μπορεί να υπολογιστεί η παροχή που διηθείται προς τον υδροφόρα σε κάθε χρονική στιγμή, στο όριο του τοιχώματος του υδατορεύματος.

$$\begin{aligned}
 \frac{2q_o}{Kh_o} = & 2 \cos^2 \vartheta \tan \vartheta \left(-e^{-\lambda_1^2 \tau} \right) + 2 \cos^2 \vartheta e^{-\lambda_1^2 \tau} \left[\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda_1^2} \operatorname{erf} \left(\sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda_1^2} \sqrt{\tau/\delta} \right) \right] \\
 & - \cos^2 \vartheta e^{-2\lambda_1^2 \tau} \left[\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda_1^2} \operatorname{erf} \left(\sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda_1^2} \sqrt{\tau/\delta} \right) \right] \\
 & + \frac{R}{K} \left[2\alpha\tau - 2\sqrt{\delta\tau/\pi} e^{-\frac{\alpha^2 \tau}{\delta}} - \left(\frac{\delta + 2\alpha^2 \tau}{\alpha} \right) \operatorname{erf} \left(\alpha \sqrt{\tau/\delta} \right) \right] - \alpha \cos^2 \vartheta \left[1 - \operatorname{erf} \left(\alpha \sqrt{\tau/\delta} \right) \right]
 \end{aligned} \tag{11}$$

Στην περίπτωση της μηδενικής παροχής επαναπλήρωσης από την επιφάνεια του εδάφους, $R=0$, η εξίσωση (11) γράφεται:

$$\begin{aligned}
 \frac{2q_o}{Kh_o} = & 2 \cos^2 \vartheta \tan \vartheta \left(-e^{-\lambda_1^2 \tau} \right) + 2 \cos^2 \vartheta e^{-\lambda_1^2 \tau} \left[\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda_1^2} \operatorname{erf} \left(\sqrt{\alpha^2 - \delta\lambda_1^2} \sqrt{\tau/\delta} \right) \right] \\
 & - \cos^2 \vartheta e^{-2\lambda_1^2 \tau} \left[\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda_1^2} \operatorname{erf} \left(\sqrt{\alpha^2 - 2\delta\lambda_1^2} \sqrt{\tau/\delta} \right) \right] - \alpha \cos^2 \vartheta \left[1 - \operatorname{erf} \left(\alpha \sqrt{\tau/\delta} \right) \right]
 \end{aligned} \tag{12}$$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για την επαλήθευση της αναλυτικής λύσης, και δεδομένου ότι δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα, αυτή συγκρίνεται με την αριθμητική λύση της γραμμικοποιημένης, μη ομογενούς επεξεργασμένης εξίσωσης Boussinesq [εξ.(5)], η οποία υπόκειται στις αντίστοιχες βοηθητικές συνθήκες. Για την αριθμητική λύση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών και πιο συγκεκριμένα το ρητό υπολογιστικό σχήμα Du Fort-Frankel. Σύμφωνα μ' αυτό η εξίσωση (5) προσεγγίζεται από την εξίσωση:

$$\left(\frac{H_{j+1,n} - H_{j,n+1} - H_{j,n-1} + H_{j-1,n}}{(\Delta\xi)^2} \right) \lambda\alpha \left(\frac{H_{j+1,n} - H_{j-1,n}}{2\Delta\xi} \right) \\ \frac{2\alpha}{\tan \vartheta} \frac{H_{j,n+1} - H_{j,n-1}}{2\Delta\tau} = \frac{R}{K \cos^2 \vartheta} \quad (13)$$

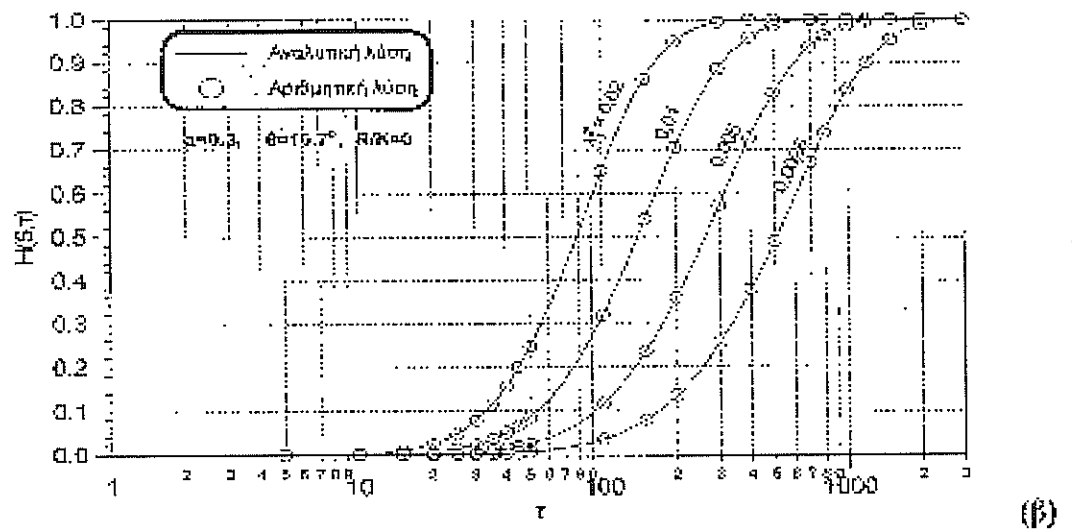
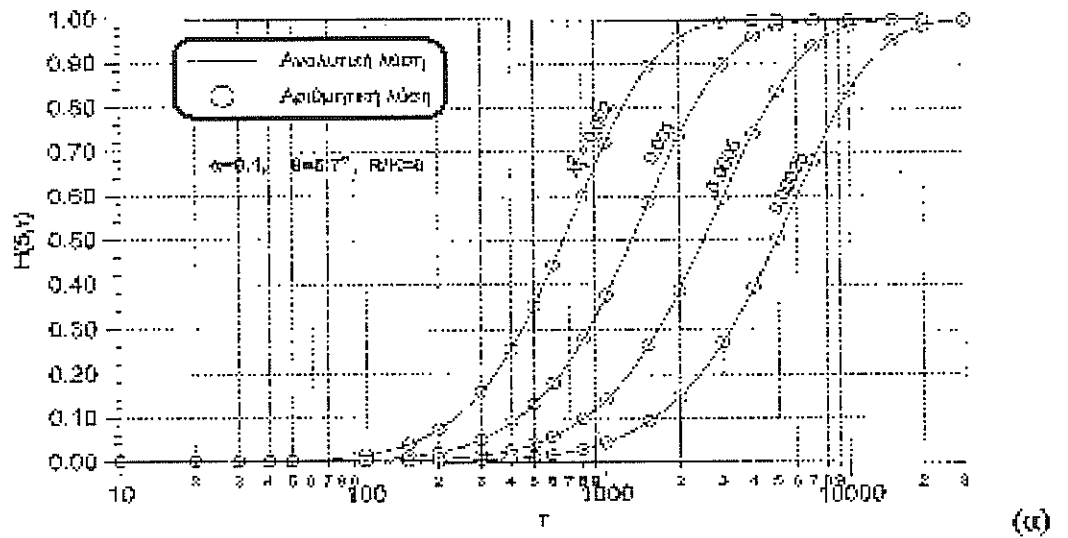
Από την εξίσωση (13) και τις βοηθητικές συνθήκες του προβλήματος ο μόνος άγνωστος, $H_{j,n+1}$, υπολογίζεται ρητά, συναρτήσει των τιμών του φορτίου στα δύο προηγούμενα χρονικά βήματα.

Στο Σχ. 2 παρουσιάζονται δύο αδιάστατα διαγράμματα που δείχνουν τη μεταβολή του αδιάστατου ύψους της υπόγειας στάθμης σε μια συγκεκριμένη θέση για διάφορους ρυθμούς ανόδου της στάθμης της ροής στο υδατόρευμα. Τόσο στην περίπτωση της μικρής ($\theta=5.7^\circ$), όσο και στην περίπτωση της μεγαλύτερης ($\theta=16.7^\circ$) κλίσης παρατηρείται πολύ ικανοποιητική προσέγγιση μεταξύ της αριθμητικής και της αναλυτικής λύσης [εξ.(9)]. Σ' όλες τις περιπτώσεις η υπόγεια στάθμη, στην περιοχή κοντά στο υδατόρευμα, καταλήγει να γίνει παράλληλη προς το αδιαπέρατο υπόστρωμα.

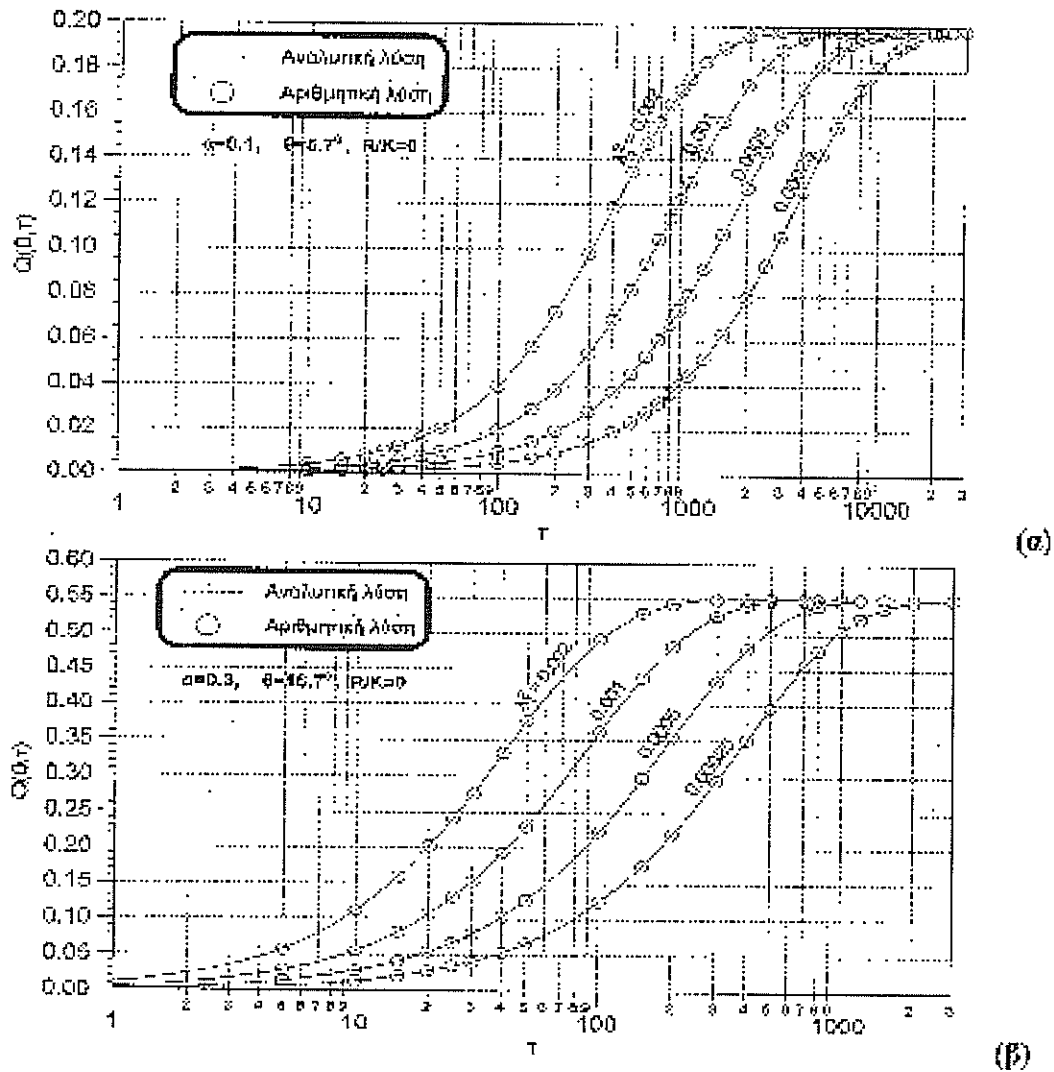
Στο Σχ. 3 παρουσιάζονται επίσης δύο αδιάστατα διαγράμματα για μικρή ($\theta=5.7^\circ$) και μεγαλύτερη κλίση ($\theta=16.7^\circ$) του αδιαπεράτου υποστρώματος. Σ' αυτά φαίνεται η μεταβολή της αδιάστατης παροχής ανά μονάδα μήκους, στο όριο του υδατορεύματος ($\xi=0$), για διάφορους ρυθμούς ανόδου της βάθους της ροής στο υδατόρευμα. Σ' όλες τις περιπτώσεις παρατηρείται πολύ ικανοποιητική προσέγγιση μεταξύ της αριθμητικής και της αναλυτικής λύσης [εξ.(11)]. Επίσης παρατηρείται ότι η παροχή καταλήγει να πάρει μια σταθερή τιμή που αντιστοιχεί σε μια υδραυλική κλίση ίση με την κλίση του αδιαπεράτου υποστρώματος.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τον έλεγχο της χρησιμοποιηθείσης γραμμικοποίησης ελήφθησαν και αριθμητικές λύσεις της μη γραμμικής εξίσωσης Boussinesq [εξ.(1)], οι οποίες πρακτικά ταυτίζονται με αυτές της γραμμικοποιημένης εξίσωσης [εξ.(5)].

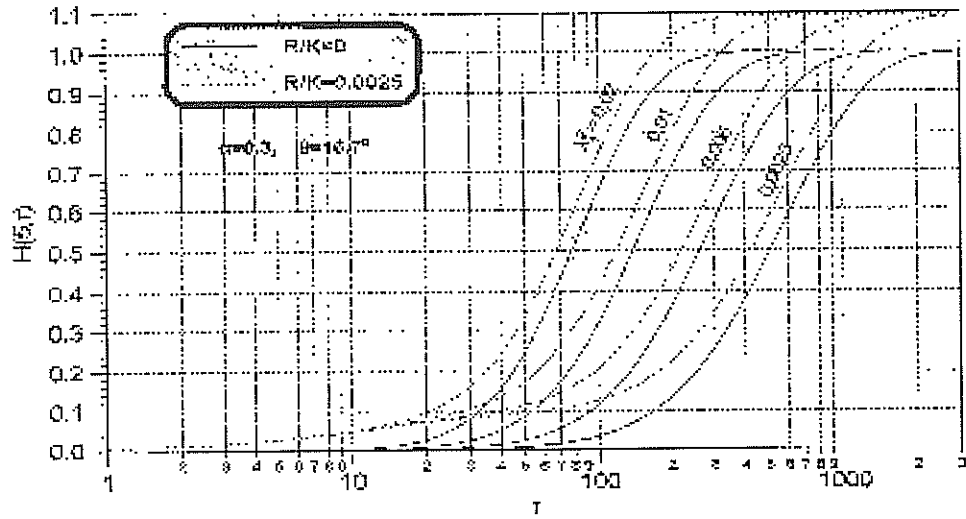
Στο Σχ. 4 παρουσιάζονται δύο αδιάστατα διαγράμματα που δείχνουν την επίδραση της παροχής επαναπλήρωσης από την επιφάνεια του εδάφους R, τόσο στο ύψος της υπόγειας στάθμης, όσο και στην παροχή διήθησης. Παρατηρούμε ότι το ύψος της υπόγειας στάθμης σταθεροποιείται σε μεγαλύτερες τιμές και η παροχή διήθησης σε μικρότερες από τις τιμές που αντιστοιχούν σε μηδενική παροχή επαναπλήρωσης.



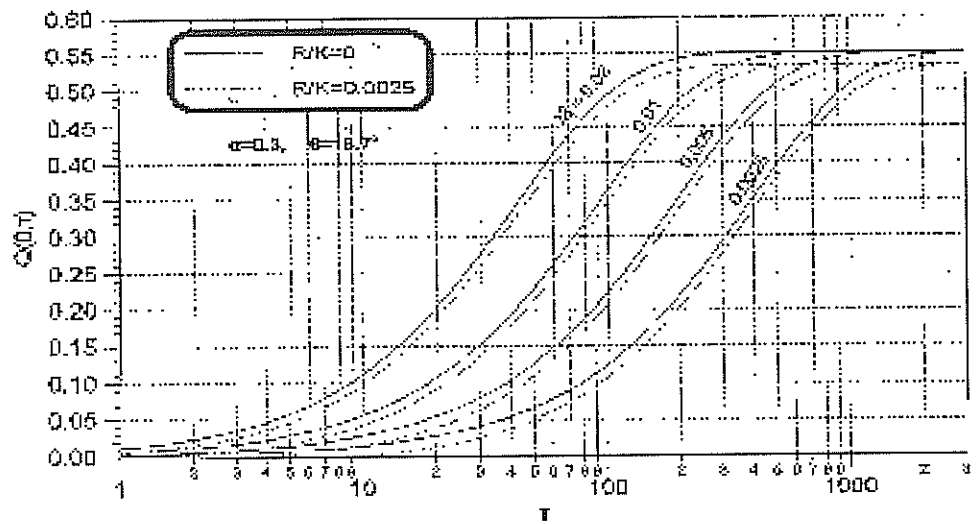
ΣΧΗΜΑ 2. Σύγκριση αναλυτικής και αριθμητικής λύσης για το ύψος της υπόγειας στάθμης στη θέση $\xi=5$, σε κεκλιμένο υδροφορέα (α) μικρής ($\theta=5.7^\circ$) και (β) μεγαλύτερης κλίσης ($\theta=16.7^\circ$).



ΣΧΗΜΑ 3. Σύγκριση αναλυτικής και αριθμητικής λύσης για την αδιάστατη παροχή διήθησης προς νεκλιμένο υδροφόρο (α) μικρής ($\theta=5.7^\circ$) και (β) μεγαλύτερης κλίσης ($\theta=16.7^\circ$).



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 4. Σύγκριση αναλυτικών λύσεων (α) για το ύψος της υπόγειας στάθμης και (β) για την παροχή διήθησης με ή χωρίς επαναπλήρωση από την επιφάνεια του εδάφους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πρόβλημα της διήθησης του νερού από την κοίτη ενός υδατορεύματος προς ένα κεκλιμένο ελεύθερο υδροφορέα ημιάπειρης έκτασης, περιγράφεται από μια επεκταμένη μορφή της εξίσωσης Boussinesq για κεκλιμένους υδροφορείς. Η εξίσωση αυτή γραμμικοποιείται με ένα πολύ επιτυχή, όπως αποδεικνύεται τρόπο, αφού οι αριθμητικές λύσεις, τόσο της μη γραμμικής, όσο και της γραμμικοποιημένης εξίσωσης πρακτικά ταυτίζονται. Από τα αδιάστατα διαγράμματα που κατασκευάζονται με βάση την αναλυτική λύση, ιδιαίτερα χρήσιμα είναι αυτά της παροχής διήθησης, γιατί με τη βοήθεια αυτών μπορεί να υπολογισθεί εύκολα ο εμπλουτισμός του υδροφορέα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chapman, T. G., "Modeling groundwater flow over sloping beds", Water Resources Research, 1980, 16(6), 1114-1118.
2. Chauhan, H. S., Schwab, G. O., and Hamdy, M. Y., "Analytical and computer solutions of transient water tables for drainage of sloping land", Water Resources Research, 1968, 4(3), 573-579.
3. Dumm, L., "Drain-spacing formula", Agricultural Engineering 1954, 35(10), 726-730.
4. Maasland, M., "Water table fluctuation induced by intermittent recharge", Journal of Geophysical Research, 1959, 64, 549-559.
5. Marino, M., "Water-table fluctuation in semipervious stream-unconfined aquifer systems", Journal of Hydrology, 1973, 19, 43-52.
6. Moody, W. T., "Nonlinear differential equation of drain spacing", Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 1966, 92(2), 1-9.
7. Polubarinova-Kochina, P.Ya., "Theory of ground water movement", Translated from Russian by J.M.R. De Wiest, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1962.
8. Sewa Ram, and Chauhan, H. S., "Drainage of sloping lands with constant replenishment", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 1987, 113(2), 212-223.
9. Τελόγλου, Η., Τερζίδης, Γ. και Ζήσης, Θ., "Ασταθής διήθηση νερού από τάφρο σε κεκλιμένο υδροφορέα", Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου, Εγγειοβελτιωτικά Έργα - Διαχείριση Υδατικών Πόρων - Εκμηχάνιση Γεωργίας, Τομ. Β, 774-787, 24-27 Απριλίου 1996, Λάρισα.
10. Terzidis, G., "Falling water table between tile drains". Discussion, Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, Proc. 1968, 94(1), 159-165.
11. Terzidis, G., "Computational schemes for the Boussinesq equation", Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, Proc. 1968, 94(4), 381-389.
12. Yussuff, S. M. H., Chauhan, H. S., Kumar, M., and Srivastava, V. K., "Transient canal seepage to sloping aquifer", Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 1994, 120(1), 97-109.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΤΟΥ ΚΑΒΟΥΡΟΛΑΚΚΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Παπαμιχαήλ Μ. Δημήτριος¹, Γεωργίου Ε. Πανταζής¹,
Παρισόπουλος Γεώργιος² και Καραμούζης Διαμαντής¹

¹Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,

Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

²ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε./ΙΓΕΜΚ, Δημοκρατίας 61, Αγ. Ανάργυροι Αττικής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή, η διαστασιολόγηση του υπό σχεδιασμό ταμιευτήρα του Καβουρόλακκα Χαλκιδικής έγινε με την εφαρμογή της μεθόδου Rippl και τη βοήθεια των ιστορικών όγκων εισροής στον ταμιευτήρα. Η μέθοδος Rippl είναι μια από τις πιο γνωστές μεθόδους διαστασιολόγησης των ταμιευτήρων και βασίζεται στην ανάλυση των αποκλίσεων των ιστορικών όγκων εισροής στον ταμιευτήρα. Λόγω έλλειψης μετρήσεων παροχών, εφαρμόστηκε ένα απλό υδρολογικό μοντέλο, σε μηνιαία βάση, για τον υπολογισμό των μηνιαίων όγκων απορροής της λεκάνης του Καβουρόλακκα, για την περίοδο των υδρολογικών ετών 1960-61 μέχρι 1994-95. Στη συνέχεια, έγινε αναζήτηση της κατανομής που ακολουθούν οι ετήσιοι όγκοι απορροής, με τη βοήθεια της οποίας βρίσκεται ο ετήσιος όγκος απορροής που είναι εξασφαλισμένος, με μια συγκεκριμένη βεβαιότητα, κάθε χρόνο. Η μέθοδος αυτή είναι απλή στη χρήση της αλλά παρουσιάζει μειονεκτήματα, τα οποία δημιουργούν προβλήματα, ειδικά σε ότι αφορά τη διακινδύνευση σχεδιασμού. Στην εργασία αυτή, τα παραπάνω μειονεκτήματα ξεπεράστηκαν με μια προσεγγιστική μέθοδο προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα με βάση τις ετήσιες εκτιμημένες εισροές των ετών 1960-61 μέχρι 1994-95.

RESERVOIR SIZING OF THE KABOYROLAKAS STREAM

Papamichail Dimitrios, Georgiou Pantazis,
Parisopoulos George and Karamouzis Diamantis

ABSTRACT

In this paper, for reservoir sizing the Rippl method with the historical inflows was applied to the under design reservoir on the Kabourolakas stream in Chalkidiki. The Rippl method is the most widely used method for reservoir sizing and based on the range analysis of the historical inflow volumes in the reservoir. Due to the lack of streamflow measurements a simple monthly hydrologic model was applied to estimate the continuous monthly runoff of the Kabourolakas stream watershed, for the hydrologic years 1960-61 until 1994-95. A probability distribution function of the annual volumes was examined. This function relates each annual volume to the probability of meeting each year. The Rippl method is simple but it has certain disadvantages and creates several engineering problems especially as regards the risk assessment of the reservoir design. In this paper, to solve these problems an approaching simulation method of the reservoir operation by using the estimated annual inflows for the hydrologic years 1960-61 until 1994-95, was applied.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τη σκοπιά του υδρολογικού σχεδιασμού ταμειυτήρα, εκείνο που έχει μεγάλη σημασία είναι η αξιόπιστη διαστασιολόγηση, ο καθορισμός δηλαδή των διαστάσεων του όγκου αποθήκευσης του νερού, έτσι ώστε αφενός να είναι συμβατός με τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής χρονοσειράς εισροών στον ταμειυτήρα και αφετέρου να παρέχει μια αποδεκτή διακινδύνευση, πιθανότητα δηλαδή ότι ο όγκος θα επαρκεί για την ικανοποίηση μιας συγκεκριμένης ζήτησης.

Για τον υπολογισμό της χωρητικότητας του ταμειυτήρα απαιτείται η γνώση της ιστορικής σειράς των εισροών στον ταμειυτήρα. Στην εργασία αυτή, η εκτίμηση των εισροών στον υπό σχεδιασμό ταμειυτήρα του Καβουρδολακκα Χαλκιδικής, σε μηνιαία βάση, λόγω έλλειψης μετρήσεων παροχών, γίνεται με τη βοήθεια ενός απλού μαθηματικού ομοιώματος, που αποτελεί παραλλαγή του ομοιώματος των Thornthwaite and Mather (Thornthwaite and Mather [11]) και βασίζεται στο υδατικό ισοζύγιο. Στη συνέχεια, η χωρητικότητα του ταμειυτήρα υπολογίζεται με την εφαρμογή της μεθόδου Rippl (Rippl [10], McMahon and Mein [5], Afshar et al. [1], Μιμίζου [6], Τσακίρης [12], Γεωργίου [3], Παπαμιχαήλ και Γεωργίου [8]) και τη βοήθεια της ιστορικής σειράς των εισροών και της καμπύλης ζήτησης. Η μέθοδος αυτή είναι απλή στη χρήση της αλλά παρουσιάζει μειονεκτήματα, τα οποία δημιουργούν προβλήματα, ειδικά σε ότι αφορά τη διακινδύνευση σχεδιασμού, δηλαδή την πιθανότητα μη ικανοποίησης της ζήτησης κατά τη διάρκεια οικονομικής ζωής του έργου. Τα παραπάνω μειονεκτήματα ξεπερνιούνται είτε με τη χρήση συνθετικών σειρών εισροών, που προκύπτουν από ένα στοχαστικό ομοίωμα SARIMA του οποίου οι παράμετροι υπολογίζονται με τη βοήθεια της ιστορικής σειράς (Μιμίζου [6], Papamichail and Georgiou [9], Γεωργίου [3]), είτε με τη χρήση των πιθανοτήτων μετάβασης που βασίζεται στη θεωρία αποθήκευσης του Moran (Γεωργίου [3]), είτε με μια προσεγγιστική μέθοδο προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμειυτήρα με βάση τις ετήσιες εκτιμημένες εισροές (Καραμούζης κ. άλ.[4]), η οποία και εφαρμόζεται στην εργασία αυτή.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΚΑΙ ΕΤΗΣΙΩΝ ΟΓΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Λόγω παντελούς έλλειψης μετρήσεων παροχών, η εκτίμηση των απορροών έγινε σε μηνιαία βάση, με την εφαρμογή ενός απλού μαθηματικού ομοιώματος που αποτελεί παραλλαγή του ομοιώματος των Thornthwaite and Mather (Thornthwaite and Mather [11]), βασίζεται σε εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου, σε μηνιαία βάση και έχει ως εξής:

- Βροχόπτωση κατά το μήνα i : HO_i
- Θερμοκρασία κατά το μήνα i : T_i
- Δυναμική εξατμισοδιαπνοή κατά το μήνα i : ETP_i
- Διαθέσιμο νερό κατά το μήνα i : DP_i
- $DP_i = HO_i - ETP_i$
- Αποθήκευση κατά το μήνα i : Si
- $Si = 0.0$ όταν $SN_i < 0.0$
- $Si = SN_i$ όταν $0.0 < SN_i < S_{max}$
- $Si = S_{max}$ όταν $SN_i > S_{max}$
- όπου S_{max} = μέγιστη αποθήκευση και
- $SN_i = Si-1 + DP_i$
- Όγκος απορροής κατά το μήνα i : VSi

- $VS_i = 0.0$ όταν $SN_i < 0.0$
 $VS_i = SN_i - S_i$ όταν $SN_i > 0.0$
 - Βαθεία διήθηση κατά το μήνα i : Gi
 $Gi = b VS_i$
 όπου b = συντελεστής (%) βαθείας διήθησης
 - Διαθέσιμος όγκος για απορροή κατά το μήνα i : Vi
 $Vi = (1-b) VS_i$
 - Άμεση απορροή κατά το μήνα i : $R1_i$
 $R1_i = a Vi$
 όπου a = συντελεστής (%) υστέρησης της απορροής
 - Έμμεση απορροή κατά το μήνα i : $R2_i$
 $R2_i = (1-a) DVO_i$
 όπου DVO_i = αρχική υγρασιακή κατάσταση εδάφους κατά το μήνα i
 - Τελική υγρασιακή κατάσταση εδάφους κατά το μήνα i : $DVFi$
 $DVFi = DVO_i - R2_i + (1-a) Vi$
 - Αρχική υγρασιακή κατάσταση εδάφους κατά το μήνα $i + 1$: DVO_{i+1}
 $DVO_{i+1} = DVFi$
 - Ολική απορροή κατά το μήνα i : Ri
 $Ri = R1_i + R2_i$

Ο υπολογισμός της μηνιαίας δυναμικής εξατμισοδιαπνοής του εδάφους ETP_i γίνεται με τη μέθοδο του Thornthwaite.

3. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ RIPPL ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΕΙΣΡΟΩΝ

Μια από τις πιο γνωστές και παλιότερες μεθόδους διαστασιολόγησης των ταμιευτήρων είναι η μέθοδος Rippl (Rippl [10], McMahon and Mein [5], Afshar et al. [1], Μιμίκου [6], Τσακίρης [12], Γεωργίου [3], Παπαμχαήλ και Γεωργίου [8]) που βασίζεται στην ανάλυση των αποκλίσεων των ιστορικών όγκων εισροής στον ταμιευτήρα.

Η εφαρμογή της μεθόδου Rippl προϋποθέτει το σχεδιασμό των αθροιστικών καμπυλών εισροών και ζήτησης. Αν Q_i είναι η χρονοσειρά των μηνιαίων παροχών εισροής (m³/sec) στον ταμιευτήρα, η αθροιστική καμπύλη εισροών $C(t)$ δίνεται από τη σχέση:

$$C(t) = \sum_{i=1}^t Q_i \Delta t, \quad t = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

όπου i δηλώνει κάποιο μήνα, Δt είναι το διάστημα του χρόνου (ένας μήνας) και N το σύνολο των μηνιαίων τιμών της χρονοσειράς ($N = 12n$), όπου n είναι τα έτη που καλύπτουν τα δεδομένα εισροών.

Η μέθοδος Rippl μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους ταμιευτήρες ανεξάρτητα από το βαθμό εκμετάλλευσης α . Ο βαθμός εκμετάλλευσης (α) είναι ο λόγος του συνολικού όγκου ζήτησης (VJ), που μπορεί να προμηθεύσει ο ταμιευτήρας για ένα χρονικό διάστημα T ετών, προς το συνολικό όγκο εισροής στον ταμιευτήρα (V_e), για το ίδιο χρονικό διάστημα των T ετών και δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = V_s / V_\xi = \int_0^T Q_s dt / \int_0^T \bar{I} dt \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (2)$$

Ο μέγιστος δυνατός βαθμός εκμετάλλευσης είναι $\alpha = 1$ (100%), που σημαίνει ότι όλο το νερό που μεταφέρεται από το ποτάμι, αποθηκεύεται, ρυθμίζεται και χρησιμοποιείται για τις σκοπιμότητες του ταμιευτήρα. Για την περίπτωση του βαθμού εκμετάλλευσης $\alpha=1$ (100%), που σημαίνει ότι η ζήτηση είναι ίση με τη μέση εισροή, η χωρητικότητα είναι R1.s και δίνεται από τη σχέση :

$$R_{1.s} = \max_{0 \leq u \leq s} \Delta(u) + \min_{0 \leq u \leq s} \Delta(u) \quad (3)$$

όπου: $\max \Delta(u)$ = μέγιστη περίσσεια στα s χρόνια μετά από το χρόνο t και $\min \Delta(u)$ = μέγιστο έλλειμμα για το ίδιο διάστημα.

Τόσο η μέγιστη περίσσεια, όσο και το μέγιστο έλλειμμα, δίνονται από τις σχέσεις:

$$\max_{0 \leq u \leq s} \Delta(u) = \max_{0 \leq u \leq s} \left\{ C(t+u) - C(t) - \frac{u}{s} [C(t+s) - C(t)] \right\} \quad (4)$$

$$\min_{0 \leq u \leq s} \Delta(u) = \min_{0 \leq u \leq s} \left\{ C(t+u) - C(t) - \frac{u}{s} [C(t+s) - C(t)] \right\} \quad (5)$$

όπου: το $C(t)$ υπολογίζεται από τη σχέση (1).

Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα με βάση τη μέθοδο αυτή είναι ίση με R1.s. Αν ο ταμιευτήρας που σχεδιάζεται με τη χωρητικότητα αυτή αρχίσει τη λειτουργία του γεμάτος, τότε δεν πρέπει να αδειάσει ποτέ, δηλαδή θεωρητικά δεν θα υπάρχει κανένα έλλειμμα στην ικανοποίηση της ζήτησης, αν και εφόσον η ίδια χρονοσειρά εισροών με αυτή της μελέτης, ξανασυμβεί και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ταμιευτήρα (Chow [2]).

Στην περίπτωση του βαθμού εκμετάλλευσης $\alpha < 1$ η χωρητικότητα εκτιμάται με το σχεδιασμό της αθροιστικής καμπύλης των εισροών και της καμπύλης ζήτησης και την εύρεση των περιόδων ξηρασίας και των υγρών περιόδων. Ενώ η μέθοδος αυτή είναι πολύ απλή στη χρήση της, παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα τα οποία αναφέρονται στο ότι δε δίνει μαζί με τη χωρητικότητα και τη διακινδύνευση σχεδιασμού, δηλαδή την πιθανότητα μη ικανοποίησης της ζήτησης και επιπλέον δε γίνεται κανένας έλεγχος της λειτουργίας του ταμιευτήρα για την εξασφάλιση των αναγκών της ζήτησης.

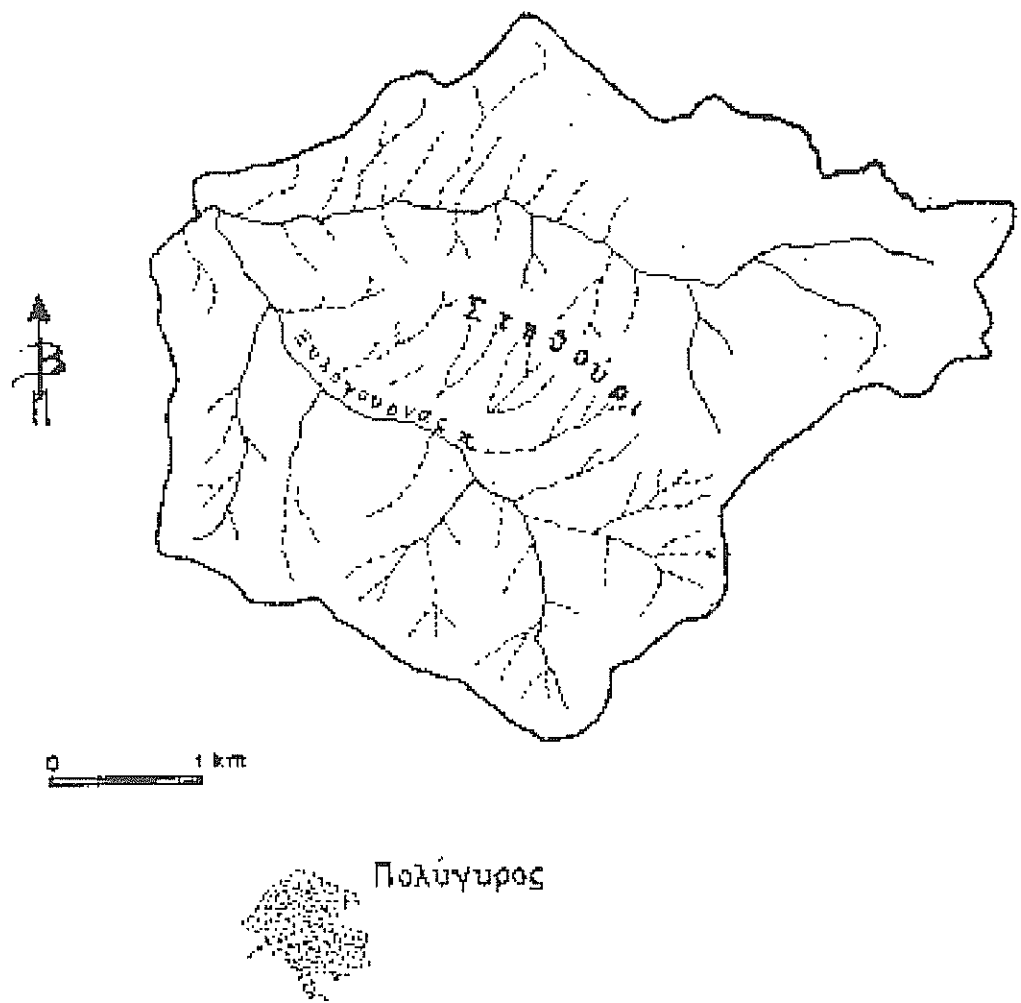
Τα παραπάνω μειονεκτήματα ξεπερνιούνται με μια προσεγγιστική μέθοδο προσδιορισμού της βεβαιότητας κάλυψης των αναγκών της περιοχής με τον έλεγχο της λειτουργίας του έργου με βάση τις προσομοιωμένες απορροές (Καραμουύζης κ. άλ. [4]).

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η εφαρμογή αφορά έναν υπό σχεδιασμό ταμιευτήρα, που τροφοδοτείται από το χείμαρρο Καβουρόλακκα Χαλκιδικής. Στην περιοχή αυτή δεν υπάρχει σήμερα κάποιο φράγμα και στην εργασία αυτή γίνεται υδρολογική διαστασιολόγηση, με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας κατα-

σκευής του, για την αποθήκευση νερού, με κύρια σκοπιμότητα την ικανοποίηση των υδρευτικών αναγκών. Η υδρολογική λεκάνη του Καβουρόλακκα είναι ενταγμένη στις ερευνητικές δραστηριότητες του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων, του Τμήματος Γεωπονίας, του Α.Π.Θ., στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος με τίτλο "Διαχείριση υδατικών πόρων υδρολογικής λεκάνης Οlynθίου Χαλκιδικής", που έχει επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή κ. Διαμαντή Καραμούζη και χρηματοδοτείται από το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας.

Η υδρολογική λεκάνη του Καβουρόλακκα, που φαίνεται στο Σχ. 1, βρίσκεται βόρεια του Πολυγύρου, έχει έκταση 15,97 km², μέση κλίση 30,73 %, περίμετρο 24,1 km, μέσο υψόμετρο 700,142 m, μέγιστο υψόμετρο 948,643 m, ελάχιστο υψόμετρο 503,694 m και μέγιστο μήκος διαδρομής από την έξοδό της 6,36 km. Ο υδροκρίτης τέμνει το ρέμα στην έξοδο του στο υψόμετρο των 503,694m, όπου είναι και η μελλοντική θέση κατασκευής του φράγματος.



ΣΧΗΜΑ 1. Υδρολογική λεκάνη του Καβουρόλακκα

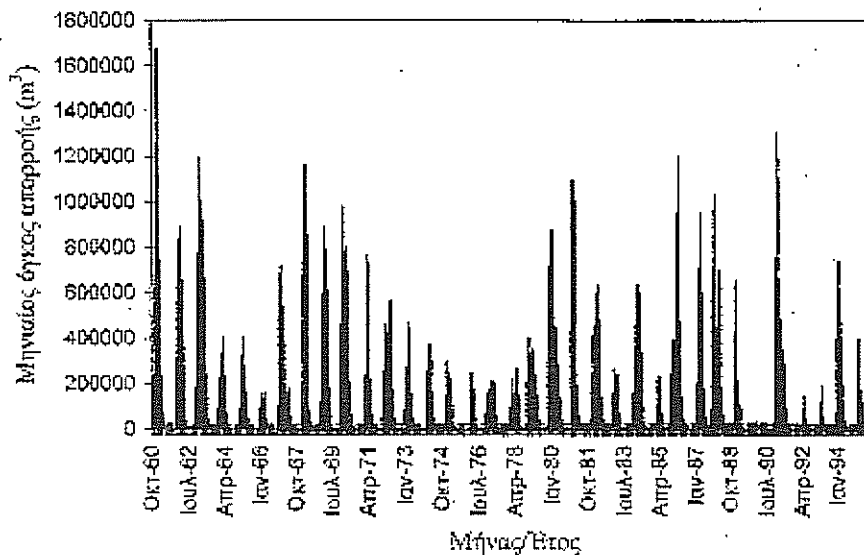
Μέσα στην υδρολογική λεκάνη τίο Καβουρόλακκα δεν λειτούργησε ούτε λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός. Η κλιματολογία και η υδρολογία της λεκάνης του Καβουρόλακκα διερευνήθηκε με τη βοήθεια μετρήσεων κλιματικών παραμέτρων των σταθμών Αρναίας (Υψ. 585m, Γ.Π. 40ο39', Γ.Μ. 23ο40', Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών ΕΘΙΑΓΕ), Πολυγύρου (Υψ. 545m, Γ.Π. 40ο23', Γ.Μ. 23ο26', ΕΜΥ), Αγίου Προδρόμου (Υψ. 450m, Γ.Π. 40ο28', Γ.Μ. 23ο23', 1η ΔΕΚΕ Θεσσαλονίκης) και Αγίου Μάμα (Υψ. 20m, Γ.Π. 40ο15', Γ.Μ. 23ο20', Υπουργείο Γεωργίας, Ε-ΘΙΑΓΕ) (Καραμούζης κ. άλ.[4]).

Λόγω παντελούς έλλειψης μετρήσεων παροχών, η εκτίμηση των απορροών και κατά συνέπεια και της χρονικής σειράς των εισροών στον ταμιευτήρα έγινε σε μηνιαία βάση, για την περίοδο των υδρολογικών ετών 1960-61 μέχρι 1994-95, με την εφαρμογή του μαθηματικού ομοιώματος που περιγράφεται στην Παράγραφο 2 και τη βοήθεια της μέσης βροχόπτωσης, των λοιπών κλιματολογικών στοιχείων, της βλάστησης και της γεωμορφολογίας της λεκάνης (Καραμούζης κ. άλ.[4]).

Σχετικά με τις υπόλοιπες παραμέτρους που υπεισέρχονται στην εκτίμηση των απορροών με το παραπάνω μοντέλο, έγιναν δεκτά τα εξής:

- α. Η μέγιστη εδαφική υγρασία S_{max} , για τους γεωλογικούς σχηματισμούς που επεμβαίνουν στη σύνθεση της λεκάνης απορροής έχει ληφθεί ίση με 70 mm.
- β. Η βαθειά διήθηση b , σε ποσοστό του μηνιαίου πλεονάσματος απορροής, με βάση επίσης τη γεωλογική δομή της λεκάνης, που χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή διαπερατότητα, έχει ληφθεί ίση με 10%.
- γ. Ο συντελεστής υστέρησης της απορροής a , με βάση τη βλάστηση, τη γεωλογική δομή και την κλίση της λεκάνης, έχει ληφθεί ίσος με 30%.

Έχοντας τις μηνιαίες απορροές που υπολογίζονται με τον παραπάνω τρόπο, δημιουργείται η χρονική σειρά των μηνιαίων όγκων απορροής, του Καβουρόλακκα, για τα υδρολογικά έτη από 1960-61 μέχρι 1994-95, που φαίνεται στο Σχ. 2.



ΣΧΗΜΑ 2. Μηνιαίοι όγκοι απορροής, των υδρολογικών ετών 1960-61 μέχρι 1994-95, της λεκάνης του Καβουρόλακκα

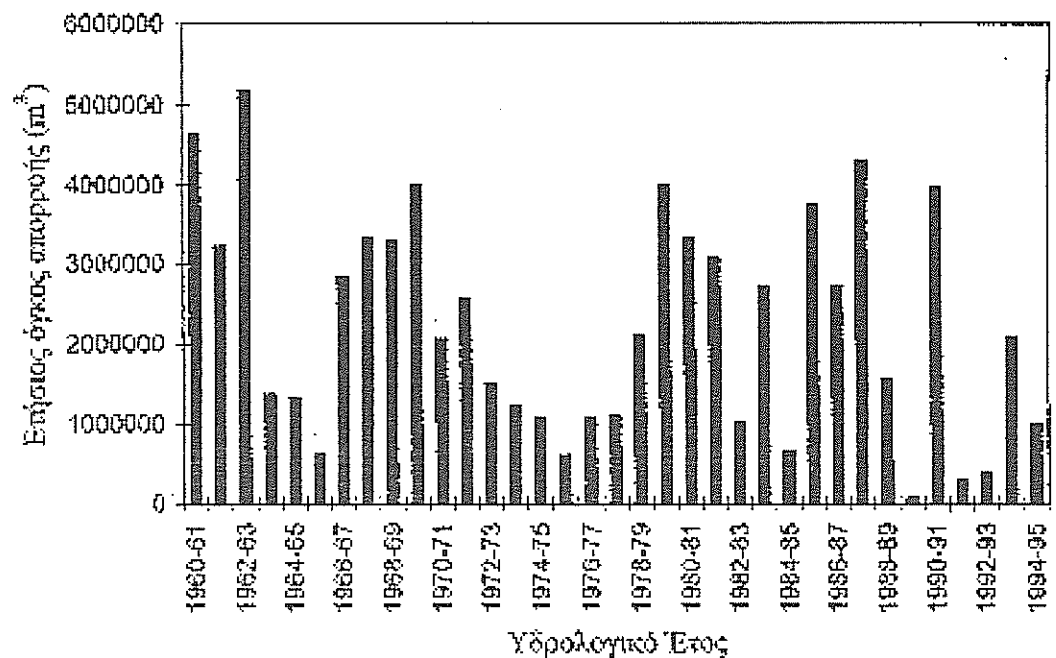
Για τον υπολογισμό της ζήτησης από τον υπό σχεδιασμό ταμιευτήρα, χρησιμοποιούνται οι υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων, που αναφέρονται στην πληθυσμιακή πρόβλεψη του 2021, των οικισμών Πολυγύρου, Ολύνθου, Καλυβίων, Αγίου Μάμα, Γερακινής και των τουριστών της περιοχής. Ο ετήσιος όγκος νερού που απαιτείται ανέρχεται σε $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Καραμιούζης κ. άλ. [4]).

Οι ετήσιοι όγκοι απορροής της λεκάνης του Καβουρόλακκα, για τα υδρολογικά έτη 1960-61 μέχρι 1994-95, φαίνονται στο Σχήμα 3. Ο μέσος ετήσιος όγκος απορροής των παραπάνω υδρολογικών ετών είναι ίσος με 2.222.390 m^3 , ενώ ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής είναι ίσος με 0,25.

Στον Πίνακα 1 δίνονται οι μέσοι μηνιαίοι συντελεστές απορροής των υδρολογικών ετών 1960-61 μέχρι 1994-95, της λεκάνης του Καβουρόλακκα, οι οποίοι υπολογίστηκαν με τη βοήθεια των μέσων μηνιαίων όγκων απορροής των παραπάνω ετών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μέσοι μηνιαίοι συντελεστές απορροής, των υδρολογικών ετών 1960-61 μέχρι 1994-95, της λεκάνης του Καβουρόλακκα.

Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Έτος
0.004	0.057	0.248	0.584	0.654	0.544	0.534	0.192	0.085	0.027	0.013	0.004	0.25



ΣΧΗΜΑ 3. Ετήσιοι όγκοι απορροής της λεκάνης του Καβουρόλακκα

Για την εξασφάλιση των αποθηκευτικών όγκων νερού περισσότερο ενδιαφέρον από το μέσο ετήσιο όγκο απορροής παρουσιάζει ο ετήσιος όγκος απορροής, που είναι εξασφαλισμένος με μια συγκεκριμένη βεβαιότητα, κάθε χρόνο. Δεχόμενοι ότι οι ετήσιοι όγκοι απορροής της λεκάνης του Καβουρόλακκα αποτελούν τυχαία μεταβλητή, γίνεται έλεγχος με τη βοήθεια του τεστ Kolmogorov-Smirnov από το οποίο προκύπτει $D=0,14 < D(n, \alpha) = D(35, 0,05)=0,224$ και του γραφήματος κανονικής πιθανότητας (Normal Probability Plot) (Montgomery and Runger [7]), που φαίνεται στο Σχήμα 4α. Από τους παραπάνω ελέγχους προκύπτει ότι οι ετήσιοι όγκοι απορροής των υδρολογικών ετών 1960-61 μέχρι 1994-95, της λεκάνης του Καβουρόλακκα, ακολουθούν κανονική κατανομή. Το ιστόγραμμα συχνοτήτων τους φαίνεται στο Σχήμα 4β.

Η ανηγμένη μεταβλητή της κανονικής κατανομής είναι $z = (v - \mu) / \sigma$, όπου v είναι ο ετήσιος όγκος απορροής για συγκεκριμένη βεβαιότητα, μ είναι ο μέσος ετήσιος όγκος απορροής της λεκάνης του Καβουρόλακκα, για τα υδρολογικά έτη 1960-61 μέχρι 1994-

95 και είναι ίσος με 2.222.390 m³ και σ η τυπική απόκλιση και είναι ίση με 1.398.810 m³. Με τη βοήθεια της ανηγμένης μεταβλητής της κανονικής κατανομής z και χρησιμοποιώντας πινακωποιημένες τιμές της κατανομής της, προκύπτουν οι ετήσιοι όγκοι απορροής της λεκάνης του Καβουρόλακκα που είναι εξασφαλισμένοι με συγκεκριμένη βεβαιότητα, κάθε χρόνο και δίνονται στον Πίνακα 2. Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι οι ετήσιες υδρευτικές ανάγκες των 1.500.000 m³ είναι εξασφαλισμένες με βεβαιότητα περίπου 70%, κάθε χρόνο.

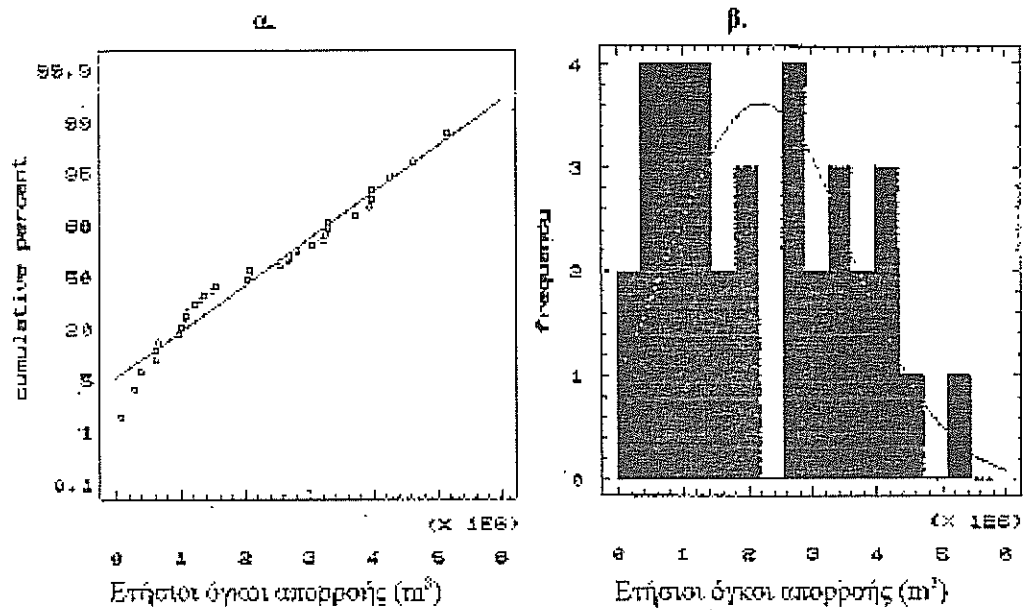
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ετήσιοι όγκοι απορροής της λεκάνης του Καβουρόλακκα, για διάφορες βεβαιότητες.

Βεβαιότητα	Ετήσιος όγκος απορροής m ³	Βεβαιότητα	Ετήσιος όγκος απορροής m ³
90	429.739	40	2.576.780
80	1.045.120	30	2.955.930
70	1.488.850	20	3.399.660
60	1.868.000	10	4.015.040
50	2.222.390	1	5.476.510

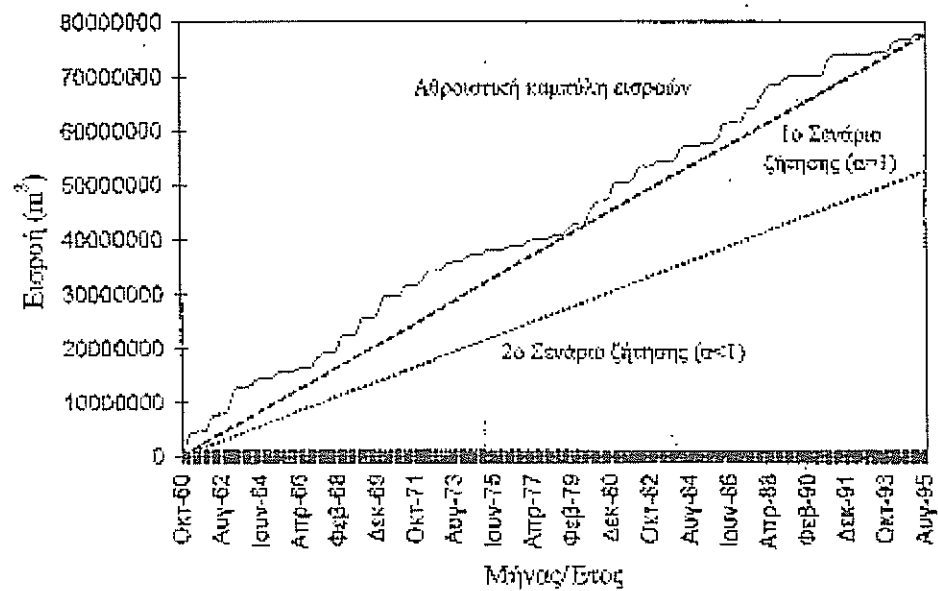
Ο υπολογισμός της χωρητικότητας του ταμιευτήρα του Καβουρόλακκα γίνεται με τη μέθοδο Rippl και τη βοήθεια της ιστορικής σειράς των μηνιαίων εισροών της περιόδου 1960-61 μέχρι 1994-95 και της χρονοσειράς της ζήτησης. Από τα δεδομένα των μηνιαίων εισροών σχεδιάζεται η αθροιστική καμπύλη εισροών στον ταμιευτήρα που φαίνεται στο Σχήμα 5.

Η μέθοδος Rippl εφαρμόζεται για δύο εναλλακτικά σενάρια ζήτησης που έχουν σχέση με το βαθμό εκμετάλλευσης α που δίνεται από τη σχέση (2).

(Α) Στο πρώτο σενάριο θεωρείται ότι ο βαθμός εκμετάλλευσης α είναι 100% (Σχήμα 5) δηλαδή ότι όλο το νερό που μεταφέρεται από τον Καβουρόλακκα αποθηκεύεται, ρυθμίζεται και χρησιμοποιείται από τον ταμιευτήρα. Η μέση εισροή στον ταμιευτήρα, είναι 185199,4 m³/μήνα, για τα χρόνια της ιστορικής σειράς. Θεωρώντας ότι η ζήτηση είναι όση η μέση εισροή 185199,4 m³/μήνα δηλαδή για ένα έτος 2.222 * 10⁶ m³ νερού, από τις σχέσεις (4) και (5) υπολογίζονται η μέγιστη περίσσεια και το μέγιστο έλλειμμα, με τη βοήθεια των οποίων από την εξίσωση (3) βρέζεται η χωρητικότητα του ταμιευτήρα ίση με 8,184 * 10⁶ m³ νερού.



ΣΧΗΜΑ 4. α. Γράφημα κανονικής πιθανότητας, β. Ιστογράμμο συγκριτών, των ετήσιων όγκων απορροής, των υδρολογικών ετών 1960-61 μέχρι 1994-95, της λεκάνης του Καβουρόλακκα.



ΣΧΗΜΑ 5. Διάγραμμα Rippl στον ταμιευτήρα του Καβουρόλακκα, με τη χρήση της ιστορικής σειράς των εισροών, των ετών 1960-61 μέχρι 1994-95, για τα δύο σενάρια ζήτησης

(B) Στο δεύτερο σενάριο θεωρείται ότι η επίσημη ζήτηση είναι ίση με $1,5 \cdot 10^6$ m³ νερού όση υπολογίστηκε για την ικανοποίηση των υδρευτικών αναγκών. Με βάση τη σχέση (2) από την οποία υπολογίζεται ο βαθμός εκμετάλλευσης, φαίνεται ότι για τη μέση εισροή των 185199,4 m³/μήνα στον ταμιευτήρα, αν η ζήτηση είναι $1,5 \cdot 10^6$ m³ νερού ανά έτος τότε ο βαθμός εκμετάλλευσης είναι $\alpha=0,675$ (67,5%) (Σχήμα 5).

Στην αθροιστική καμπύλη των εισροών εντολίζονται τα σημεία έναρξης των περιόδων ξηρασιών και των υγρών περιόδων και υπολογίζεται η μέγιστη κατακόρυφη απόσταση κάθε περιόδου και η μέγιστη αυτών αντιπροσωπεύει την χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Σύμφωνα με τα παραπάνω για την περίπτωση του ταμιευτήρα του Καβουρόλακκα βρίσκεται ότι η χωρητικότητά του είναι $2,9 \cdot 10^6$ m³ νερού.

Το μειονέκτημα της μεθόδου Rippl να μην προβαίνει σε έλεγχο της λειτουργίας του ταμιευτήρα, για την εξασφάλιση των αναγκών ζήτησης, ξεπερνιέται με την υιοθέτηση χωρητικότητας ίσης με αυτή που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Rippl (εφόσον βέβαια αντιστοιχεί σε ύψος φράγματος που ενδείκνυται για την περιοχή μας) και την εφαρμογή μίας προσεγγιστικής μεθόδου προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα.

Οι ανάγκες της περιοχής που προτείνεται να καλυφθούν από τον υπό σχεδιασμό ταμιευτήρα ανέρχονται σε 1.500.000 m³. Η ποσότητα αυτή σύμφωνα με τον Πίνακα 2 διασφαλίζεται με βεβαιότητα περίπου 70%. Η παραπάνω πιθανότητα δεν κρίνεται ικανοποιητική γεγονός που οδηγεί στην αναγκαιότητα ο εξεταζόμενος ταμιευτήρας να έχει ωφέλιμο όγκο μεγαλύτερο του 1.500.000 m³. Οι απώλειες λόγω εξάτμισης από τον καθρέπτη της λίμνης θεωρούνται σταθερές και ίσες προς 65.000 m³/έτος. Ο νεκρός όγκος του ταμιευτήρα εκτιμάται σε 145.000 m³.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης χωρητικότητας του ταμιευτήρα έτσι ώστε να καλύπτεται με ικανοποιητική βεβαιότητα οι επίσημες ανάγκες έγιναν οι εξής παραδοχές:

α) Οι ανάγκες θεωρούνται ως πλήρως ικανοποιημένες όταν ο διαθέσιμος όγκος είναι μεγαλύτερος του 90% των ετήσιων αναγκών ήτοι μεγαλύτερος του :

$$0,9 \times 1.500.000 \text{ m}^3 = 1.350.000 \text{ m}^3.$$

β) Οι ανάγκες θεωρούνται σε σημαντικό βαθμό ικανοποιημένες όταν ο διαθέσιμος όγκος είναι μεγαλύτερος του 65% (και μικρότερος του 90%) των ετήσιων αναγκών ήτοι:

$$0,65 \times 1.500.000 = 975.000 \text{ m}^3.$$

Ο όγκος αυτός επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών των μονίμων κατοίκων. Η κατάσταση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως μερική αστοχία του ταμιευτήρα.

γ) Όταν ο διαθέσιμος όγκος σ' ένα έτος είναι μικρότερος του 65% των αναγκών μπορούμε να θεωρήσουμε ότι υπάρχει πλήρης αστοχία του ταμιευτήρα.

Για στάθμη λίμνης ταμιευτήρα 539 m από την καμπύλη στάθμης - όγκου ταμίευσης, ο όγκος ταμίευσης ανέρχεται σε 2.900.000 m³ (όγκος που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Rippl) και ο ωφέλιμος όγκος σε $(2.900.000 - 145.000) = 2.755.000$ m³ περίπου.

Για τον προσδιορισμό της βεβαιότητας κάλυψης των αναγκών της περιοχής γίνεται ο έλεγχος της λειτουργίας του έργου με βάση τους ετήσιους εκτιμημένους όγκους απορροής της περιόδου 1960-61 μέχρι 1994-95. Γίνεται η δυσμενής υπόθεση ότι οι απορροές κάθε έτους ολοκληρώνονται σε εποχή που έχει ζητηθεί το 25% της ετήσιας κατανάλωσης ήτοι 375.000 m³ και συνεπώς η μέγιστη δυνατή αποθήκευση για το επόμενο έτος είναι :

$$2.755.000 \text{ m}^3 - (1.500.000 \text{ m}^3 - 375.000 \text{ m}^3) - 65.000 \text{ m}^3 = 1.565.000 \text{ m}^3$$

Επίσης για λόγους ασφαλείας εξασφάλισης της ζήτησης όταν ο όγκος αποθήκευσης γίνεται μικρότερος ενός ορίου ασφαλείας που ορίζεται στη συγκεκριμένη περίπτωση στις 600.000 m³ εφαρμόζεται ένα σχέδιο οικονομίας που συνιστάται στη μείωση της κατανάλωσης στο 90% της μέγιστης ήτοι 1.350.000 m³ μείωση που καλύπτεται χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια από μέρους των καταναλωτών.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής προκύπτει ότι σε μια περίοδο 35 ετών το έργο παρουσιάζει: Για στάθμη λίμνης ταμιευτήρα 539 m με όγκο ταμίευσης 2.900.000 m³ και ωφέλιμο όγκο ταμιευτήρα 2.755.000 m³, τρία έτη μερικής αστοχίας (κάλυψη > 2/3 των αναγκών) και ένα έτος πλήρους αστοχίας (κάλυψη του 40% των αναγκών). Η λειτουργία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως ικανοποιητική.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η υδρολογική διαστασιολόγηση του ταμιευτήρα του Καβουρδολακκα με την εφαρμογή της μεθόδου του Rippl προϋποθέτει την ύπαρξη της ιστορικής σειράς των εισροών. Η απόκτηση της σειράς αυτής, σε μηνιαία βάση, έγινε με τη βοήθεια ενός απλού μαθηματικού ομοιώματος βροχής-απορροής που βασίζεται σε εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου. Παρά την τεκμηριωμένη όμως υδρολογική ανάλυση που έγινε πρέπει να τονισθεί ότι η απουσία έστω και περιορισμένου αριθμού πραγματικών μετρήσεων δημιουργεί ένα γενικό πρόβλημα αξιοπιστίας των λύσεων που εξετάζονται. Για το λόγο αυτό εφόσον η προτεινόμενη θέση και τα λοιπά χαρακτηριστικά του έργου θεωρηθούν ικανοποιητικά είναι απολύτως σκόπιμο να οργανωθεί ένα πρόγραμμα υδρομετρήσεων των απορροών του Καβουρδολακκα έτσι ώστε να ελεγχθεί η αξιοπιστία του υδρολογικού μοντέλου και των συντελεστών απορροής που εκτιμήθηκαν.
- Η μέθοδος Rippl μειονεκτεί στο ότι δε δίνει καμία πληροφορία σχετικά με την πιθανότητα μη ικανοποίησης της ζήτησης. Το μειονέκτημα αυτό ξεπερνιέται στην εργασία αυτή με την υιοθέτηση μιας χωρητικότητας που είναι αυτή που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Rippl (εφόσον βέβαια αντιστοιχεί σε ύψος φράγματος που ενδείκνυται για την περιοχή μας) και την εφαρμογή μίας προσεγγιστικής μεθόδου προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα. Η περίπτωση του 1ου σεναρίου δεν εξετάζεται επειδή αντιστοιχεί σε ύψος φράγματος που δεν ενδείκνυται για την περιοχή μας. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης λειτουργίας της περίπτωσης του 2ου σεναρίου προκύπτει ότι σε μια περίοδο 35 ετών το έργο παρουσιάζει τρία έτη μερικής αστοχίας κάλυψης αναγκών (1.350.000 m³ > κατανάλωση > 975.000 m³) και ένα έτος πλήρους αστοχίας κάλυψης αναγκών (κατανάλωση < 975.000 m³). Η λειτουργία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως ικανοποιητική. Αξίζει να σημειωθεί ότι η περίπτωση της αστοχίας προήλθε σαν αποτέλεσμα 2 ετών με ιδιαίτερα χαμηλές, κατά την προσομοίωση απορροές, γεγονός που έχει πιθανότητα εμφάνισης σημαντικά μικρότερη του 0,01 ή μια φορά στα 100 έτη.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Afshar, A., Marino, M.A. and Abrishamchi, A. Reservoir planning for irrigation district. Journal of Water Resources Planning and Management. 1992, Vol.117(1), 74-85.
2. Chow, V.T. Handbook of applied hydrology. Mc Graw-Hill New York, N.Y. USA., 1964.
3. Γεωργίου, Π.Ε. Διαστασιολόγηση ταμιευτήρων με τη μέθοδο Rippl σε συνθετικές σειρές εισροών και τη μέθοδο των πιθανοτήτων μετάβασης σε ιστορική σειρά. Διπλωματική μεταπτυχιακή διατριβή. Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 269 σελ., 1996.

4. Καραμούζης, Δ., Παρισόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ. και Βαφειάδης, Π. Χωροθέτηση και προοικονομική διερεύνηση φράγματος Καβουρόλακκα Νομού Χαλκιδικής. Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος "Διαχείριση υδατικών πόρων υδρολογικής λεκάνης Οlynθίου Χαλκιδικής", Θεσσαλονίκη, 1998.
5. McMahon, T.A. and Mein, R.G. River and reservoir yield. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 368 pp., 1986.
6. Μιμίζου, Μ. Τεχνολογία υδατικών πόρων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 564 σελ., 1994.
7. Montgomery D., and Runger G. Applied statistics and probability for engineers. John Wiley and Sons, Inc, 1000 pp., 1994.
8. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Γεωργίου Π.Ε. Διαστασιολόγηση ταμιευτήρων με τη μέθοδο Rippl και τη χρήση ιστορικής σειράς και συνθετικών σειρών εισροών. Παρουσιάστηκε στο, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο "Εγγειοβελτιωτικά Έργα - Διαχείριση Υδατικών Πόρων - Εκμηχάνιση Γεωργίας", Λάρισα, 24-27 Απριλίου 1996. Τόμος Β', σελ. 853-867.
9. Papamichail, D.M. and Georgiou, P.E. Application of multiplicative seasonal ARIMA models for reservoir operation. Παρουσιάστηκε στο, 3rd Balkan Conference on Operational Research, Thessaloniki, 16-19 October 1995. Proceedings, Vol. II, pp. 1434-1448.
10. Rippl, W. The capacity of storage reservoirs for water supply. Proc. Inst. of Civil Engin., 1883, Vol. 71, 270.
11. Thornthwaite, C. and Mather, J. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publication in climatology, 1957, Vol. 10, no 3 Centerton, N.J., Drexel inst.
12. Τσαζίρης, Γ. Υδατικοί πόροι : 1. Τεχνική υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 675 σελ., 1995.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Χρήσιος Δ. Τζιμόπουλος, Καθηγητής
Γεώργιος Κ. Αραμπατζής, Γεωπόνος, M.Sc.

Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υδραυλική αγωγιμότητα είναι μία από τις κυριότερες φυσικές παραμέτρους που συναντούνται στη μελέτη της κίνησης του νερού στο έδαφος. Στο παρόν άρθρο περιγράφεται, ο προσδιορισμός της σε ακόρεστο αμμώδες έδαφος με την προσαρμογή τριών διαφορετικών μοντέλων πρόβλεψης στις πειραματικές τιμές ενός εδαφικού δείγματος. Τα μοντέλα πρόβλεψης που διερευνώνται είναι των Millington and Quirk (1961), του Van Genuchten (1978) και των Τζιμόπουλου κ.α. (1992). Η χρήση αυτών των μοντέλων προϋποθέτει τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης στο εδαφικό δείγμα. Οι διάφορες μεταβλητές και παράμετροι προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο της Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ. με τη βοήθεια της συσκευής της γάμμα ακτινοβολίας, των τασμέτρων και των μετατροπών της πίεσης και μιας δοσιμετρικής αντλίας. Τέλος γίνεται η συγκριτική αξιολόγηση των παραπάνω μοντέλων.

COMPARATIVE EVALUATION OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY PREDICTION MODELS

Christos D. Tzimopoulos, Professor
George K. Arampatzis, Agriculturist, M.Sc.
Department of Rural and Surveying Engineering
Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki

ABSTRACT

Hydraulic conductivity is one of the most important physical parameter during water movement in porous media. The determination of hydraulic conductivity is examined by three different prediction models, Millington and Quirk (1961), Van Genuchten (1978) and Tzimopoulos et.al. (1992). The above models were compared with experimental points. A plexiglas column filled by sand was used for the determination of the characteristic curve $\Psi(\theta)$, as well as for the $K(\theta)$, with the aid of gamma ray, tensiometers - pressure transducers and a dosimetric pump.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λύση των προβλημάτων της κίνησης του νερού σε ακόρεστο έδαφος, παρουσιάζει πολλές δυσχέρειες, που οφείλονται στα ακόλουθα:

- Οι διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν το φυσικό πρόβλημα είναι μη γραμμικές και δεν επιδέχονται γενικά αναλυτικές λύσεις. Θα πρέπει επίσης να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των αριθμητικών λύσεων και στην εκλογή των διαστημάτων ολοκλήρωσης του χρόνου Δt και του μήκους Δz .

- Για την περίπτωση που υπεισέχεται το φαινόμενο της υστέρησης, το πρόβλημα καθίσταται ακόμη πιο πεπλεγμένο, διότι δεν ισχύουν μονοσήμαντες σχέσεις μεταξύ της πίεσης του εδαφικού νερού και της υγρασίας.
- Τέλος η ύπαρξη της αέριας φάσης, των θερμοκρασιακών μεταβολών, της συμπιεστότητας του αέρα κ.λ.π. εισάγουν πρόσθετες δυσχέρειες που αίρονται με την εισαγωγή απλοποιητικών παραδοχών.

Η μελέτη της κίνησης του νερού σε ακόρεστο έδαφος ξεκίνησε το 1907 από τον Buckingham (Swartzenaguber, 1969) που προσπάθησε να δώσει μια λεπτομερή ανάλυση της ακόρεστη ροής. Ο Richards το 1931 (Bear, 1972) επέκτεινε το νόμο του Darcy για την ακόρεστη ροή. Η συστηματική όμως εμπέδωση γνώσεων και η δημιουργία ιδιαίτερης επιστήμης στην κίνηση του νερού στο έδαφος ξεκίνησε από τον Childs, ο οποίος με το βιβλίο του "An Introduction to the Physical Basis of Soil Water Phenomena" (1969), έδωσε μια πλήρη περιγραφή των φυσικών φαινομένων. Παράλληλα με αναλυτικές και πειραματικές μεθόδους στον προσδιορισμό της κίνησης του νερού στο έδαφος ασχολήθηκαν και άλλοι επιστήμονες, όπως οι Bear et.al. (1968), Vachaud (1968), Philip (1969), Swartzenaguber (1969), Parlange (1971, 1, 2, 3), Hillel (1980) κ.α..

Η υδραυλική αγωγιμότητα είναι μια από τις κυριότερες μεταβλητές που συναντώνται στη μελέτη της κίνησης του νερού στο έδαφος και προσδιορίζεται είτε πειραματικά με άμεσες και έμμεσες μεθόδους, είτε αναλυτικά και αριθμητικά με την βοήθεια των μοντέλων πρόβλεψης.

Σχετικά με τα μοντέλα πρόβλεψης θα πρέπει να αναφερθούν οι Avezjanov (1950), Irmay (1954), Brooks και Corey (1964) κ.α., οι οποίοι ασχολήθηκαν και έδωσαν εμπειρικούς τύπους πρόβλεψης. Οι Childs and Collis - George (1950), Marshall (1958), Millington και Quirk (1961), Kunze et al. (1968) κ.α., ασχολήθηκαν με στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης. Τέλος ο Mualem το 1976 παρουσίασε έναν ολοκληρωματικό τύπο σαν μοντέλο πρόβλεψης. Με βάση τον τύπο του Mualem, ο Van Genuchten το 1978 παρουσίασε ένα αναλυτικό απλό μοντέλο πρόβλεψης, που ονομάζεται τύπος του Van Genuchten. Το 1992 ο Τζιμόπουλος κ.α. έδωσαν ένα νέο μοντέλο πρόβλεψης, χρησιμοποιώντας επίσης τον τύπο του Mualem και εισάγοντας στον τύπο αυτό σαν συναρτησιακή σχέση $\Psi(\theta)$ την εξίσωση του Brutsaert. Το ανωτέρω μοντέλο παρουσιάστηκε με βελτιωμένη μορφή από τους Tzimopoulos and Sakellariou - Makrantonaki το 1996.

Αντιζείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας με τη χρήση των μοντέλων πρόβλεψης των Millington και Quirk (1961) του Van Genuchten (1978) και των Τζιμόπουλου κ.α. (1992) και η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των μεθόδων αυτών και των πειραματικών τιμών.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Οι Millington and Quirk (1961) θεωρούν, ότι εξαιτίας της αλληλεπίδρασης μεταξύ των πόρων σε γειτονικές τομές, η ενεργός περιοχή η οποία συμβάλλει στην ροή, για πόρους με ακτίνες $0 < r < R$, είναι η εξής:

$$a(R) = \int_0^R da(r) = \theta^{4/3}(R) \quad (1)$$

σε αντίθεση με τους Childs and Collis - George που υποστηρίζουν ότι ισχύει $a(R) = \theta(R)$. Οι Millington and Quirk ακολουθώντας το ίδιο σκεπτικό με τους C.C.G., πρότειναν για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας σε κορεσμένο έδαφος την εξίσωση :

$$K_{sat} = M \sigma^2 \frac{\theta_{sat}^{4/3}}{m^2} \sum_{i=1}^m \frac{2(m-i)+1}{\Psi_i^2} \quad (2)$$

όπου K_{sat} = η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού [L/T], θ_{sat} = η υγρασία κορεσμού [L³/L³], Ψ_i = η μύζηση [L] και $M\sigma$ = σταθερά.

Για τον υπολογισμό της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας πρότειναν την εξίσωση :

$$K_{\alpha} = M \sigma^2 \frac{\theta_1^{4/3}}{m^2} \sum_{i=1}^m \frac{2(1-i)+1}{\Psi_i^2} \quad (3)$$

Από τις εξισώσεις (2) και (3) λαμβάνεται η ακόλουθη:

$$K_{\alpha} = \frac{K_{\alpha}}{K_{sat}} = \left(\frac{\theta_1}{\theta_{sat}} \right)^{4/3} \frac{\sum_{i=1}^m \frac{2(1-i)+1}{\Psi_i^2}}{\sum_{i=1}^m \frac{2(m-i)+1}{\Psi_i^2}} \quad (4)$$

Έτσι από την εξίσωση (4) υπολογίζεται η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα για κάποιες συγκεκριμένες τιμές υγρασίας (θ_i) και μύζησης (Ψ_i). Ακόμα οι Millington and Quirk χρησιμοποίησαν ίσα διαστήματα $\Delta\theta$, διαιρώντας μια περιοχή $\theta_r < \theta_i < \theta_{sat}$ της $\theta(\Psi)$, δηλαδή $\Delta\theta = \theta_{sat} / m$, όπου m είναι ακέραιος αριθμός.

Ο Mualem το 1976 παρουσίασε την ολοκληρωματική εξίσωση:

$$K_r(\Theta) = \frac{K}{K_{sat}} = \Theta^n \left[\int_0^{\Theta} \frac{d\Theta}{\Psi} / \int_0^1 \frac{d\Theta}{\Psi} \right]^2 \quad (n = 0.5) \quad (5)$$

όπου υπολογίζει την σχετική υδραυλική αγωγιμότητα K_r [L/T] σαν συνάρτηση της αδιάστατης υγρασίας $\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$. K = η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα [L/T], K_{sat} = η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού [L/T], θ_r = η υπολειπόμενη υγρασία [L³/L³] και θ_s = η υγρασία κορεσμού [L³/L³].

Με βάση τον τύπο του Mualem, ο van Genuchten το 1978 παρουσίασε ένα απλό αναλυτικό μοντέλο πρόβλεψης, που ονομάζεται τύπος του van Genuchten. Έτσι ο van Genuchten θεώρησε ότι ισχύει η ακόλουθη σχέση ανάμεσα στην αδιάστατη υγρασία (Θ) και στη μύζηση (Ψ):

$$\Theta = \frac{1}{[1 + (a \Psi)^n]^{1/m}} \quad (6)$$

όπου a , n και m σταθερές.

Η λύση της εξίσωσης (6) ως προς Ψ δίνει:

$$\Psi = \frac{1}{a} \left[\frac{1 - \Theta^{1/m}}{\Theta^{1/m}} \right]^{1/m} \quad (7)$$

Η αντικατάσταση της (7) στην (5) δίνει την σχετική υδραυλική αγωγιμότητα K_r σαν συνάρτηση της αδιάστατης υγρασίας Θ :

$$K_r(\Theta) = \Theta^{1/2} [1 - (1 - \Theta^{1/m})^m]^2 \text{ για } 0 \leq \Theta \leq 1 \text{ και } m = 1 - 1/n \quad (8)$$

Η εφαρμογή της εξίσωσης (8) απαιτεί τη μαθηματική περιγραφή της χαρακτηριστικής καμπύλης (εξ. 6 ή 7).

Οι Τζιμόπουλος κ.α. (1992) παρουσίασαν μια νέα εξίσωση πρόβλεψης της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους, η οποία έχει σαν αφετηρία τη χαρακτηριστική εξίσωση του Brutsaert (1966) και προκύπτει από την ολοκληρωματική εξίσωση του Mualem. Η εξίσωση που προκύπτει παρουσιάζεται με μορφή αναπτύγματος σειράς, ως προς την αδιάστατη εδαφική υγρασία (Θ), ενώ οι συντελεστές της σειράς είναι συναρτήσεις Γάμμα.

Ο Brutsaert (1966) τροποποιώντας την εξίσωση των Brooks και Corey (1964) για τη χαρακτηριστική καμπύλη του εδάφους, πρότεινε τη βελτιωμένη μορφή:

$$\Theta = \frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{a}{a + \Psi^b} = \frac{1}{1 + (a\Psi)^n} \quad (9)$$

όπου a και b είναι σταθερές, $a = \frac{1}{a^{1/b}}$ και $n=b$, δηλαδή αντιστοιχεί στην εξίσωση

που πρότεινε ο van Genuchten (1978) για την τιμή του $m=1$ (εξ. 6 ή 7) και εφόσον οι παράμετροι m και n είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους.

Λύνοντας την εξίσωση (9) ως προς Ψ προκύπτει η σχέση:

$$\Psi = a^{1/b} \Theta^{1/b} (1 - \Theta)^{1/b} \quad (10)$$

Έτσι αντικαθιστώντας την εξίσωση (10) στην (5), λαμβάνεται:

$$K_r = \Theta^{1/2} [I\Theta(A_1, B_1)]^2, \quad (11)$$

όπου $I(A_1, B_1)$ είναι η μη πλήρης Βήτα συνάρτηση (Abramowitz - Stegun, 1972).

Η εξίσωση (11) μετά από ορισμένες πράξεις παίρνει την τελική μορφή:

$$K_r = \Theta^{1/2} \frac{\Theta^{2A_1} (1 - \Theta)^{2A_1}}{A_1^2 \Gamma(A_1, A_1)^2} \left\{ 1 + \Gamma(A_1 + 1) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(n + 3)}{\Gamma(A_1 + n + 2)} E^{n+1} \right\}^2 \quad (12)$$

όπου $A_1 = 1 + 1/b$, $B_1 = 1 - 1/b$, $A_1 + B_1 = 1$, $B(A_1, B_1) = B$ ήτα συνάρτηση και $\Gamma(n+3) =$ Γάμμα συνάρτηση.

Η παραπάνω εξίσωση (12) μπορεί να γραφεί με τη συνοπτική μορφή:

$$K_r = F(B, \theta) \theta^{2A_1 + 0.5} (1 - \theta)^{2B_1} \quad (13)$$

όπου:

$$F(B, \theta) = \frac{1}{A_1^2 (A_1 + B_1)^2} \left[1 + \sqrt{A_1 + 1} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sqrt{n+3}}{\sqrt{A_1 + n + 2}} \theta^{n+1} \right]^2 \quad (14)$$

Λόγω της πολυπλοκότητας στους υπολογισμούς οι Tzimopoulos and Sakellariou-Makrantonaki (1996) βελτίωσαν το παρόν μοντέλο. Κατασκεύασαν διαγράμματα τα οποία διευκολύνουν τις αριθμητικές πράξεις. Έτσι ο τρόπος υπολογισμού της υδραυλικής αγωγιμότητας είναι πολύ απλός και γρήγορος. Η εξίσωση που μας δίνει την σχετική υδραυλική αγωγιμότητα στο καινούριο μοντέλο είναι:

$$K_r = F(B, b) \theta^{\frac{2}{b} + 2.5} (1 - \theta)^{2 - \frac{2}{b}} \quad (15)$$

όπου $F(\theta, b)$ είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από το θ και το b και $b = 1/(1-\beta)$ είναι ο εκθέτης της εξίσωσης Brutsaert. Δηλαδή:

$$F(\theta, b) = \frac{1}{a^2 (A(a, \beta))^2} \left[1 + \sqrt{a+1} \sum_{n=0}^{\infty} (2+n)^{1-a} \theta^{n+1} \right]^2 \quad (16)$$

όπου $a = 1 + 2/b$, $\beta = 1 - 1/b$ και $a + \beta = 2$.

Οι τιμές του $F(\theta, b)$ δίνονται από ένα διάγραμμα σαν συνάρτηση της σχετικής υγρασίας θ , για αρκετές τιμές της παραμέτρου b .

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Ο πειραματικός προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας σε ακόρεστη κατάσταση πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ. (Αραμπατζής 1996, Αραμπατζής κ.α. 1997) Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένα αμιγδές εδαφικό δείγμα, μία δοσιμετρική αντλία, μία συσκευή γ-ακτινοβολίας και τασίμετρα με μετατροπείς πίεσης. Η δοσιμετρική αντλία έχει τη δυνατότητα ρύθμισης της παροχής σε υποπολλαπλάσια της αγωγιμότητας κορεσμού και χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του εδαφικού δείγματος με συγκεκριμένη ποσότητα νερού. Η συσκευή της γ-ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της εδαφικής υγρασίας και τον έλεγχο της ομοιομορφίας κατανομής του εδαφικού δείγματος. Το σύστημα των τασιμέτρων - μετατροπέων πίεσης παρακολουθεί τις μεταβολές της πίεσης του εδαφικού νερού στις επιλεγμένες θέσεις του εδαφικού δείγματος. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται ένα φάσμα τιμών (Ψ_i , θ_i) και (K_i , θ_i).

Η μηχανική ανάλυση του εδαφικού δείγματος έδειξε ότι περιέχει 93.6 % άμμο, 2.4 % ιλύ και 4.6 % άργιλο. Το έδαφος αυτό σύμφωνα με το τρίγωνο μηχανικής σύστασης χαρακτηρίζεται αμμόδες. Η κοκκομετρική ανάλυση έγινε με τη βοήθεια μιας συσκευής κοσκινίσματος και τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν είχαν τις ακόλουθες διαμέτρους: 2.0 mm, 1.0 mm, 0.85 mm, 0.6 mm, 0.425 mm, 0.212 mm και 0.106 mm. Για την ομοιογενοποίηση του εδαφικού δείγματος αποκλείστηκε το χονδρόκοκκο υλικό πάνω από 1 mm και το λεπτόκοκκο υλικό κάτω από 0.212 mm. Με το δείγμα αυτό, πληρώθηκε με ειδικό τρόπο ένα κυλινδρικό δοχείο από πλεξιγκλάς, μήκους 60 cm και εσωτερικής διαμέτρου 6 cm. Το ύψος του εδαφικού δείγματος μέσα στη κολόνα ήταν 30 cm. Η ομοιογένεια της πυκνότητας που επιτεύχθηκε κατά μήκος της στήλης ήταν $1.44 \pm 2\%$ gr/cm³. Με βάση τις πειραματικές τιμές κατασκευάστηκε η χαρακτηριστική καμπύλη $\Psi(\theta)$ του εδαφικού δείγματος και προσδιορίστηκαν τα ζεύγη τιμών (θ_i , K_i). Η υγρασίας κορεσμού ήταν $\theta_s = 0.34$ cm³/cm³, η υπολειπόμενη περιεκτικότητα σε νερό βρέθηκε ίση με $\theta_r = 0.02$ cm³/cm³ και η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού προσδιορίστηκε ίση με $K_{sat} = 1.72$ cm/min.

Για τον υπολογισμό της σχετικής υδραυλικής αγωγιμότητας από την εξίσωση (4) των Millington και Quirk (1961) χρειάζεται να υπάρχουν ζεύγη τιμών της υγρασίας θ_i και της μύξης Ψ_i . Τα ζεύγη αυτά των τιμών παίρνονται εάν χωριστεί η χαρακτηριστική καμπύλη $\Psi(\theta)$ σε $\Delta\theta$ ίσα διαστήματα, δηλαδή $\Delta\theta = \theta_{sat} / m$, όπου $\theta_r < \theta_i < \theta_{sat}$ και m είναι ακεραίος αριθμός. Έτσι χωρίζοντας την χαρακτηριστική καμπύλη της διύγρυνσης σε κάθε εδαφικό δείγμα σε $\Delta\theta$ ίσα διαστήματα, βρίσκονται τα ζεύγη τιμών (Ψ_i , θ_i). Στην συνέχεια ο υπολογισμός της σχετικής υδραυλικής αγωγιμότητας, γίνεται με απλή αντικατάσταση των τιμών στην εξίσωση (4). Η χαρακτηριστική καμπύλη της διύγρυνσης για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας χωρίστηκε σε m και $2m$ ίσα μέρη. Ο συντελεστής προσδιορισμού μεταξύ των πειραματικών τιμών και των υπολογισμένων για το εδαφικό δείγμα για $m=32$ είναι $R^2 = 0.927444$ και για $m=64$ είναι $R^2 = 0.958295$.

Χρησιμοποιώντας τις πειραματικές τιμές (Ψ_i , θ_i κατά τη διάρκεια της διύγρυνσης) για τον προσδιορισμό των συντελεστών της εξίσωσης του van Genuchten που περιγράφει την χαρακτηριστική καμπύλη, η εξίσωση παίρνει τη μορφή:

$$\theta_i = 0.02 + \frac{0.32}{\left[1 + (0.07356 \theta_i)^{4.59636}\right]^{0.782436}} \quad (17)$$

με συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0.99277$.

Έτσι από την εξίσωση (8) είναι εύκολο να υπολογιστεί η σχετική υδραυλική αγωγιμότητα για μια συγκεκριμένη εδαφική υγρασία θ_i , η οποία έχει τη μορφή:

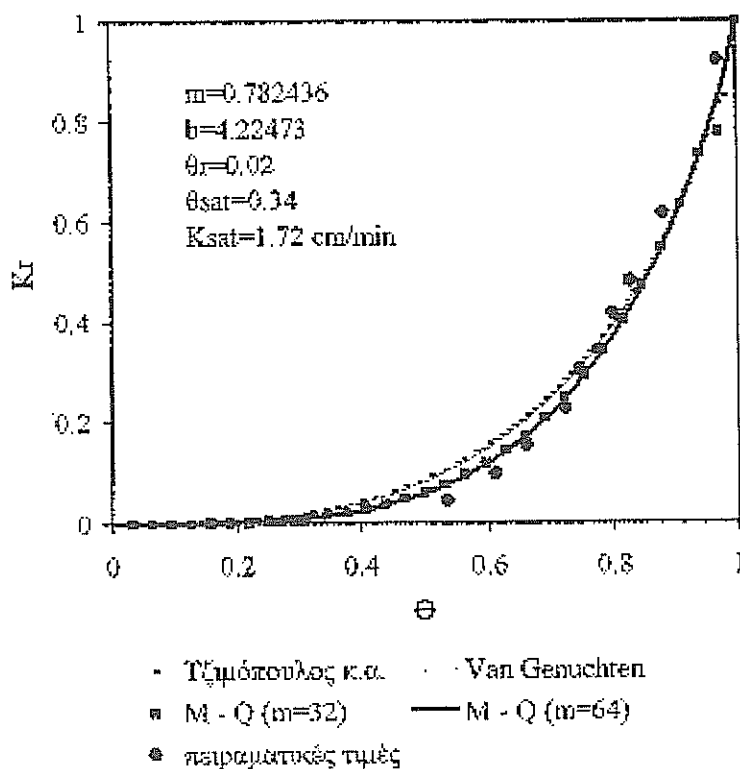
$$K_r(\theta) = \theta^{1/2} \left[1 - (1 - \theta)^{1/0.782436}\right]^{0.782436} \quad (18)$$

με συντελεστή προσδιορισμού μεταξύ των πειραματικών τιμών και των υπολογισμένων $R^2 = 0.926792$.

Οι Τζιμόπουλος κ.α. (1992) έχοντας σαν αφετηρία τη χαρακτηριστική εξίσωση (9) του Brutsaert (1966), κατέληξαν στην εξίσωση (13) για τον υπολογισμό της σχετικής υδραυλικής αγωγιμότητας K_r . Ο συντελεστής b που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων $A1$ και $B1$ είναι ίδιος με τον συντελεστή n της χαρακτηριστικής εξίσωσης του Brutsaert. Για την επίλυση της εξίσωσης (13) χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα Fortran, το οποίο έγινε από το εργαστήριο Υδραυλικής του τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ.. Η χρήση του προγράμματος είναι απλή, αρκεί να γνωρίζουμε την τιμή του $b=n$ για το εδαφικό δείγμα και μας δίνει τα ζεύγη τιμών K_r και Θ . Έτσι η τιμή του b για το εδαφικό δείγμα είναι $b=4,22473$. Ο συντελεστής προσδιορισμού μεταξύ των πειραματικών και των υπολογισμένων τιμών είναι $R^2 = 0.910955$.

Ο προσδιορισμός των πειραματικών τιμών (θ_i, K_i) γίνεται με τροφοδοσία της εδαφικής στήλης με νερό από την επιφάνεια, όταν η αρχική περιεκτικότητα σε νερό στο εδαφικό δείγμα είναι ίση με την υπολειμματική υγρασία ($\theta = \theta_r$). Έτσι όλοι οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται στα παραπάνω μοντέλα είναι αυτοί που προσδιορίστηκαν κατά την διάρκεια της διύγρωσης του εδαφικού δείγματος. Για τον ίδιο λόγο και στο μοντέλο των Millington και Quirk χωρίζεται σε $\Delta\theta$ ίσα διαστήματα η χαρακτηριστική καμπύλη της διύγρωσης.

Έτσι χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις και τις πειραματικές τιμές (Πίνακας 1) για το εδαφικό δείγμα κατασκευάζονται οι καμπύλες της σχετικής υδραυλικής αγωγιμότητας K_r ως προς την υγρασία θ (Σχήμα1).



ΣΧΗΜΑ 1: Τιμές της σχετικής υδραυλικής αγωγιμότητας ως προς την σχετική υγρασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Πειραματικές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας σε σχέση με την υγρασία για το εδαμικό δείγμα.

Υδραυλική αγωγιμότητα Kl (cm/min)	Υγρασία θ % (cm ³ /cm ³)
0.0782	19.309
0.1681	22.030
0.26488	23.780
0.3909	26.000
0.52016	26.829
0.59058	27.899
0.715916	28.749
0.82766	29.720
1.06015	31.669
1.58634	33.000

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Με το μοντέλο του Van Genuchten ο υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας είναι απλός και μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός μικρού υπολογιστή (calculator), σε αντίθεση με τα άλλα δύο μοντέλα που χρειάζονται τη χρήση ειδικών προγραμμάτων σε Η/Υ.
- Στο βελτιωμένο μοντέλο πρόβλεψης της υδραυλικής αγωγιμότητας των Τζιμόπουλου και Μαυραντωνάκη - Σακελλαρίου (1996) ο υπολογισμός γίνεται εξίσου απλός και γρήγορος όπως και με το μοντέλο του Van Genuchten.
- Τα μοντέλα του Van Genuchten και των Τζιμόπουλου κ.α. προσδιορίζουν την υδραυλική αγωγιμότητα με αρκετά καλή ακρίβεια σε σχέση με τα πειραματικά σημεία και δίνουν σχεδόν ταυτόσημα αποτελέσματα.
- Το μοντέλο των Millington και Quirk δίνει τον καλύτερο συντελεστή προσδιορισμού από τα άλλα δύο μοντέλα, σε σχέση με τις πειραματικές τιμές.
- Το μοντέλο των Millington και Quirk δε μας δίνει τα ίδια αποτελέσματα για το ίδιο δείγμα, όταν ο αριθμός n των ίδων διαστημάτων που χωρίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη διαφοροποιείται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abramovitz M. and Stegun J. A., 1972. Handbook of mathematical functions. Dover Publ. Inc. N. Y., pp 1046.
2. Αραμπατζής Γ., 1996. Προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας σε ακόρεστη κατάσταση. Πειραματικές διαδικασίες - Μοντέλα πρόβλεψης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Α.Π.Θ., σελ. 140.
3. Αραμπατζής Γ., Τζιμόπουλος Χρ. και Γιαννάπουλος Σ., 1997. Μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας αμιόδους εδάφους σε ακόρεστη κατάσταση στο εργαστήριο, Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), Πάτρα, σελ 176-183.
4. Averjanov S. F., 1950. About permeability of subsurface soils in uncomplete saturation. Eng. Collection, Vol. 7.

5. Bear J., Zaslavsky D. and Irmay S., 1968. Physical principles of water percolation and seepage. Unesco, pp 465.
6. Bear J., 1972. Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier, New York, pp 764.
7. Brooks R. H. and Corey A. T., 1964. Hydraulic properties of porous media. Color. State Univ., Hydrol. Paper 3, 27.
8. Brutsaert W., 1966. Probability laws for pore size distribution. Soil Science, 101, 85-92.
9. Childs E. C., and Collis - George N., 1950. The permeability of porous materials. Proc. Roy. Soc., Ser. A 201, 392-405.
10. Childs E. C., 1969. An introduction to the physical basis of soil water phenomena. John Wiley, New York.
11. Hillel D., 1980. Fundamentals of soil Physics. Academic Press, New York, pp 212.
12. Irmay S., 1954. On the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Trans. A.G.U., 35(3), 463-467.
13. Kunze R. J., Uehara G. and Graham K., 1968. Factors important in the calculation of hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 32, 760-765.
14. Marshall T. J., 1958. A relation between permeability and size distribution of pores. J. Soil Sci., 9(1), 1-8.
15. Millington R. J. and Quirk J. P., 1961. Permeability of porous solids. Trans. Faraday Soc., 57, 1200-1206.
16. Mualem Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res., 12(3), 513-522.
17. Parlange J. Y., 1971. Theory of water movement in soils: 1. One dimensional absorption, Soil Sci., Vol. 2, 134-137.
18. Parlange J. Y., 1971. Theory of water movement in soils: 2. One dimensional infiltration, Soil Sci., Vol. 3, 170-174.
19. Parlange J. Y., 1971. Theory of water movement in soils: 3. Two and three dimensional absorption, Soil Sci., Vol. 5, 313-317.
20. Philip J. R., 1969. Theory of infiltration. Advanced in Hydrosciences, 5, 215-296.
21. Richards L. A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics 1, 318-333.
22. Swartzendruder D., 1969. The flow of water in unsaturated soils. In. R.J.M. de Wiest (Editor): Flow through porous media. Academic press, New York, 25-287.
23. Τζιμόπουλος Χ., Σακελλαρίου - Μαζραντωνάκη Μ., Πανώρας Α. και Χατζηγιαννάκης Σ., 1992. Μοντέλο πρόβλεψης της υδραυλικής αγωγιμότητας με εφαρμογή σε πειραματικό αγρό της Σίνδου Θεσσαλονίκης. Πρακτικά 5ου Συνεδρίου της Ε.Υ.Ε., Λάρισα, 21-29.
24. Tzimopoulos C. and Sakellariou - Mazrantonaki M., 1996. A new analytical model to predict the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Water Resour. Man., 10, 1-18.
25. Vachaud G., 1968. Contribution a l' etude des problemes d' ecoulement en milieux poreux non satures. These de Docteur es Sciences physiques, Grenoble, France.
26. Van Genuchten M. TH., 1978. Calculating the unsaturated hydraulic conductivity with a new closed - form analytical model. Water Res. Program, Princeton Univ. Research Department, 78 - w - 08.
27. 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.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ ΚΑΤΑΝΤΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΡΑΤΟΥ

Χρήστος Τζιμόπουλος¹, Άνθιμος Σπυρίδης²

*¹Καθηγητής Α.Π.Θ., ²Διπλ. Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός M.Sc, Ph.D.
Τμήμα Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν άρθρο πραγματεύεται τη διαχείριση των υδάτων του ποταμού Αχελώου, κατάντη του φράγματος του Στράτου. Η περιοχική έρευνας προσεγγίζεται ορθολογιστικά με τη βοήθεια της ανάλυσης συστήματος (system analysis), σχηματοποιείται υδρολογικά, εξετάζονται διάφορα διαχειριστικά σενάρια, δημιουργούνται διαγράμματα ροής (flow charts) και αναπτύσσεται ένα υδρολογικό μοντέλο κατανομής του νερού, για κάθε χρήση. Στη συνέχεια γίνεται η εισαγωγή των οικονομικών, γεωργικών, περιβαλλοντικών και υδρολογικών παραμέτρων, που χρειάζονται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Τέλος γίνεται μια συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών και προτείνονται λύσεις για την βελτίωση αυτών.

WATER MANAGEMENT IN THE ACHELOOS RIVER BASIN BELOW STRATOS DAM

Christos Tzimopoulos¹, Anthimos Spiridis²

*¹Professor A.U.Th., ²Rural-Surveyor Engineer, M.Sc., Ph.D.
Department of Rural and Surveying Engineering,
Aristotle University of Thessaloniki, 54006, Thessaloniki.*

ABSTRACT

This paper deals with the water management in the Acheloos river basin, below Stratos dam. A rational approach of research area is obtained by system analysis. The research area is defined using hydrology criteria, several management scenarios are created and flow charts are considered. Finally a hydrological distribution model of water for every use is developed. Economical, agricultural, environmental and hydrological parameters needed for formulating the results are also introduced. Finally a critical evaluation of the results is presented and proposals are introduced for the optimization of the system.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των υδατικών πόρων μιας χώρας θεωρείται σαν ένα πολλαπλό σύστημα ολοκληρωμένων δράσεων - θεσμικό, τεχνολογικό, οικονομικό, κοινωνικό, περιβαλλοντικό - μέσα από τις οποίες επιδιώκεται η κάλυψη των αναγκών σε νερό. Η διαχείριση των υδατικών πόρων έχει σαν χωρικό πεδίο αναφοράς τη λεκάνη απορροής. Ο Ν.1739/87 έχει θεσπίσει τα υδατικά διαμερίσματα στην Ελλάδα, που αποτελούνται από ένα σύνολο λεκανών απορροής με όμοιες υδρολογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες και θεωρεί ότι η δημιουργία ευρύτερων χωρικών ενότητων θα έχει καλύτερα αποτελέσματα στην περιφερειακή διαχείριση των νερών.

Στην Ελλάδα, οι υδρολογικές συνθήκες δημιουργούν άνιση κατανομή του νερού στο χώρο και στο χρόνο, δηλαδή σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης και σε επίπεδο χρονικής εποχής αντίστοιχα. Η έρευνα των υδατικών έργων απαιτεί την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, μια διαχείριση που σήμερα αποτελεί τμήμα της επιχειρησιακής έρευνας.

Σε ερευνητικό επίπεδο κατά το στάδιο έρευνας των υδατικών πόρων μιας περιοχής, προβλέπονται συνήθως διαχειριστικά σενάρια, με διάφορους χρονικούς ορίζοντες διαχείρισης ή και η δημιουργία ενός συνθετότερου προγράμματος βέλτιστης διαχείρισης, εφόσον είναι αυτό δυνατό να δώσει αξιόπιστες λύσεις. Η εταιρεία Delft Hydraulics (1993) εφάρμοσε σε ερευνητικό επίπεδο, πολλαπλά διαχειριστικά σενάρια βελτιστοποίησης για το υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου. Το τμήμα ανάπτυξης των Υδάτων Κύπρου (Σωγράφους 1996), κατά τη διάρκεια της έρευνας του Σχεδίου του Νοτίου Αγωγού μεταφοράς στην Κύπρο, εισήγαγε ένα πρόγραμμα βελτιστοποίησης με 9 μεταβλητές απόφασης. Την μεθοδολογία των διαχειριστικών σεναρίων επελέξαν και οι Παναγόπουλος-Τριανταφύλλου (1997) για την υδρολογική λεκάνη του Ευήνου, καθώς και οι Τζιμόπουλος κ.α. (1997) κατά τη διάρκεια ερευνητικού προγράμματος της διαχείρισης των υδατικών πόρων του Κάτω Αχελώου. Επίσης οι Sousa V.-Lemos F. (1997) εφάρμοσαν την πολυκριτηριακή ανάλυση απόφασης (multicriteria decision analysis) στην επιλογή του βέλτιστου σεναρίου με βασικό ζητούμενο το μέγεθος ενός φράγματος στον ποταμό Leca της Πορτογαλίας.

Στο παρόν άρθρο παρουσιάζονται αποτελέσματα της ανωτέρω ερευνητικής προσπάθειας, για την διαχείριση των υδάτων του Κάτω Αχελώου (κατάντη του φράγματος του Στράτου). Η περιοχή έρευνας προσεγγίζεται ορθολογιστικά με τη βοήθεια της ανάλυσης συστήματος (system analysis), σηματοποιείται υδρολογικά, εξετάζονται διάφορα διαχειριστικά σενάρια, δημιουργούνται διαγράμματα ροής (Flow charts) και αναπτύσσεται ένα υδρολογικό μοντέλο κατανομής του νερού, για κάθε χρήση. Κατόπιν γίνεται η εισαγωγή των οικονομικών, γεωργικών, περιβαλλοντικών και υδρολογικών παραμέτρων, που χρειάζονται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Τέλος γίνεται μια συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών και προτείνονται λύσεις για την βελτίωση αυτών.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στην υδραυλική, με τον όρο ανάλυση συστήματος χαρακτηρίζεται η ορθολογιστική προσέγγιση των αποφάσεων για τη διευθέτηση των υδατικών πόρων μιας περιοχής. Η ανάλυση συστήματος βασίζεται στη συστηματική οργάνωση και ανάλυση των σχετικών με το πρόβλημα αλλά και το σύστημα πληροφοριών. Οι βασικότερες μέθοδοι ανάλυσης συστημάτων είναι η προσομοίωση και η βελτιστοποίηση, που και οι δύο αξιολογούν, με διαφορετική διαδικασία η κάθε μία, τις εναλλακτικές λύσεις (σενάρια διαχείρισης) και καταλήγουν μετά από σύγκριση των επιμέρους λύσεων στη βέλτιστη από αυτές.

Ο ποταμός Αχελώος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα υδατικά κεφάλαια της Ελλάδας. Η Κάτω υδρολογική λεκάνη αυτού αποτελεί ένα από τα πλουσιότερα υδρολογικά συστήματα της χώρας, το οποίο περιλαμβάνει φυσικούς υδατικούς πόρους και μεγάλα τεχνικά έργα. Η υδραυλική επικοινωνία που υπάρχει, μεταξύ των παραπάνω, δημιουργεί ένα σύνθετο και πολύπλοκο υδρολογικό σύστημα.

Στην παρούσα ερευνητική προσπάθεια το ανωτέρω υδρολογικό σύστημα αναπτύχθηκε σε σχηματοποιημένη μορφή, έτσι ώστε να γίνει δυνατή η προσομοίωση των φυσικών διαδικασιών και των χρήσεων του νερού, με ένα σύστημα κατάλληλα επιλεγμένων κομβικών σημείων, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα ακριβούς προσομοίωσης του συστήματος.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η σχηματοποίηση της υφιστάμενης κατάστασης έγινε έχοντας ως βάση τους ακόλουθους φυσικούς υδατικούς πόρους:

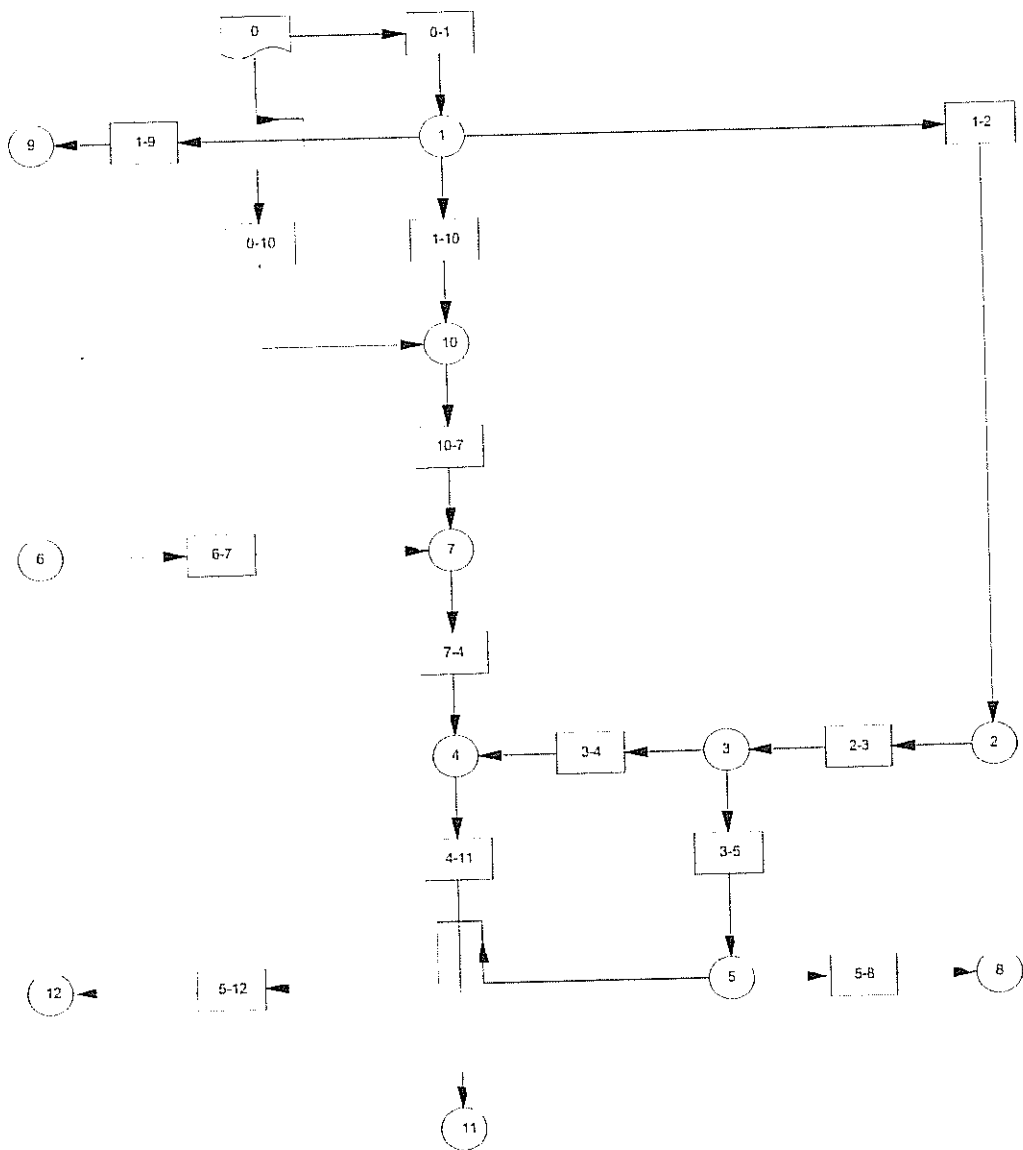
- τον ποταμό Αχελώο,
 - τις λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχεία, Οξερό.
- Καθώς και τα μεγάλα τεχνικά έργα της περιοχής όπως:
- την τάφρο Δίμηκου,
 - την ενωτική τάφρο Τριχωνίδας-Λυσιμαχείας,
 - τη σήραγγα Λυσιμαχείας,
 - τα τεχνικά έργα της περιοχής όπως διώρυγες, τάφροι κ.α.

Τα παραπάνω συνδέθηκαν (σχήμα 1) με τέτοιο τρόπο ώστε να αναπαριστάται η υδραυλική επικοινωνία που υπάρχει στην πραγματικότητα.

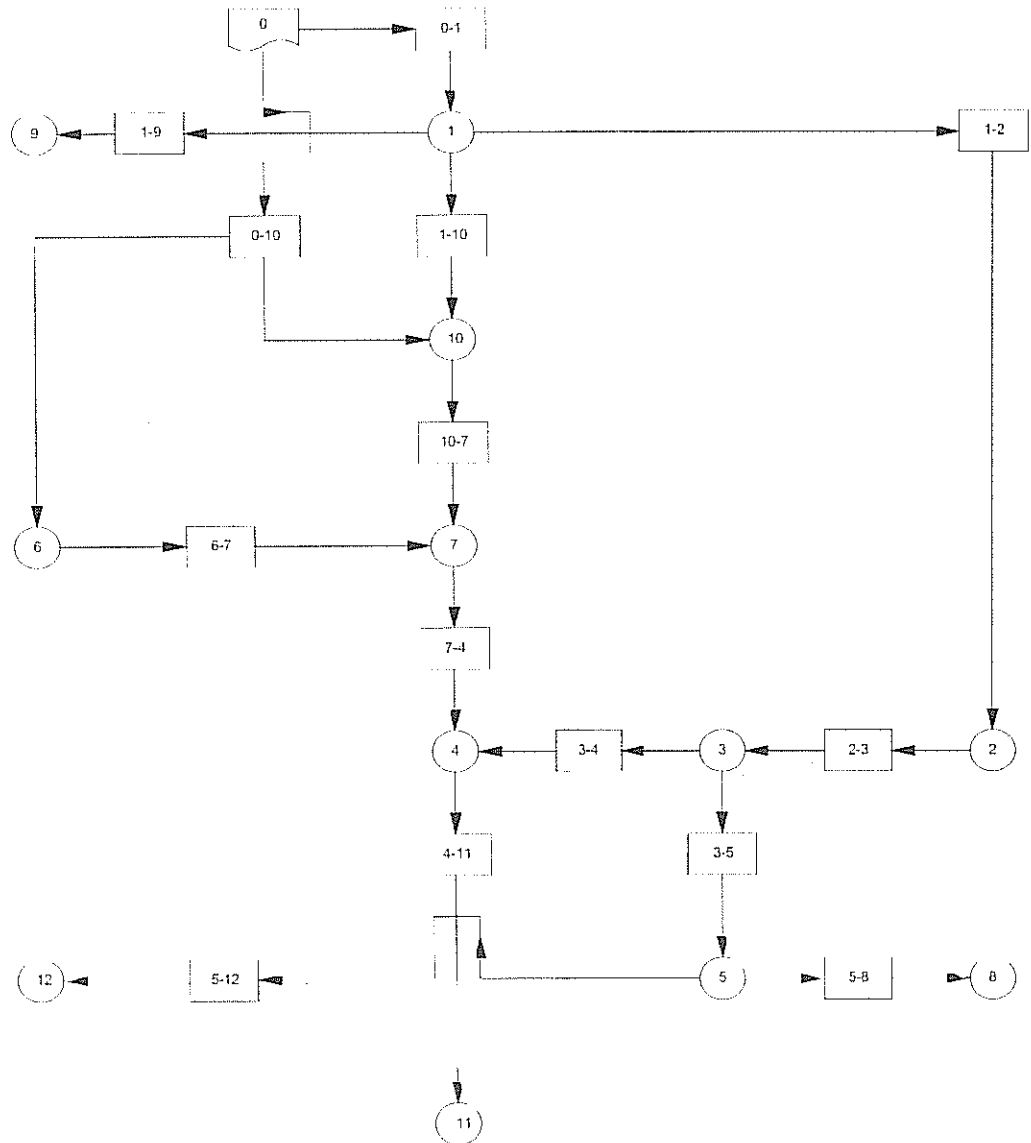
Κατά την διαδικασία της προσομοίωσης του υδραυλικού συστήματος ελήφθησαν υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: ελήφθη υπόψη η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ, ΣΤΡΑΤΟΣ Ι και ΣΤΡΑΤΟΣ ΙΙ.
- Αρδεύσεις: ελήφθησαν υπόψη τόσο οι εκτάσεις που αρδεύονται άμεσα από τον ποταμό Αχελώο όσο και αυτές που προμηθεύονται νερό από κόμβους του συστήματος. Επίσης ελήφθησαν υπόψη στην προσομοίωση και μελλοντικές αρδευόμενες εκτάσεις όπως αυτές προκύπτουν από τις διάφορες αναπτυξιακές μελέτες της περιοχής.
- Υδρεύσεις-Βιομηχανία: όπως φάνηκε από τα στοιχεία που είχαμε συλλέξει, για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της ευρύτερης περιοχής έρευνας χρειάζονται περίπου 19000000m³, ετησίως. Το ποσό αυτό θεωρείται ελάχιστο σε σχέση με το συνολικό διακινημένο όγκο νερού μια και αντιστοιχεί μόλις στο 5%αυτού. Για τον ανωτέρω λόγο θεωρήθηκαν ως αμελητέοι οι όγκοι νερού των υδρευτικών αναγκών.
- Περιβάλλον: αποτέλεσε παράμετρο καθορισμού των ελάχιστων δυνατών ποσοτήτων νερού που θα διακινηθούν από τους κόμβους του συστήματος ώστε να διασφαλίζεται η περιβαλλοντική ισορροπία της περιοχής.
- Ιχθυοκαλλιέργεια: ελήφθη υπόψη η τροφοδοσία των λιμνοθαλασσών από τα παράκτια αντλιοστάσια αποχέτευσης στράγγισης της περιοχής..
- Στραγγίσεις εδαφών: στην περιοχή του εξωτερικού βυθίσματος της περιοχής έρευνας ελήφθησαν υπόψη στοιχεία που αφορούν την λειτουργία των περιμετρικών αντλιοστασίων στράγγισης των εδαφών.

Η προσομοίωση της περιοχής έρευνας επιτεύχθηκε με δύο διαφορετικές σχηματοποιήσεις αυτών, ανάλογα με τα προτεινόμενα σενάρια ανάπτυξης και με το αν προτείνεται ή όχι η αναρρύθμιση ποσοτήτων νερού που απορρέουν από το φράγμα του Στράτου προς τον ποταμό Αχελώο. Έτσι για τα σενάρια Ι έως και ΧΙ η σχηματοποίηση της περιοχής έρευνας, δίνεται στο σχήμα 1. ενώ για τα σενάρια ΧΙΙ και ΧΙΙΙ (στα οποία λαμβάνει χώρα αναρρύθμιση υδάτων) η σχηματοποίηση φαίνεται στο σχήμα 2. Στον πίνακα 1, δίνονται οι ερμηνείες των κομβικών σημείων των ανωτέρω σχημάτων. Οι κόμβοι που βρίσκονται μέσα σε κύκλο αποτελούν πρωτεύοντες κόμβους του όλου υδραυλικού συστήματος ενώ οι κόμβοι μέσα σε ορθογώνιο είναι ενδιάμεσοι κόμβοι επικοινωνίας του όλου συστήματος με τον περιβάλλοντα χώρο.



ΣΧΗΜΑ 1. Σχηματοποίηση περιοχής έρευνας, χωρίς αναρρύθμιση υδάτων (σενάριο I-XI).



ΣΧΗΜΑ 2. Σχηματοποίηση περιοχής έρευνας, με αναρρόφηση υδάτων (σενάρια XII-XIII).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Ερμηνεία κομβικών σημείων.

Κόμβος	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
0	Φράγμα Στράτου.
1	Φράγμα Σπολαΐτας.
2	Λίμνη Τριγωνίδα.
3	Λίμνη Λυσιμαχία.
4	Κομβικό σημείο μεταξύ τάφρου Δίμηκου και π.Αχελώου.
5	Έξοδος σήραγγας Λυσιμαχίας.
6	Λίμνη Οξερός.
7	Κομβικό σημείο μεταξύ π.Αχελώου και τάφρου Τ1 από Οξερό.
8	Έξοδος διώρυγας ΔXXVIII στον ποταμό Εύηνο.
9	Έξοδος προς υδρολογική λεκάνη λίμνης Αμβρακίας.
10	Κομβικό σημείο μεταξύ π.Αχελώου και διώρυγας φυγής από φράγμα Στράτο.
11	Έξοδος του ποταμού Αχελώου στη θάλασσα.
12	Έξοδος διώρυγας ΔXX στην θάλασσα.
0-1	Κόμβος εισόδου-εξόδου στο τμήμα μεταξύ φράγματος Στράτου και φράγματος Σπολαΐτας.
1-2	Κόμβος εισόδου-εξόδου στη διώρυγα ΔVII.
2-3	Κόμβος εισόδου-εξόδου στην ενωτική διώρυγα Τριγωνίδας-Λυσιμαχίας.
3-4	Κόμβος εισόδου-εξόδου στην τάφρο Δίμηκου.
3-5	Κόμβος εισόδου-εξόδου στη σήραγγα Λυσιμαχίας.
5-8	Κόμβος εισόδου-εξόδου στην διώρυγα ΔXXVIII.
1-9	Κόμβος εισόδου-εξόδου στην διώρυγα ΔI
0-10	Κόμβος εισόδου-εξόδου στην διώρυγα φυγής.
1-10	Κόμβος εισόδου-εξόδου στο τμήμα μεταξύ του φράγματος Σπολαΐτας και της συμβολής του Αχελώου με τη διώρυγα φυγής από το φράγμα του Στράτου.
10-7	Κόμβος εισόδου-εξόδου στο τμήμα μεταξύ της συμβολής του Αχελώου με τη διώρυγα φυγής από το φράγμα του Στράτου και της συμβολής της διώρυγας Τ1 από Οξερό.
7-4	Κόμβος εισόδου-εξόδου στο τμήμα μεταξύ της συμβολής της διώρυγας Τ1 από Οξερό και της τάφρου του Δίμηκου με το Αχελώο.
4-11	Κόμβος εισόδου-εξόδου στο τμήμα μεταξύ της τάφρου του Δίμηκου με το Αχελώο και της εξόδου του ποταμού Αχελώου στη θάλασσα.
5-12	Κόμβος εισόδου-εξόδου στην διώρυγα ΔXX.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Στη δημιουργία των διαχειριστικών σεναρίων ελήφθησαν τρεις χρονολογικοί ορίζοντες ανάπτυξης:

1. Η παρούσα κατάσταση - έτος 1997
2. Ενδιάμεση κατάσταση ανάπτυξης - έτος 2000
3. Κατάσταση πλήρους ανάπτυξης - έτος 2015

Για την ενδιάμεση κατάσταση θεωρήθηκε ότι έχουμε αφ' ενός μία αύξηση των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων κατά 16.7%, αφ' ετέρου θεωρούμε ότι στο στάδιο αυτό έχουμε πλήρη εφαρμογή της Κοινής Υπουργικής Απόφασης (Κ.Υ.Α. 23271/15-12-1995) δηλαδή μία παροχή 7m³/s η οποία ρέει από το φράγμα Σπολάϊτα μέχρι τη συμβολή της διώρυγας φυγής του φράγματος Στράτου με τον ποταμό Αχελώο και μία δεύτερη παροχή 14.3m³/s η οποία προστίθεται στην κοίτη του Αχελώου μετά το σημείο συμβολής διώρυγας φυγής και Αχελώου.

Στο χρονολογικό ορίζοντα της πλήρους ανάπτυξης θεωρούμε εννέα αναπτυσσόμενα σενάρια, τα Σενάρια IV έως XIII, τα οποία αποτελούν συνδυασμό των ακόλουθων διαδικασιών:

- Αύξηση των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων κατά 50% και 100%.
- Εκτροπή ή μη εκτροπή ποσότητας 60000000m³ προς τη Θεσσαλία και
- Αναρρύθμιση της ποσότητας των 14.3m³/s που προβλέπεται από την Κ.Υ.Α. Η ποσότητα αυτή θα αποθηκεύεται στη λίμνη Οζερό, η οποία έχει την αποθηκευτική αυτή ικανότητα και στη συνέχεια θα παροχετεύεται προς τον ποταμό Αχελώο, κατόπιν του σημείου συμβολής της διώρυγας φυγής με τον Αχελώο.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο στην ενδιάμεση κατάσταση ανάπτυξης όσο και στην κατάσταση πλήρους ανάπτυξης έχουν ερευνηθεί δύο υδρολογικές καταστάσεις:

A. Μέσες υδρολογικές συνθήκες.

B. Ξηρές υδρολογικές συνθήκες.

Τα παραπάνω δεκατρία σενάρια εμφανίζονται στον πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Περιγραφή διαχειριστικών σεναρίων.

a/a	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	ΣΕΝΑΡΙΟ I	παρούσα κατάσταση
2	ΣΕΝΑΡΙΟ II	έτος 2000 μέσες υδρολογικές συνθήκες
3	ΣΕΝΑΡΙΟ III	έτος 2000 ξηρές υδρολογικές συνθήκες
4	ΣΕΝΑΡΙΟ IV	έτος 2015 μέσες υδρολογικές συνθήκες χωρίς εκτροπή και με αύξηση 50% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων
5	ΣΕΝΑΡΙΟ V	έτος 2015 μέσες υδρολογικές συνθήκες με εκτροπή (6ε+08m ³) και με αύξηση 50% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων
6	ΣΕΝΑΡΙΟ VI	έτος 2015 ξηρές υδρολογικές συνθήκες χωρίς εκτροπή και με αύξηση 50% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων
7	ΣΕΝΑΡΙΟ VII	έτος 2015 ξηρές υδρολογικές συνθήκες με εκτροπή (6ε+08m ³) και με αύξηση 50% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων
8	ΣΕΝΑΡΙΟ VIII	έτος 2015 μέσες υδρολογικές συνθήκες χωρίς εκτροπή και με αύξηση 100% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων
9	ΣΕΝΑΡΙΟ IX	έτος 2015 μέσες υδρολογικές συνθήκες με εκτροπή (6ε+08m ³) και με αύξηση 100% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων
10	ΣΕΝΑΡΙΟ X	έτος 2015 ξηρές υδρολογικές συνθήκες χωρίς εκτροπή και με αύξηση 100% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων
11	ΣΕΝΑΡΙΟ XI	έτος 2015 ξηρές υδρολογικές συνθήκες με εκτροπή (6ε+08m ³) και με αύξηση 100% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων
12	ΣΕΝΑΡΙΟ XII	έτος 2015 μέσες υδρολογικές συνθήκες με εκτροπή (6ε+08m ³) και με αύξηση 100% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων και με αναρρύθμιση προς λίμνη Οζερού
13	ΣΕΝΑΡΙΟ XIII	έτος 2015 ξηρές υδρολογικές συνθήκες με εκτροπή (6ε+08m ³) και με αύξηση 100% των προβλεπόμενων αρδευόμενων εκτάσεων και με αναρρύθμιση προς λίμνη Οζερού

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της έρευνας ήταν η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας διερεύνησης και αξιολόγησης εναλλακτικών σεναρίων προσομοίωσης των υδατικών πόρων της λεκάνης του ποταμιού Αχελώου κατάντη του φράγματος Στράτου, έτσι ώστε να προκύψει η βέλτιστη λύση για την ανάπτυξη της περιοχής.

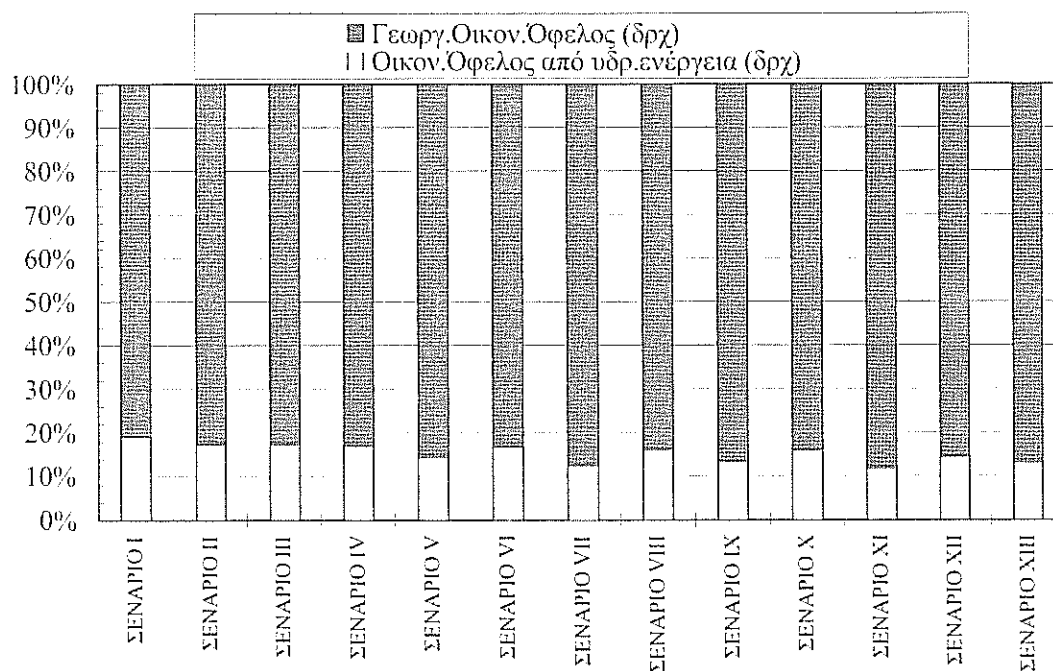
Με βάση την ανάλυση των εξεταζόμενων διαχειριστικών σεναρίων προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Το υδατικό διαμέρισμα του κάτω Αχελώου εμφανίζεται πλεονασματικό σε όλες τις φάσεις ανάπτυξης ακόμα και στις ξηρές περιόδους.
2. Το γεωργικό οικονομικό όφελος (πίνακας 3) εκφρασμένο σε ποσοστά επί τοις εκατό είναι πολλαπλάσιο του οικονομικού οφέλους που προέρχεται από υδροηλεκτρική ενέργεια και μάλιστα κυμαίνεται περίπου από 4 έως 8 φορές μεγαλύτερο. (σχήμα 3.)
3. Εάν εξετάσουμε τις μέσες υδρολογικές συνθήκες (σχήμα 4) και τον πίνακα 3, παρατηρούμε ότι για τη φάση της τελικής ανάπτυξης όπου υπεισέρχονται τα σενάρια IV, V, VIII, IX και XII, το σενάριο VIII εμφανίζει το μεγαλύτερο συνολικό οικονομικό όφελος, πλην όμως αναφέρεται σε κατάσταση μη εκτροπής του Αχελώου προς την Θεσσαλία. Από τα υπόλοιπα σενάρια το σενάριο XII είναι εκείνο το οποίο εμφανίζει το μεγαλύτερο ετήσιο οικονομικό όφελος δηλαδή 25,890 δισεκατομμύρια δραχμές και αυτό το σενάριο προβλέπει εκτροπή μεν προς το Θεσσαλικό κάμπο 600 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων ετησίως αλλά και αναρρύθμιση της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται για περιβαλλοντικούς σκοπούς δηλαδή περίπου 350 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων ετησίως. Το οικονομικό όφελος του σεναρίου αυτού αποτελεί το 98% του προηγούμενου σεναρίου VIII. Έτσι λοιπόν παρατηρούμε ότι κατά το σενάριο XII είναι δυνατό με την κατασκευή ορισμένων έργων αναρρύθμισης, δηλαδή δύο διωρυγών και υδροληψιών αναρρυθμίσεως, τα οποία θα κοστίσουν περίπου 1.5 έως 2 δισεκατομμύρια δραχμές να προκύπτει ένα ετήσιο όφελος από την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας 240 εκατομμύρια δραχμές.
4. Αναφερόμενοι τώρα στις ξηρές υδρολογικές συνθήκες (σχήμα 5) παρατηρούμε καταρχήν ότι τα σενάρια που υπεισέρχονται στην τελική φάση είναι τα σενάρια VI, VII, X, XI και XIII. Από τα παραπάνω σενάρια εκείνο που παρουσιάζει το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος είναι το σενάριο X, πλην όμως το σενάριο αυτό αναφέρεται σε κατάσταση μη εκτροπής. Από τα υπόλοιπα σενάρια το σενάριο 13 είναι εκείνο το οποίο εμφανίζει το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος για το έτος 2015 και αναφέρεται σε κατάσταση εκτροπής του Αχελώου. Το οικονομικό όφελος του σεναρίου XIII ανέρχεται σε 15,3 δισεκατομμύρια δραχμές από τα οποία το 87% προέρχονται από τη γεωργία ενώ το 13% προέρχεται από την υδροηλεκτρική ενέργεια. Επίσης το σενάριο αυτό αποτελεί το 97% του συνολικού οφέλους του σεναρίου X και συγχρόνως επειδή γίνεται η αναρρύθμιση προκύπτει ένα ετήσιο οικονομικό όφελος, σε σχέση με το σενάριο IX στο οποίο δεν προβλέπεται αναρρύθμιση, της τάξης των 240 εκατομμυρίων δραχμών ετησίως.

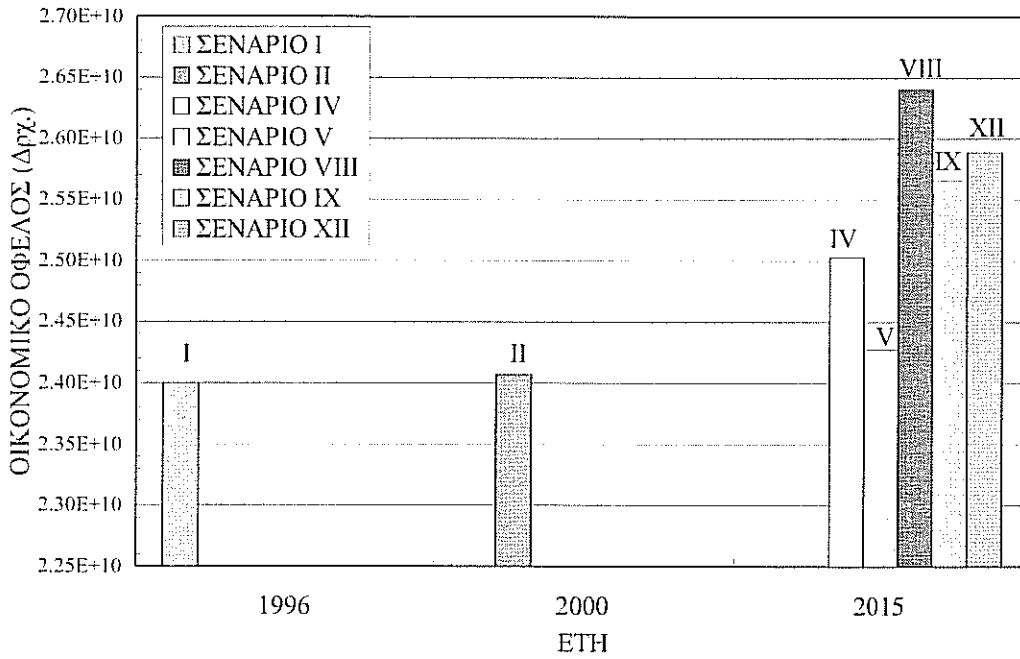
Συμπερασματικά γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα σενάρια XII και XIII αποτελούν τα βέλτιστα σενάρια για την αξιοποίηση της περιοχής και προδιαγράφουν την εξέλιξη των υδατικών πόρων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Συγκριτικός πίνακας οικονομικών οφελών.

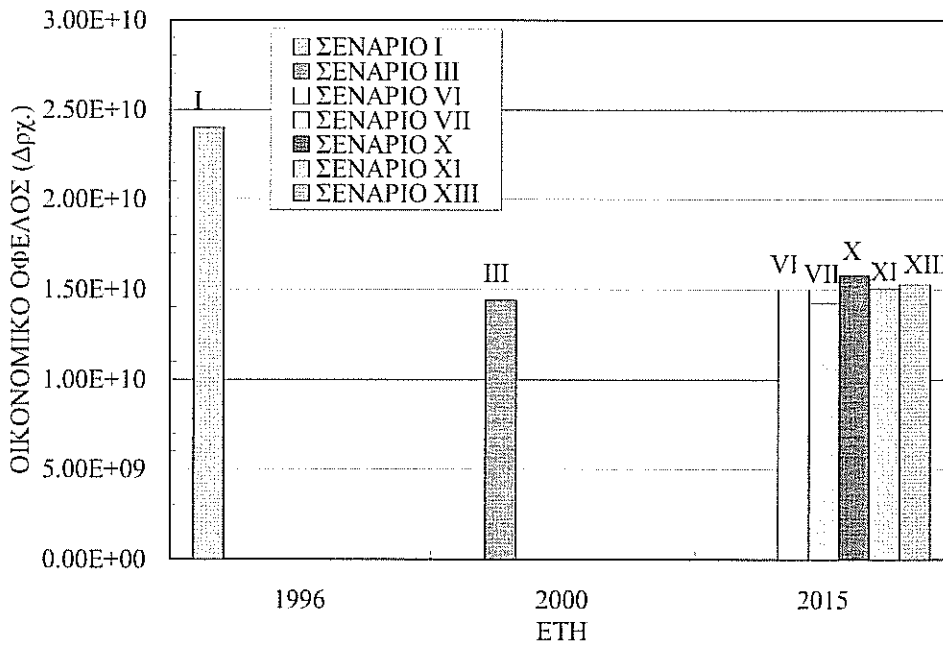
ΣΕΝΑΡΙΑ	ΣΤΡΑΤΟΣ Ι (δρχ)	ΣΤΡΑΤΟΣ ΙΙ (δρχ)	Οικον. Όφελος από υδρ. ενέργεια (δρχ)	Γεωργ. Οικον. Όφελος (δρχ)	ΣΥΝΟΛΟ (δρχ)
ΣΕΝΑΡΙΟ Ι	4.465E+09	1.079E+08	4.573E+09	1.943E+10	2.400E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ ΙΙ	3.736E+09	4.424E+08	4.178E+09	1.989E+10	2.407E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ ΙΙΙ	2.112E+09	3.859E+08	2.498E+09	1.194E+10	1.443E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ ΙV	3.796E+09	4.147E+08	4.211E+09	2.082E+10	2.503E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ V	3.042E+09	4.147E+08	3.457E+09	2.082E+10	2.428E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ VI	2.141E+09	3.726E+08	2.514E+09	1.249E+10	1.501E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ VII	1.387E+09	3.726E+08	1.760E+09	1.249E+10	1.425E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ VIII	3.771E+09	4.263E+08	4.198E+09	2.221E+10	2.641E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ ΙX	3.017E+09	4.263E+08	3.444E+09	2.221E+10	2.566E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ X	2.129E+09	3.784E+08	2.507E+09	1.333E+10	1.583E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ XI	1.375E+09	3.784E+08	1.753E+09	1.333E+10	1.508E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ XII	3.457E+09	2.244E+08	3.681E+09	2.221E+10	2.589E+10
ΣΕΝΑΡΙΟ XIII	1.815E+09	1.765E+08	1.991E+09	1.333E+10	1.532E+10



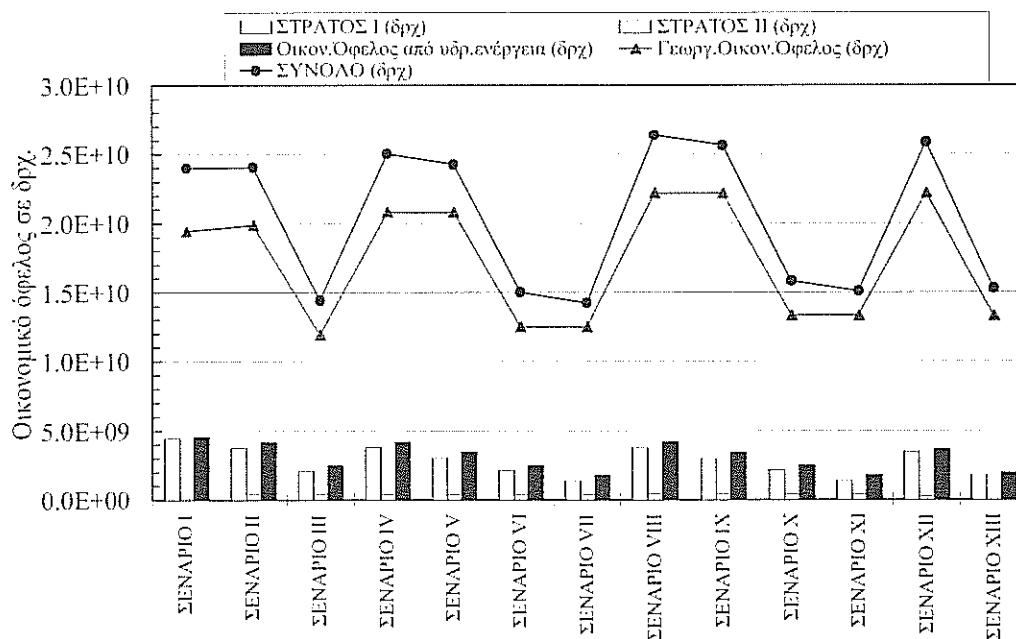
Σχήμα 3. Σύγκριση οικονομικών οφελών από γεωργία και παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4. Οικονομικά οφέλη ανά σενάριο και για μέσες υδρολογικές συνθήκες.



Σχήμα 5. Οικονομικά οφέλη ανά σενάριο και για ξηρές υδρολογικές συνθήκες.



Σχήμα 6. Οικονομικά οφέλη ανά σενάριο και για ξηρές υδρολογικές συνθήκες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γζίνη Μ., 1996, "Μεθοδολογία ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων με εφαρμογή στην Ήπειρο", Διεθνές συνέδριο Διαχείριση Υδατικών Πόρων, ΤΕΕ, Λάρισα.
2. ΔΕΗ, "Υδροηλεκτρικό Έργο Στράτου".
3. ΕΤΜΕ κ.α., 1993, "Τεχνοοικονομική Μελέτη Σκοπιμότητας Άρδευσης Εκτάσεων και Αντιπλημμυρικής Προστασίας Πεδινών Περιοχών Ν.Αιτωλοακαρνανίας", Αθήνα.
4. Λεονταρίτης Ι., 1986, "Εκτροπή Αχελώου", Σεμινάριο Έργων Εγγείων Βελτιώσεων, Πανελλήνιος Σύλλογος Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.
5. Μιμίζου Μ., 1994, "Τεχνολογία Υδατικών Πόρων", Παπασωτηρίου, Αθήνα.
6. Παναγόπουλος Π.-Τριανταφύλλου Κ., 1996, "Ένα μοντέλο διαχείρισης υδατικών πόρων για τη μελέτη της υδρολογικής λεκάνης Ευήνου", Διεθνές συνέδριο Διαχείριση Υδατικών Πόρων, ΤΕΕ, Λάρισα.
7. Sousa V. - Lemos F., 1997, "Simulation and multicriteria decision analysis approach on water resources planning", Computer Methods in Water Resources XII.
8. Σωκράτους Γ., 1996, "Προγραμματισμός του Σχεδίου του Νατίου Αγωγού στην Κύπρο", Διεθνές συνέδριο Διαχείριση Υδατικών Πόρων, ΤΕΕ, Λάρισα.
9. Τζιμόπουλος Χ., 1989, "Εγγειοβελτιωτικά έργα Θεσσαλίας. Έργα εκτροπής Αχελώου", Συνέδριο Γεωτεχνικού Επιμελητηρίου, Καρδίτσα.
10. Τζιμόπουλος Χ., 1993, "Αξιολόγηση των υδρολογικών στοιχείων και διαχείριση των υδατικών πόρων του φυσικού και ανθρωπογενούς δέλτα του Αχελώου".
11. Τζιμόπουλος Χ. - Σπυρίδης Α., "Το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης Τριχωνίδα", Διεθνές συνέδριο Διαχείριση Υδατικών Πόρων, ΤΕΕ, Λάρισα.

12. Vivier L., 1966, "Turbinie Hydraulique et leur regulation", Ed.Alben Michel, Paris.
13. ΥΒΕΤ Δ/ση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, 1993, "Μελέτη-Πιλότος για τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων του υδατικού διαμεγρίσματος της Ηπείρου".
14. ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π.Θ., 1997, " Έρευνα εκτίμησης και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της λεκάνης του κάτω Αχελώου για την ανάπτυξη και την περιβαλλοντική αναβάθμιση του δέλτα των λιμνοθαλασσών του και του συνόλου της περιοχής", Ερευνητικό πρόγραμμα , Επιστημονικός υπεύθυνος Α.Ψιλοβίκος, Θεσσαλονίκη.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΔΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Β. Κουτάλου, Στ. Γιαννόπουλος, Χ. Τζιμόπουλος, Απ. Αρβανίτης, Μ. Τσακίρη

Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετάται η μεταβολή του όγκου του υπόγειου νερού του υδροφορέα του Αξιού με τη βοήθεια του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών ARC/INFO 7.1.2. Τα δεδομένα των μετρήσεων αφορούν μηνιαίες παρατηρήσεις της υπόγειας στάθμης για το χρονικό διάστημα Μάρτιος 1994 - Δεκέμβριος 1995. Από τα δεδομένα αυτά με χρήση μεθόδου παρεμβολής, δημιουργήθηκαν επιφάνειες που αναπαριστούν την υπόγεια στάθμη του υδροφορέα για την περίοδο των μετρήσεων. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η μεταβολή του όγκου που περιλαμβάνεται μεταξύ των επιφανειών αυτών.

MANAGEMENT OF THE AXIOS AQUIFER SYSTEM USING G.I.S.

V. Koutalou, St. Yannopoulos, C. Tzimopoulos, Ap. Arvanitis, M. Tsakiri

Department of Rural Engineering, A.U.Th., Thessaloniki

ABSTRACT

The underground water volume storage of the Axios aquifer is estimated using the G.I.S. program Arc/Info 7.1.2. The data, which are used, consist of monthly measurements of the underground water table for the time period from March 1994 to December 1995. A method of interpolation is applied to these data in order to generate the underground water table surfaces. Finally, these surfaces are used to estimate the balance of the underground water volume storage over the time.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

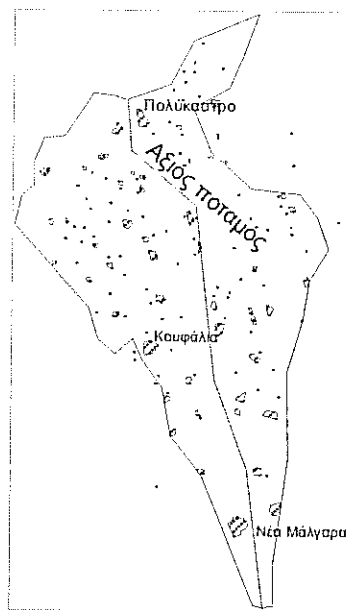
Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της σύγχρονης εποχής είναι η ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων. Ειδικότερα, για τους υδατικούς πόρους ο υπολογισμός της ποσότητας του διαθέσιμου νερού, που υπάρχει σε έναν υδροφορέα, είναι ζωτικής σημασίας για τον ίδιο, αλλά και για τους υπεύθυνους που τον διαχειρίζονται. Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερευνητές ασχολούνται με τη μελέτη των υδατικών πόρων της χώρας με σκοπό να καταγράψουν την υπάρχουσα κατάσταση και να προτείνουν λύσεις βιώσιμες για το περιβάλλον και για τον άνθρωπο χρήστη.

Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορα υπολογιστικά προγράμματα. Η χρήση των προγραμμάτων αυτών βοηθάει τους ερευνητές να αναπτύξουν διάφορα σενάρια διαχείρισης των υδατικών πόρων, που διαφορετικά θα ήταν αδύνατο. Ένα αξιόλογο εργαλείο, είναι τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), τα οποία μπορούν να δώσουν πληροφορίες που αφορούν στη θέση, στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων της επιφάνειας της γης, καθώς επίσης και πληροφορίες για τους χωρικούς συσχετισμούς ανάμεσα στα γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά αυτών. Έτσι, λοιπόν, οι πληροφορίες που είναι οργανωμένες σε βάσεις δεδομένων είναι δυνατό να μελετηθούν, να αναλυθούν και κατάλληλα συνδυαζόμενες να δώσουν απάντηση για συγκεκριμένα ερωτήματα ή σε υποθετικά σενάρια.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της διαχρονικής μεταβολής του όγκου του υπόγειου νερού του υδροφορέα του ποταμού Αξιού με τη βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών ARC/INFO [1], [2], [3].

Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης αφορά στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Αξιού και συγκεκριμένα το τμήμα της που βρίσκεται στον Ελληνικό χώρο, από τα σύνορα μέχρι και τις εκβολές του ποταμού. Στην περιοχή αυτή σχεδιάστηκε ο τοπογραφικός υδροκρίτης, έτσι ώστε να οριοθετηθεί η επιφανειακή υδρολογική λεκάνη. Η υπόγεια υδρολογική λεκάνη οριοθετήθηκε με βάση το διαχωρισμό διαπερατών και αδιαπέρατων πετρωμάτων. Υπολεκάνες που δεν είχαν υδραυλική επικοινωνία με τον κύριο υδροφορέα του ποταμού αφαιρέθηκαν από την περιοχή μελέτης. Προέκυψε, έτσι, μια περιοχή έκτασης 892,8 km² εκατέρωθεν του Αξιού, η οποία εκτείνεται μέχρι την περιοχή του Πολύκαστρου. Η περιοχή μελέτης απεικονίζεται στο σχήμα 1.



ΣΧΗΜΑ 1. Η περιοχή μελέτης με τα σημεία μέτρησης της υπόγειας στάθμης.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η υδρογεωλογική λεκάνη του Αξιού ανήκει στον ευρύτερο γεωτεκτονικό χώρο της ζώνης Αξιού και στην υποζώνη Προπαιονίας. Τα αλπικά ιζήματα της υποζώνης αυτής θεωρούνται τα αδιαπέρατα περιθώρια της λεκάνης. Οι υδροφορείς της λεκάνης του Αξιού εντοπίζονται στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.

Το πάχος των Τεταρτογενών ιζημάτων, που στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης δεν υπερβαίνει τα 75 μέτρα, μειώνεται προοδευτικά προς τα κράσπεδα αυτής. Το γεωλογικό υπόβαθρο των ιζη-

μάτων αυτών, που θεωρείται και υδρογεωλογικό, αποτελείται από μάργες ή λεπτόκοκκους άμμους και μάργες και διαχωρίζει τους υδροφόρους των ιζημάτων αυτών από τους υποκείμενους των Νεογενών. Στους Τεταρτογενείς αυτούς σχηματισμούς αναπτύσσονται δύο ειδών υδροφόροι οριζόντες δηλαδή οι αβαθείς και οι μεσαίοι υδροφόροι οριζόντες, οι οποίοι έχουν καθολική ανάπτυξη και διαχωρίζονται μεταξύ τους από στρώμα αμμούχων αργίλων και μεγάλους φακούς ύψος [8], [9], [11].

Οι Νεογενείς σχηματισμοί υπόκεινται των Τεταρτογενών και αποτελούνται από μια ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (Ποντίου) στο εσωτερικό της οποίας διαμορφώνονται φακοειδείς υδροφόροι οριζόντες μεγάλου πάχους. Οι υδροφόροι αυτοί είναι απομονωμένοι από τους υπερκείμενους και αποτελούνται από επαλληλία υδροφόρων στρωμάτων που συνίστανται από λεπτόκοκκους - μεσόκοκκους άμμους, συνεκτικά χαλίκια, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες διακοπτόμενους από μαργαϊκά υλικά [9], [11].

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα δεδομένα, που αφορούν μηνιαίες παρατηρήσεις της υπόγειας στάθμης για το χρονικό διάστημα Μάρτιος 1994-Δεκέμβριος 1995, αναλύθηκαν και υπέστησαν επεξεργασία στο περιβάλλον GRID του προγράμματος ARC/INFO 7.2. Το περιβάλλον GRID, που διαχειρίζεται την πληροφορία σε μορφή καννάβου (raster), αντιμετωπίζει την περιοχή μελέτης διαρώντας την σε διακριτές χωρικές ενότητες σε σχήμα τετραγώνου, που ονομάζονται κελιά. Κάθε χωρική ενότητα αντιπροσωπεύει ένα τμήμα της επιφάνειας της γης π.χ. ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο ή ένα τετραγωνικό μέτρο και έχει ένα σύνολο από ιδιότητες του αντικειμένου, το οποίο περιγράφει. Οι ιδιότητες αυτές καταγράφονται στο κελί με μία τιμή. Δεδομένα, τα οποία είναι συνεχόμενα χωρικά, αναλύονται και διαχειρίζονται βέλτιστα από το περιβάλλον GRID. Οι συνεχόμενες επιφάνειες αναπαριστούν τιμές που κάθε σημείο έχει και οι οποίες σχετίζονται με τις τιμές των διπλανών κελιών. Η διαδικασία ανάλυσης με τη μέθοδο των κελιών έχει εφαρμογή σε πολλά προβλήματα, όπως είναι π.χ. η κατανομή του μεγέθους του θορύβου γύρω από μία πηγή θορύβου, ο υπολογισμός της επικινδυνότητας μιας περιοχής σε ρύπους γύρω από έναν χώρο απόθεσης τοξικών αποβλήτων κ.λπ.

Για τη δημιουργία της επιφάνειας του υπόγειου νερού χρησιμοποιείται η μέθοδος της αντίστροφης απόστασης IDW (Inverse Distance Weighted) [10]. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την τιμή ενός παρεμβλλόμενου σημείου από τις τιμές των γειτονικών σημείων. Στις τιμές αυτές δίνεται ένας παράγοντας βάρους, ο οποίος έχει σχέση με την απόσταση των σημείων από το σημείο παρεμβολής. Επειδή η μέθοδος υπολογίζει ένα μέσο όρο από τις γειτονικές τιμές, οι υπολογιζόμενες τιμές οριοθετούνται από τις τιμές των μετρήσεων. Κατ' αυτό τον τρόπο οι τιμές που προκύπτουν δεν μπορεί να είναι μικρότερες από τη μικρότερη τιμή ούτε μεγαλύτερες από τη μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα η μέθοδος να μην δημιουργεί "ράχες" ή "κοιλιάδες" με τιμές που δεν υπάρχουν στις μετρήσεις. Η εξίσωση που χρησιμοποιεί η μέθοδος IDW είναι :

$$G(x, y) = \sum_i w_i f(x_i, y_i)$$

$$\text{με βάρη } w_i = \frac{d_i^{-p}}{\sum d^{-p}}$$

όπου:

$G(x,y)$ = η υπολογιζόμενη τιμή στη θέση (x,y)

$f(x_i, y_i)$ = η μετρούμενη τιμή στη θέση (x_i, y_i)

d_i = η απόσταση από το (x,y) στο (x_i, y_i)

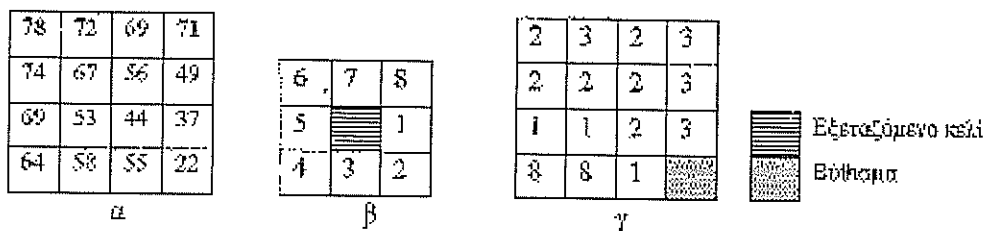
ρ = η δύναμη του βάρους (ένανς αυθαίρετος θετικός αριθμός)

Τα αθροίσματα στις δύο σχέσεις περιλαμβάνουν όλες τις μετρήσεις.

Οι διδιάστατες επιφάνειες που δημιουργούνται για κάθε μήνα των μετρήσεων υφίστανται επεξεργασία με σκοπό να εξαλειφθούν τυχόν ατέλειες στη συνεχόμενη επιφάνεια. Ως τέτοιες ατέλειες θεωρούνται μεμονωμένα βυθίσματα ή εξάρσεις. Συγκεκριμένα, ως "βυθίσματα" θεωρούνται τα κελιά που έχουν τιμή μικρότερη από τις τιμές όλων των γειτονικών τους κελιών και ως "εξάρσεις" θεωρούνται τα κελιά που έχουν τιμή μεγαλύτερη από τις τιμές όλων των γειτονικών τους κελιών. Στα βυθίσματα δεν μπορεί να καθοριστεί η διεύθυνση ροής, ενώ στις εξάρσεις η διεύθυνση ροής μπορεί να πάρει οποιαδήποτε κατεύθυνση. Οι ατέλειες αυτές δημιουργούν προβλήματα, όταν χρησιμοποιηθεί η επιφάνεια για περαιτέρω υδρολογική ανάλυση. Ειδικότερα, για τις εξάρσεις δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα, αφού το νερό τις προσπερνάει και ρέει προς το χαμηλότερο υψόμετρο. Έτσι, λοιπόν, οι εξάρσεις, συνήθως, αγνοούνται από τη διαδικασία. Για τα βυθίσματα, όμως, το νερό που ρέει προς το κελί με το μικρότερο υψόμετρο εγκλωβίζεται εκεί και έτσι η ροή σταματάει. Οι περισσότερες επιφάνειες περιέχουν βυθίσματα και εξάρσεις. Σύμφωνα με τους Tarboison et al. [7] σε μια επιφάνεια με μέγεθος κελιού 30 μέτρα ένα ποσοστό 0.9 - 4.7% είναι βυθίσματα.

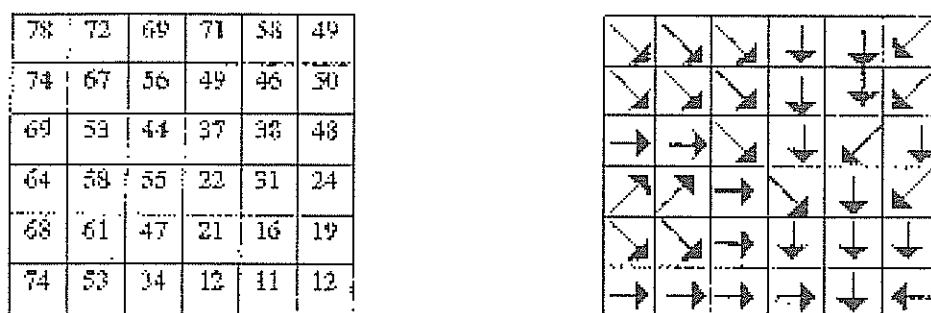
Κατά τη διαδικασία της εξομάλυνσης εντοπίζονται τα βυθίσματα και οι εξάρσεις και διορθώνονται. Συγκεκριμένα, τα βυθίσματα παίρνουν τη χαμηλότερη γειτονική τιμή [7]. Με αυτό τον τρόπο, όμως, ένα βύθισμα που διορθώνεται μπορεί να δημιουργήσει κάποιο άλλο. Έτσι, η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου εξαλειφθούν όλα τα βυθίσματα. Η υδρολογική ανάλυση γίνεται στη διορθωμένη επιφάνεια.

Η διαδικασία γίνεται ως εξής: Υπολογίζεται κατ' αρχή, η κατεύθυνση στην οποία ρέει το νερό που βρίσκεται σε κάθε κελί. Η κατεύθυνση αυτή έχει φορά προς ένα από τα οκτώ γειτονικά κελιά (κωδικοποιημένα σύμφωνα με το σχήμα 2β) και συγκεκριμένα προς το κελί με τη μεγαλύτερη κλίση [4], [5]. Αν η κλίση προς όλα τα γειτονικά κελιά είναι η ίδια, τότε η "γειτονιά" μεγεθύνεται, ώστε να βρεθεί η πιο απότομη κλίση. Σε περίπτωση, όμως, που όλα τα γειτονικά κελιά έχουν τιμές μεγαλύτερες από αυτή του εξεταζόμενου, τότε το κελί αυτό καταχωρείται σαν βύθισμα. Σύμφωνα με τα παραπάνω, αν οι τιμές της πιεζομετρίας 16 γειτονικών κελιών είναι αυτές που σημειώνονται στο σχήμα 2α, τότε υπολογίζεται η ροή για κάθε εξεταζόμενο κελί και δίνεται σε καθένα από αυτά μία τιμή που δηλώνει σε ποιο κελί μεταφέρεται η ροή (Σχήμα 2γ). Το τελευταίο κελί με τιμή 22 (Σχήμα 2α) καταχωρείται σαν βύθισμα (Σχήμα 2γ).



ΣΧΗΜΑ 2. Προσδιορισμός της κατεύθυνσης ροής και δημιουργία αρχείου κατευθύνσεων.

Με γνωστές πλέον τις κατευθύνσεις ροής υπολογίζεται στη συνέχεια η συγκέντρωση ροής (Σχήμα 3). Κατά τη διαδικασία υπολογισμού της συγκέντρωσης προστίθεται για κάθε κελί ο αριθμός των κελιών, που η κατεύθυνσή τους έχει φορά προς αυτό. Η τιμή, λοιπόν, κάθε κελιού δείχνει τον αριθμό των κελιών από τα οποία δέχεται ροή [7]. Τα περισσότερα κελιά έχουν πολύ μικρές τιμές, αλλά μερικά από αυτά συγκεντρώνουν πολύ γρήγορα πολύ μεγάλες τιμές γεγονός, που σημαίνει ότι εντοπίζονται πάνω σε κύρια ρεύματα ροής. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα υδρογραφικό δίκτυο.



ΣΧΗΜΑ 3. Δημιουργία συγκέντρωσης ροής.

Για την εκτίμηση της μεταβολής του όγκου του υπόγειου νερού από μήνα σε μήνα χρησιμοποιούνται οι δημιουργούμενες επιφάνειες του υπόγειου νερού. Συγκεκριμένα, εισάγονται στο ARC/INFO επιφάνειες του υπόγειου νερού που αντιστοιχούν σε δύο διαδοχικούς μήνες, υπολογίζονται στη συνέχεια τα εμβαδά τους και ο όγκος που περικλείεται ανάμεσα σε αυτές και μ' αυτό τον τρόπο, υπολογίζεται η μεταβολή του όγκου του αποθηκευμένου υπόγειου νερού με χρονικό βήμα το μήνα.

Η σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μεταβολής του όγκου ΔV είναι:

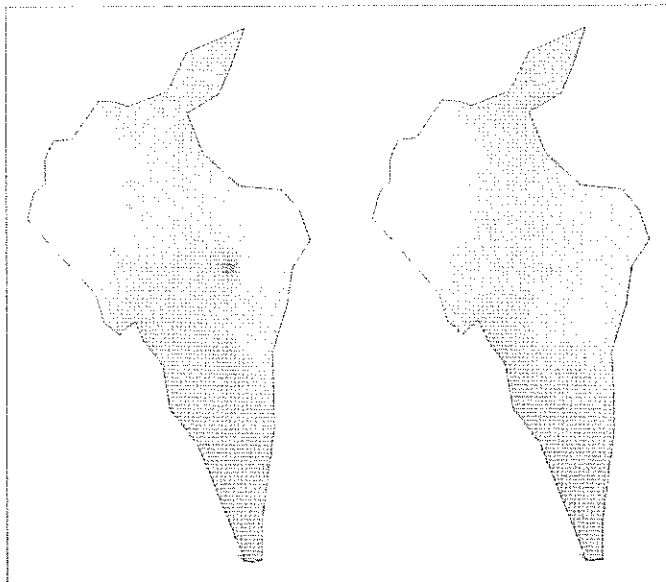
$$\Delta V = d^2 \cdot \Delta Z$$

όπου d η διάσταση του κελιού, $\Delta Z = Z_{before} - Z_{after}$ και Z η τιμή της πιεζομετρίας.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Οι μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού ελήφθησαν από ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο "Μαθηματικό μοντέλο υπόγειων υδάτων λεκάνης Αξιού" και αφορούν στο χρονικό διάστημα Μάρτιος 1994 - Δεκέμβριος 1995 [6]. Από τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία μόνο ογδόντα οκτώ (88) γεωτρήσεων, επειδή αφαιρέθηκαν οι αβαθείς γεωτρήσεις εκατέρωθεν του ποταμού οι οποίες διατρύπουν τον επιφανειακό υδροφορέα και θεωρήθηκε ότι δείχνουν τη στάθμη του ποταμού. Οι γεωτρήσεις, που τελικά χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη διατρύπουν τους υδροφορείς υπό πίεση (μέσους και βαθείς) (Σχήμα 1) και καλύπτουν κατά το δυνατό μία έκταση 7 km² περίπου η καθεμία.

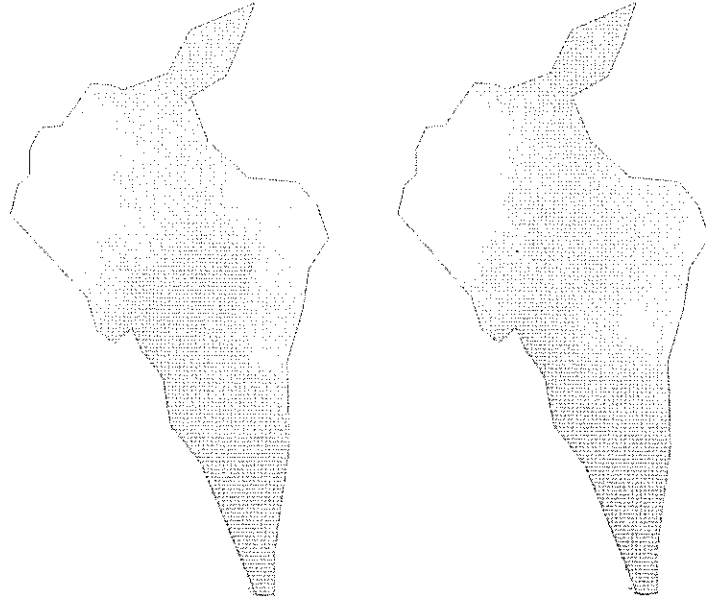
Με τα δεδομένα αυτά δηλαδή, τις μετρήσεις της υπόγειας στάθμης, δημιουργήθηκαν οι μηνιαίες υπόγειες επιφάνειες του νερού. Η μέθοδος παρεμβολής (IDW) που χρησιμοποιήθηκε, εφαρμόστηκε με μέγεθος κελιού 100 μέτρα και δύναμη βάρους 2. Στο σχήμα 4 απεικονίζονται οι επιφάνειες του υπόγειου νερού με τη διαδικασία που περιγράφηκε για τους μήνες Ιούλιο 1994 και Απρίλιο 1995.



ΣΧΗΜΑ 4. Οι επιφάνειες του υπόγειου νερού για τους μήνες Ιούλιο 1994 και Απρίλιο 1995.

Στη συνέχεια έγινε η επεξεργασία των επιφανειών αυτών, ώστε να εξαλειφθούν λάθη παρεμβολής όπως βυθίσματα και κοιλάδες. Στις σωστές υδρολογικά επιφάνειες (Σχήμα 5) υπολογίστηκαν οι κατευθύνσεις ροής (Σχήμα 6) καθώς και οι συγκεντρώσεις ροής (Σχήμα 7).

Η μεταβολή του όγκου του αποθηκευμένου νερού υπολογίστηκε από τις δημιουργούμενες επιφάνειες για κάθε μήνα. Οι τιμές των μεταβολών του όγκου ΔV που δίνονται στον πίνακα 1 αναφέρονται στη συνολική έκταση της περιοχής μελέτης. Δεν κατέστη δυνατό να υπολογιστεί ο καθαρός όγκος της μεταβολής του υπόγειου νερού λόγω ελλείψεως της τιμής του συντελεστή αποθήκευσης, S . Έτσι, οι τιμές του πίνακα για την μεταβολή του όγκου του υπόγειου νερού θεωρείται ότι είναι διαιρεμένες με το "μέσο συντελεστή αποθήκευσης", S που αφορά όλη την περιοχή μελέτης.



ΣΧΗΜΑ 5. Οι διορθωμένες υδρολογικά επιφάνειες.



ΣΧΗΜΑ 6. Οι κατευθύνσεις ροής σύμφωνα με το σχήμα 2.



ΣΧΗΜΑ 7. Οι συγκεντρώσεις ροής σαν αποτέλεσμα των διευθύνσεων ροής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.

Μήνας μέτρησης	Πιεζομετρίες		Χρονικό διάστημα	$\Delta V / S(m^3)$
	Μικρότερη τιμή	Μεγαλύτερη τιμή		
Μάρτιος 1994	-2.620	113.257		
Απρίλιος 1994	-6.549	159.267	Μάρτιος-Απρίλιος 1994	2.8128E+08
Μάιος 1994	-5.669	118.329	Απρίλιος- Μάιος 1994	-1.0044E+09
Ιούνιος 1994	-5.609	115.261	Μάιος -Ιούνιος 1994	-6.3270E+09
Ιούλιος 1994	-29.569	155.571	Ιούνιος-Ιούλιος 1994	2.2000E+08
Αύγουστος 1994	-31.095	112.427	Ιούλιος-Αύγουστος 1994	-2.4601E+09
Σεπτέμβριος 1994	-29.840	155.897	Αύγουστος-Σεπτέμβριος 1994	4.0214E+09
Οκτώβριος 1994	-8.775	158.098	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 1994	3.7389E+09
Νοέμβριος 1994	-7.279	158.473	Οκτώβριος-Νοέμβριος 1994	1.5540E+09
Δεκέμβριος 1994	-7.289	158.864	Νοέμβριος-Δεκέμβριος 1994	1.4396E+09
Ιανουάριος 1995	-8.215	159.290	Δεκέμβριος 1994-Ιανουάριος 1995	-6.8608E+08
Φεβρουάριος 1995	-8.539	159.311	Ιανουάριος-Φεβρουάριος 1995	1.4820E+09
Μάρτιος 1995	-6.839	159.342	Φεβρουάριος-Μάρτιος 1995	1.0623E+09
Απρίλιος 1995	-8.989	159.232	Μάρτιος-Απρίλιος 1995	-1.8193E+08
Μάιος 1995	-9.177	139.389	Απρίλιος- Μάιος 1995	-3.6170E+09
Ιούνιος 1995	-9.265	158.687	Μάιος -Ιούνιος 1995	1.4993E+09
Ιούλιος 1995	-29.721	139.402	Ιούνιος-Ιούλιος 1995	-6.1811E+09
Σεπτέμβριος 1995	-9.688	158.511	Αύγουστος-Σεπτέμβριος 1995	2.5774E+09
Οκτώβριος 1995	-9.912	158.839	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 1995	2.4684E+09
Νοέμβριος 1995	-10.020	159.111	Οκτώβριος-Νοέμβριος 1995	1.1765E+09
Δεκέμβριος 1995	-10.164	139.377	Νοέμβριος-Δεκέμβριος 1995	1.1393E+09

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε μία διαδικασία με την οποία δημιουργήθηκαν επιφάνειες της υπόγειας στάθμης του υδροφορέα της λεκάνης του Αξιού ποταμού. Οι επιφάνειες αυτές αντιμετωπίστηκαν και υπέστησαν επεξεργασία σαν υδρολογικές δηλαδή διορθώθηκαν ως προς τα λάθη παρεμβολής με την εξάλειψη των βυθισμάτων και των εξάρσεων και υπολογίστηκαν οι διευθύνσεις ροής. Από αυτές προέκυψαν στη συνέχεια, οι συγκεντρώσεις ροής, οι οποίες αναπαριστούν την κίνηση των υπόγειων νερών. Όπως διαπιστώνεται από το σχήμα 7 στο γενικό τμήμα της λεκάνης, οι υδροφόροι οριζόντες φαίνεται να έχουν ακτινοειδή μορφή και οι άξονες υπόγειας αποχέτευσης των νερών που δημιουργούνται κατεύθυνση από την λοφώδη προς την πεδινή περιοχή. Οι περισσότεροι από τους οριζόντες αυτούς έχουν κατεύθυνση, που συμπίπτει με τα κύρια υδατορεύματα της περιοχής. Προς τη δυτική πλευρά του Αξιού τα κύρια αυτά υδατορεύματα είναι της Τούμπας και των Αθύρων, ενώ προς την ανατολική πλευρά του Ανθοφύτου. Επίσης, μία συγκέντρωση νερών παρατηρείται στην περιοχή της αποξηραμένης λίμνης Αρτζάν (βόρειο-δυτικό τμήμα της λεκάνης).

Από τον υπολογισμό της μεταβολής του όγκου από μήνα σε μήνα για την περίοδο των μετρήσεων διαπιστώνεται, όπως εξάλλου είναι και αναμενόμενο, ότι υπάρχει μία μείωση αυτού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και μία αύξηση κατά τους χειμερινούς με αρχή της αύξησης το μήνα Σεπτέμβριο, που θεωρείται η αρχή της υγρής περιόδου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ESRI Environmental System Research Institute, 1990. Understanding GIS The ARC/INFO Method, Redlands California USA
2. ESRI Environmental System Research Institute, 1992. Cell-based Modeling with GRID, ARC/INFO Version 7.12 User's Guide, Redlands California USA
3. ESRI Environmental System Research Institute, 1997. Using GRID with ARC/INFO Version 7.1.1, Redlands California USA
4. Greenlee, D. D., 1987. Raster and Vector Processing for Scanned Linework, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 53, No. 10, October 1987, pp. 1383-1387
5. Jenson S. K. and J. O. Dominique, 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, No. 11, November 1988, pp. 1593-1600.
6. Κουτσάου Βασιλική, 1997. Μελέτη της πεζομετρίας του υδροφορέα της λεκάνης του Αξιού με την βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών ARC/INFO, Μεταπτυχιακή διατριβή, Θεσ/νίκη
7. Tarboton D. G., R. L. Bras, I. Rodriguez-Iturbe, 1991. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data, Hydrological Processes, vol. 5, 81-100.
8. Tippetts, Abbott, McCarthy, Stratton, 1978. Integrated development of the Vardar/Axios river basin (Yugoslavia-Greece), Master Plan Report, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Mass, vol. B,C2
9. Τζιμούρτας, Στ., και Χριστοδούλου, Θ., 1991. Υδρογεωλογική μελέτη λεκάνης Αξιού, Έκθεση, Ι.Γ.Μ.Ε.
10. Watson, D.F. and Philip, G.M., 1985. A refinement of inverse distance weighted interpolation, Geo-Processing, 2, pp 315-327
11. Χριστοδούλου, Θ., Καλλέργης, Γ., Μόρφη, Α., Κουρμούλη, Ν. και Παπασπυροπούλου, Χ., 1975. Υδρογεωλογική έρευνα εις λεκάνην Αξιού, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.

**ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ
ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΤΕΩΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ ΤΟΥ Ν. ΛΑΡΙΣΗΣ**

Μιμίδης Μ.Θ. , Αγγελίδης Σ.Μ. , Χαλκίδης Ν.Η.

*Γεωπονικό Πανεπιστήμιο της Αθήνας
Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο νομό Λάρισας υπάρχουν 1.200.000 περίπου στρέμματα αρδευόμενων καλλιεργειών οι οποίες θεωρούνται από τις πιο παραγωγικές, με συνεχή μείωση των ξηρικών εκτάσεων προς όφελος των αρδευομένων.

Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό σε συνδυασμό με τη ξηρασία της περιόδου 1989-1993, είχαν σαν αποτέλεσμα τη δραματική μείωση των αποθεμάτων νερού με πιο χαρακτηριστικό φαινόμενο αυτό της πτώσης στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα κατά πολλές δεκάδες μέτρα.

Το αποκορύφωμα της ανορθολογικής αυτής χρήσης του υπόγειου νερού είναι η εμφάνιση φαινομένων εδαφικών καθιζήσεων σε όλες τις Παρακάρλιες περιοχές, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων εδαφικών ρωγματώσεων στην επιφάνεια αγροτικών και κατοικημένων περιοχών, ενώ παράλληλα οι φέρουσες ικανότητες του εδάφους εμφανίζονται μειωμένες κυρίως σε δρόμους και κατοικίες.

**GROUND FISSURES AND SOIL SUBSIDENCE DUE TO WATER TABLE
DECLINE AT THE KARLA BASIN, LARISA PREFECTURE**

Mimides M.T., Aggelides S.M. and Chalkides N.H.

*Agricultural University of Athens
Departure of Development of Natural Resources and Agricultural Engineering*

SUMMARY

In the prefecture of Larisa there are approx. 112.000 hectares of irrigated cultivations which are considered from the most productive of the country, with a continuous reduction of the dry croplands in favour of the irrigated ones.

The continuous increasing demands for water in combination with the drought period of 1989 - 1993, resulted into a dramatic reduction of water reserves with the most characteristics phenomenon being that of a continuous table decline for more than 30 m.

The culmination of this groundwater non-rational usage has been the appearance of soil subsidence phenomena in all Parakarlia regions resulting in big ground fissures at the surface of agricultural and domestic areas, while parallel, the bearing capacities of the soil, appear reduced mainly along roads and houses.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίμνη Κάρλα Βοΐβηϊς, αποτελείσε ένα από τους σπουδαιότερους οικολογικά υγροβιότοπους της Θεσσαλίας, η οποία αποξηράνθηκε το 1962, με την κατασκευή σήραγγας διαμέσου της οποίας όλα τα νερά διοχετεύθηκαν στον Παγασητικό κόλπο. Η αποξήρανση αυτή αποτελούσε το πρώτο μέρος μιας σειράς έργων που είχαν σαν σκοπό την αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής, την απόκτηση γεωργικών εκτάσεων και την άρδυσή τους. Τα έργα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη και την τοπογραφική ιδιαιτερότητα της περιοχής, προβλέπουν σε τελική φάση τη δημιουργία ταμιευτήρα, εντός της λεκάνης απορροής της Κάρλας, με σκοπό την ανάσχεση των πλημμυρικών κυμάτων και την αποταμίευση αρδευτικού νερού. Ο ταμιευτήρας αυτός, δεν έχει κατασκευασθεί μέχρι σήμερα επειδή υπάρχουν αντιρρήσεις όσον αφορά την αντιμετώπιση της ρύπανσης του Παγασητικού, τη θέση κατασκευής του, την έκταση που θα καταλάβει και κατά πόσο εκτός από την αντιπλημμυρική προστασία θα χρησιμεύει και για την αποθήκευση νερού. Για να αντιμετωπισθεί το πολυσύνθετο αυτό πρόβλημα έγιναν μια σειρά από μελέτες σκοπός των οποίων ήταν η αναζήτηση λύσεων που θα καθιστούσαν τον ταμιευτήρα έργο ευρύτερα αποδεκτό. Μια πλήρη επισκόπηση των μελετών αυτών καθώς και η διερεύνηση των λύσεων που έχουν προταθεί για την αποκατάσταση του υγρότοπου έχει γίνει από το ΕΚΒΥ [1].

Η περιοχή της Κάρλας αποτελεί τεκτονικό βύθισμα που σχηματίστηκε τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους (Καλλέργης και Παπανικολάου [2]). Το βύθισμα αυτό πληρώθηκε με υλικά που μετέφερε ο Πηνειός και οι γύρω χειμάρροι. Το κεντρικό τμήμα, στη μεγαλύτερή του έκταση (Ι.Γ.Μ.Ε. [3]) αποτελείται από μεγάλου πάχους λεπτόζυγκες νεογενείς αποθέσεις ενώ στην περιμετρική ζώνη, επικρατούν μικρότερου πάχους στρώσεις τεταρτογενών αδρομερέστερων υλικών που προέρχονται από τους κώνους των χειμάρρων και τα κορήματα των κλιτύων (βλ. Σχήμα 1).

Η ευρύτερη περιοχή της Κάρλας σύμφωνα με την αναγνωριστική εδαφολογική μελέτη περιοχών Κάρλας και Παρακάρλων (Τζιώλας [4]), κατέχει έκταση 42.500 ha. Από αυτά, τα 34.500 ha είναι καλλιεργούμενες εκτάσεις που ανήκουν σε ιδιώτες, τα 2.000 ha είναι οικισμοί, ενώ τα υπόλοιπα 6.000 ha βρίσκονται σε μόνιμη κατάγλιση πριν από την αποξήρανση και ανήκουν στο δημόσιο. Από την τελευταία κατηγορία τα 4.000 ha έχουν δοθεί προσωρινά για καλλιέργεια ετήσιας παραγωγής, ενώ τα υπόλοιπα 2.000 ha κατακλύζονται προσωρινά. Στο Σχήμα 2 δίνεται ο εδαφικός χάρτης της περιοχής Κάρλας, ενώ στο Σχήμα 3, ο χάρτης των αλατούχων - αλκαλιωμένων εδαφών.

Σύμφωνα με την Άλφα - Ωμέγα και Νικολαΐδης [5] το μέσο ετήσιο ύψος βροχής της λεκάνης της Κάρλας, με μέσο απόλυτο υψόμετρο +210 m, ανέρχεται σε 553 mm. Ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για την περίοδο 1957 - 1976 προέκυψε ίσος με 0,07 με min 0,04 και max 0,15. Η τιμή αυτή είναι μικρότερη σε σύγκριση με άλλες λεκάνες της Θεσσαλίας και θα πρέπει να οφείλεται στο γεγονός ότι στη λεκάνη αυτή παρατηρείται η μικρότερη βροχόπτωση της Θεσσαλίας σε συνδυασμό όμως με τον υψηλό ρυθμό της εξατμισοδιαπνοής και την ύπαρξη καρστικών υδροπερατών πετρωμάτων.

Η σήραγγα της Κάρλας (βλ. Σχήμα 1) λόγω της μικρής παροχτετευτικής ικανότητας δεν μπορεί να απομαζεύει τελείως όλα τα πλημμυρικά νερά της ομώνυμης υδρολογικής λεκάνης, με αποτέλεσμα να κατακλύζεται ένα μέρος της. Οι πλημμύρες λαμβάνουν χώρα κατά μέσο όρο μία φορά ανά δύο έτη και ότι η μεγαλύτερη διάρκεια των κατακλίσεων εμφανίζεται την περίοδο Απριλίου - Μαΐου.

Τα αδιαπέρατα στρώματα, που εκτείνονται σ' ολόκληρη την πεδινή περιοχή, συντελούν ώστε να λαμβάνει χώρα ελάχιστη φυσική τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων. Η κύρια τροφοδο-

σία των υδροφόρων οριζόντων της Κάρλας και των Παρακάριων περιοχών γίνεται υπόγεια πλευρικά, είτε από τις κοίτες των ρευμάτων που διασχίζουν την περιοχή κυρίως του Πηνειού, είτε από τους ΝΔ και Δ ορεινούς όγκους που τις περιβάλλουν (Θάνος [6]). Αντίθετα σύμφωνα με τη Sogreah [7] δεν υφίσταται καμία υπόγεια τροφοδοσία από τα ορεινά συγκροτήματα της Α και ΒΑ πλευράς, τα οποία στραγγίζουν σταθερά και με μικρές ταχύτητες προς το Αιγαίο. Ο ολικός όγκος των υπόγειων νερών που εισρέουν εντός της κοιλάδας ανέρχεται σε $14 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$ (Sogreah [7]). Η περιορισμένη αυτή τροφοδοσία συνιστά ελεγχόμενη εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων της περιοχής. Για τις διευθύνσεις κίνησης των υπόγειων υδάτων της λεκάνης της Κάρλας βλέπε Σχήμα 4.

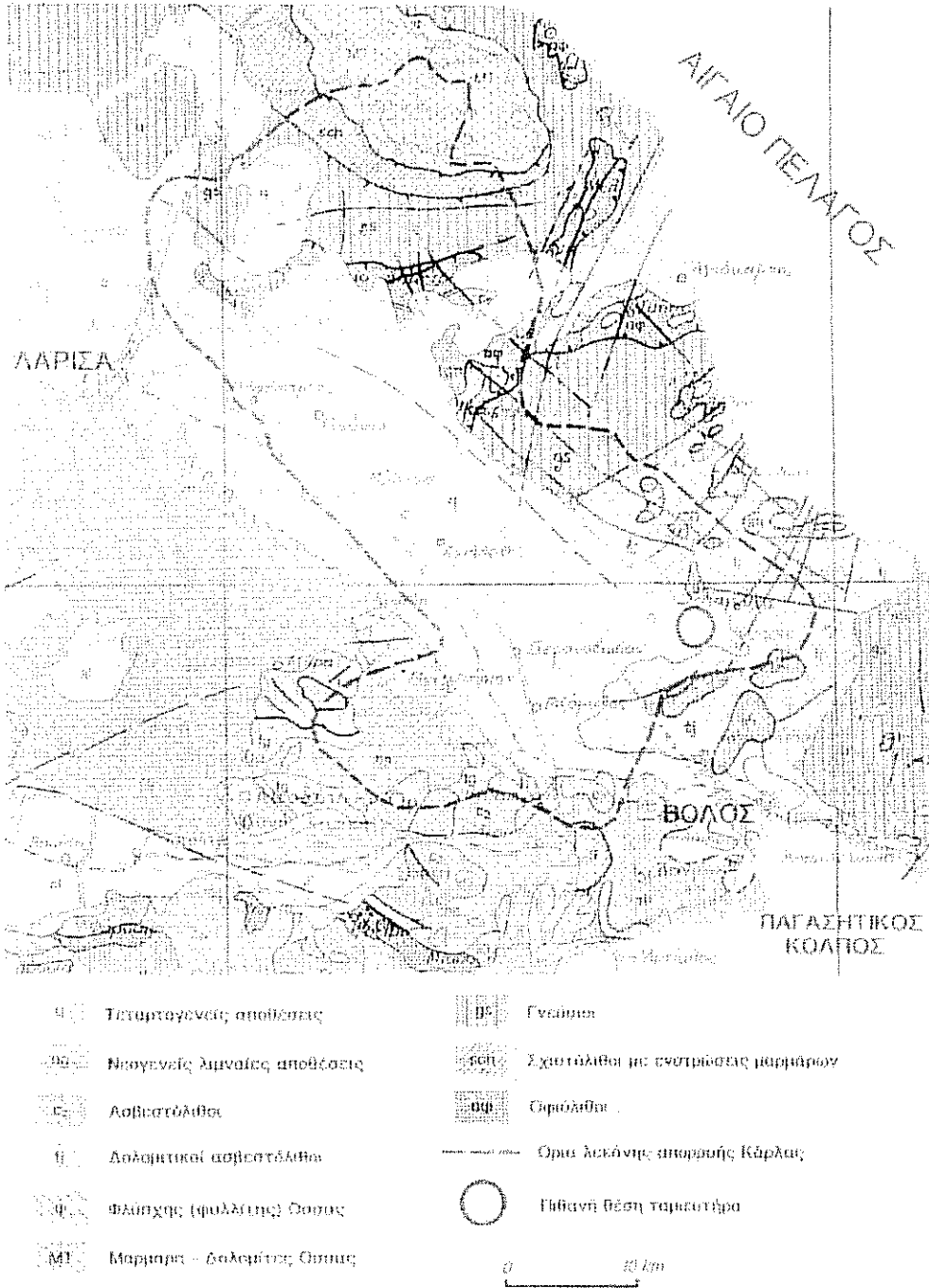
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Η καθίζηση της επιφάνειας του εδάφους σε πολλές περιοχές του κόσμου, έχει αποδοθεί σε αιτίες όπως : τεκτονικές κινήσεις, διαλυτοποιήσεις, συμπίεση ιζηματογενούς υλικού λόγω στατικών φορτίων, δονήσεις, ή αύξηση της πυκνότητας από ταπεινώση του υδροφόρου ορίζοντα και τέλος από μεταβολές στις πιέσεις φραγμάτων λόγω διαφυγών νερού. Οι γεωλογικές απαιτήσεις και οι απαραίτητες συνθήκες για την εμφάνιση καθίζησης είναι τόσο καλά προσαρμοσμένες στις αλλουβιακές λεκάνες με αποτέλεσμα το φαινόμενο να είναι καθολικό σε όλες σχεδόν τις αλλουβιακές λεκάνες παρά τις λιγοστές εξακριβωμένες περιπτώσεις. Ο κύριος λόγος γι' αυτό είναι η απουσία στενής παρακολούθησης τοπογραφικών σημείων αναφοράς με σκοπό τον έλεγχο κάθε μικρής μεταβολής του απόλυτου υψόμετρου της επιφάνειας του εδάφους.

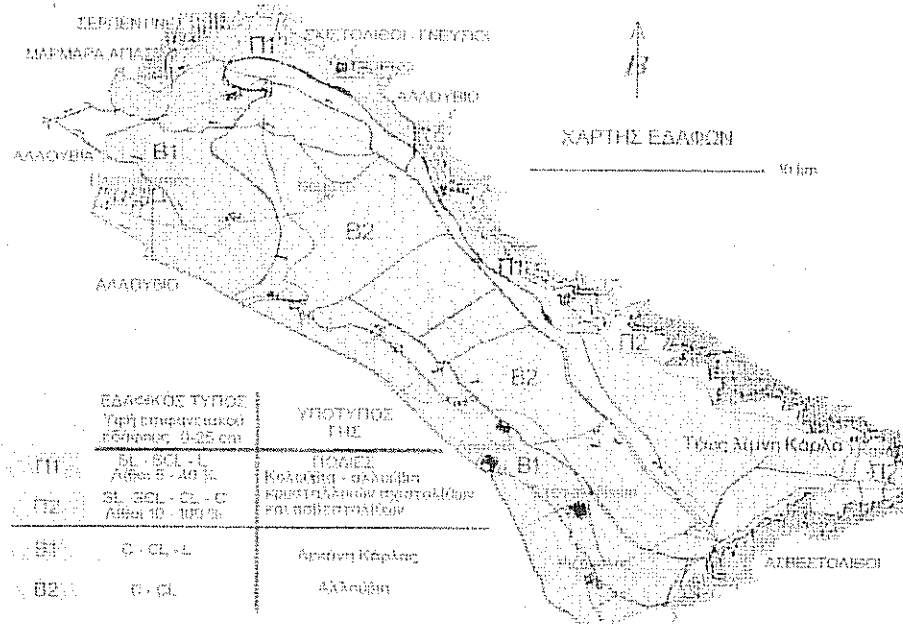
Σοβαρά προβλήματα μπορεί να προκύψουν από την καθίζηση της επιφάνειας του εδάφους. Η κανονική ανιούσα δύναμη της επιδερμικής τριβής που δρα πάνω στους πασσάλους ή πάνω στις σωλήνες των γεωτρήσεων μπορεί να αναστραφεί με αποτέλεσμα τέτοιου είδους κατασκευές να υποβάλλονται " βάθος παράσυρση " (down drag). Αυτό οδηγεί αναπόφευκτα σε επιφανειακές καταστροφές σημαντικών έργων όπως είναι αυτά των θεμελιώσεων ή των υδρογεωτρήσεων. Η κλίση του πυθμένα καναλιών μεταφοράς νερού μπορεί να μειωθεί, ή ακόμα και να αλλάξει φορά, με αποτέλεσμα να αναστρέφονται κανονικές ροές νερού. Οι ρωγμές σε κατασκευές μετόν αριμέ ή τούβλων είναι συνήθεις σε περιοχές όπου το φαινόμενο της καθίζησης είναι σε εξέλιξη. Τέλος η καθίζηση σε παραθαλάσσιες περιοχές επιρρεπής στις παλίρροιας.

Πολλές αλληλοσυσχετίσεις πάνω στο ρυθμό πτώσης της πιεζομετρικής επιφάνειας σε σχέση με το ρυθμό καθίζησης φανέρωσαν ένα πολύ καλό βαθμό γραμμικότητας. Για τη γραμμικότητα αυτή γίνεται αναφορά από τον Carrillo [8] για την πόλη του Μεξικού και από το Ινστιτούτο Πολιτικών Μηχανικών του Τόκιο (Tokyo Institute of Civil Engineering, [9]). Στο Σχήμα 5 φαίνεται καθαρά μια εύλογη γραμμική τάση μεταξύ της πτώσης της πιεζομετρικής επιφάνειας και της καθίζησης της πεδιάδας San Joaquín για την περίοδο από 1930 έως τα μέσα 1940 και ξανά με μία μικρή χρονική διακοπή μέχρι το τέλος του 1950. Από το διάγραμμα αυτό μπορεί να διαπιστωθεί ότι η καθίζηση της πεδιάδας San Joaquín στην πραγματικότητα φθίνει αμέσως με το έναυσμα ανύψωσης της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Μια παρόμοια γραμμικότητα παρατηρείται και μεταξύ του όγκου του νερού που έχει αντληθεί σε συνάρτηση με τον όγκο της προκύπτουσας καθίζησης για την περίοδο από 1945 έως 1970 (βλ. Σχήμα 6).

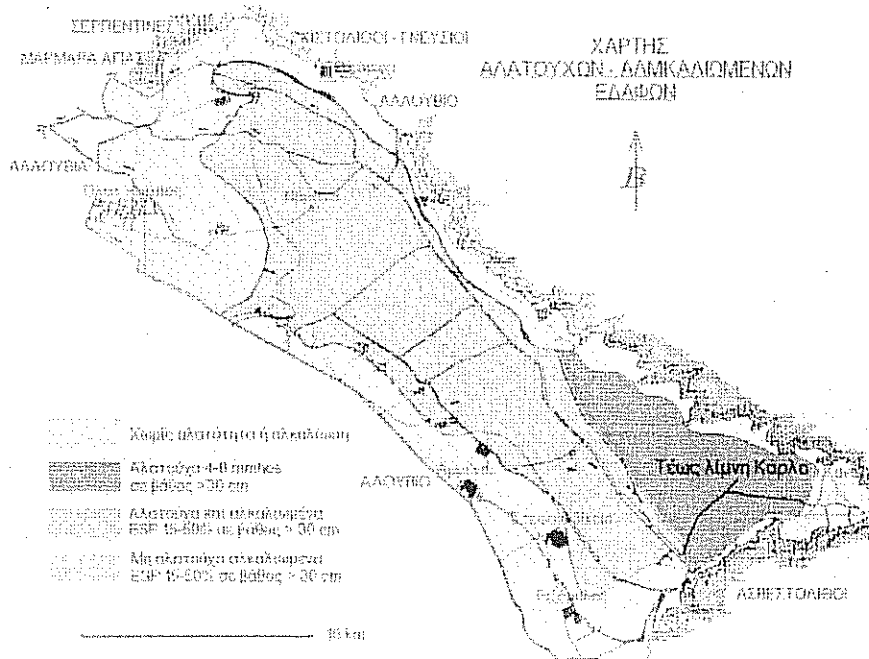
Για την παραπέρα έρευνα όσον αφορά τη γραμμικότητα του παραπάνω φαινομένου, πρέπει να γίνει αναφορά στον Πίνακα 1 και στο Σχήμα 7 που προήλθε απ' αυτόν (Domenico and Schwartz [11]).



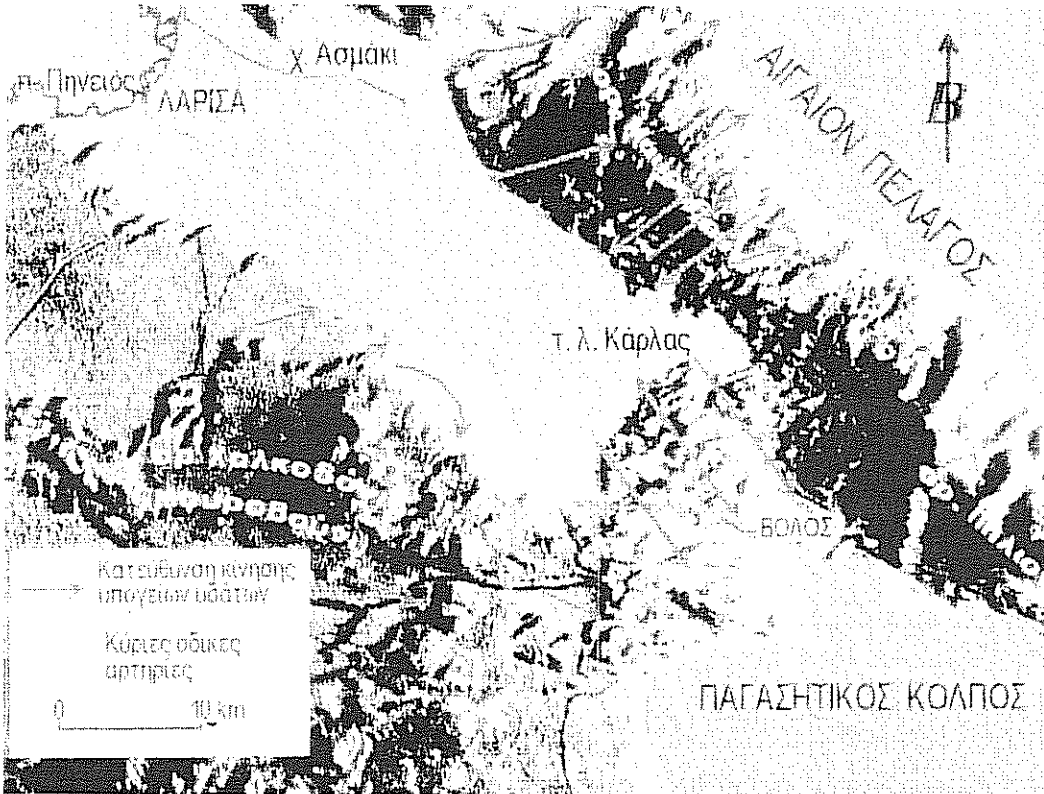
ΣΧΗΜΑ 1. Περιοχή μελέτης και χάρτης γεωλογικών σχηματισμών λεκάνης Κάρλαις και Παρακάλων (ΕΚΒΥ, [1]).



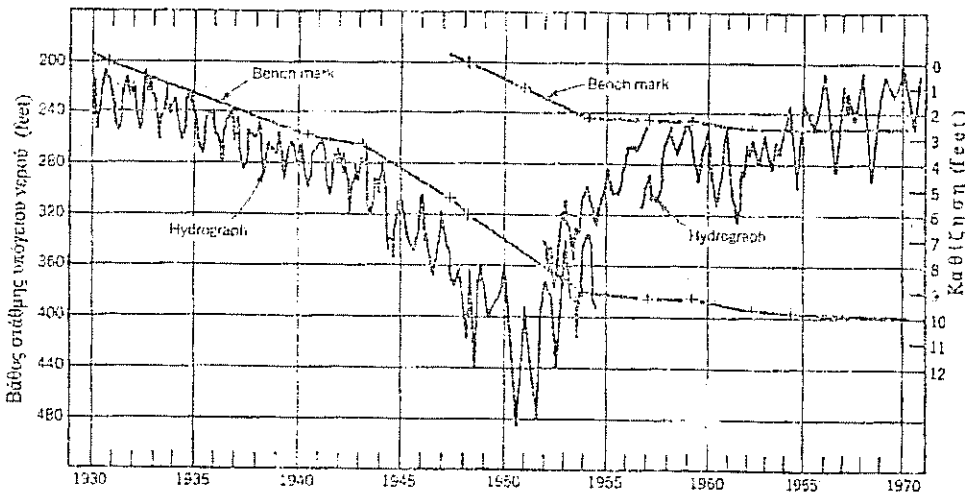
ΣΧΗΜΑ 2. Χάρτης εδαφών περιοχής Κάρλας (EKBY, [2]).



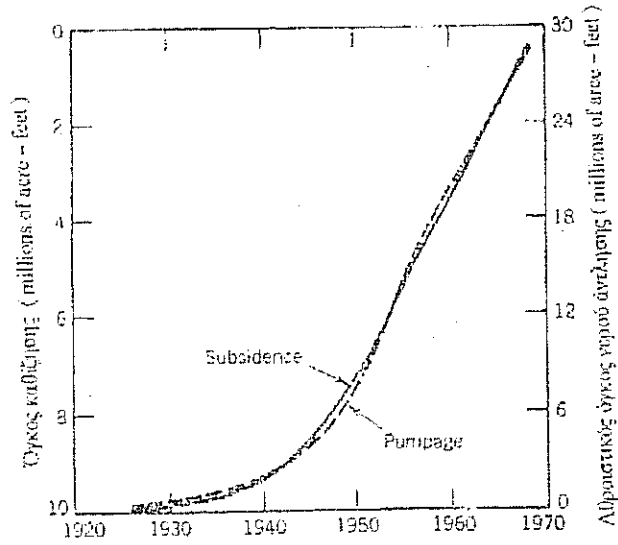
ΣΧΗΜΑ 3. Χάρτης αλατούχων - αλκαλιωμένων εδαφών περιοχής Κάρλας (EKBY, [1]).



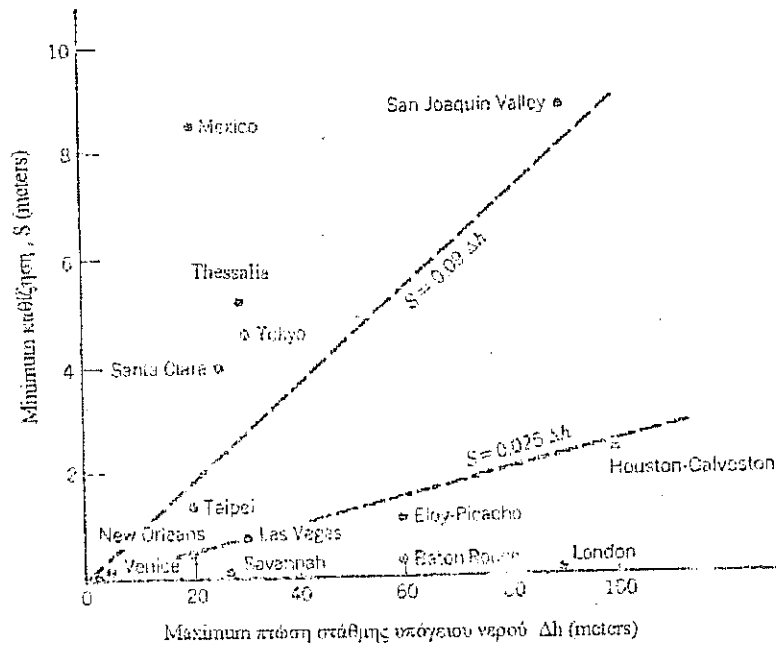
ΣΧΗΜΑ 4. Κίνηση των υπόγειων νερών της λεκάνης της Κάρλας (ΕΚΒΥ, [1]).



ΣΧΗΜΑ 5. Καθίζηση και πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας στη κοιλάδα San Joaquin (Poland et al., [10]).



ΣΧΗΜΑ 6. Όγκος της καθίζησης και αρθροστιασμός όγκος νερού άντλησης στην κοιλάδα San Joaquin (Poland et al. [10]).



ΣΧΗΜΑ 7. Σχέση μεταξύ μέγιστης καθίζησης και μέγιστης ταπείνωσης της στάθμης (Domenico και Schwartz, [11]).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Περιπτώσεις εδαφικών καθιζήσεων ανά την υφήλιο (Domenico και Schwartz, [11]).

Όνομα περιοχής	Καθίζηση		Πτώση στάθμης (m)	Χρονολογία
	Max (m)	Εμβαδό περιοχής (km ²)		
San Joaquin Valley, CA, USA	8,8	13343	90	1972
Santa Clara Valley, CA, USA	4,0	643	25	1972
Huston - Galveston, TX, USA	2,3	12058	100	1974
Eley - Picacho, AZ, USA	1,1	-	30-60	1972
Las Vegas, NV, USA	0,75	512	30	1972
Baton Rouge, LA, USA	0,3	640	60	1970
New Orleans, LA, USA	0,5	-	20	1968
Savannah, GA, USA	0,1	49	27	1963
Tokyo Japan,	4,6	197	30	1972
Nagoya Japan	1,5	97	-	1976
Mexico city, Mexico	8,5	148	20+	1964
Taipei, Taiwan	1,35	121	20	1969
London, UK	0,1	-	90+	1942
Venice, Italy	0,14	8	5	1974
Karla, Thessalia, Greece	0,5	0,45	30	1989-1995

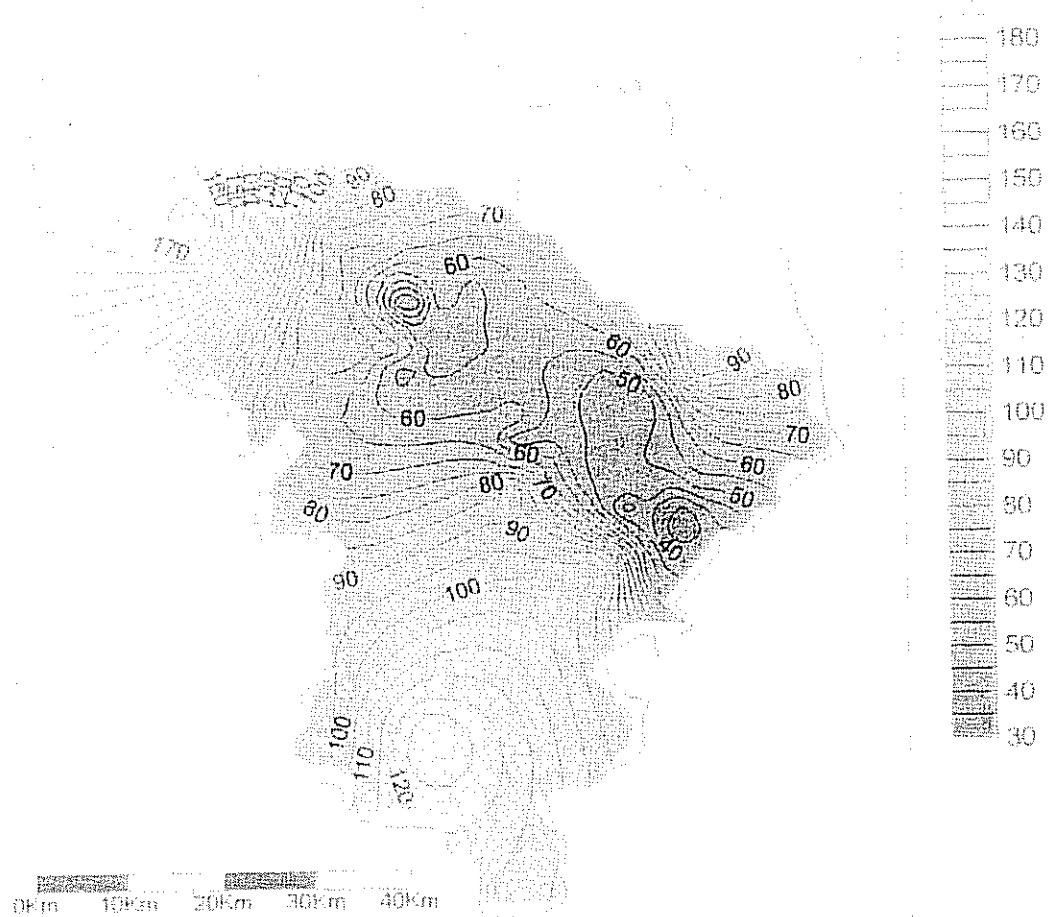
Στα Σχήματα 8 και 9 παρουσιάζονται οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες του Ν. Λάρισσας για τις περιόδους Μαΐου 1987 και Αύγουστος 1984 αντίστοιχα. Οι μεγαλύτερες πτώσεις παρατηρούνται ΝΑ του νομού όπου και συναντάται και η λεκάνη της Κάρλας. Το φαινόμενο γίνεται πάρα πολύ ανησυχητικό με πτώσεις περί τα 30 m στο Ριζόμυλο, Στεφανοβίκειο, Κυψέλη, Μύρα, Κάστρο και Πλατύκαμπο (Χαλκίδης, [12] και Kaplanides και Fountoulis, [13]).

Ειδικότερα στο Ριζόμυλο περί τα τέλη Ιουλίου 1993 άρχισε να εμφανίζεται στα ΒΑ οικιστικά όριά του εδαφικό ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ. Οι διαστάσεις του ρήγματος από μέρα σε μέρα μεγάλωναν έτσι ώστε στις 7 Αυγούστου είχε μήκος 300 m περίπου και το μέγιστο πλάτος 4 cm. Οριζόντια μετατόπιση των εκατέρωθεν τμημάτων του ρήγματος δεν παρατηρήθηκε.

Το εδαφικό ρήγμα δημιούργησε ρηγματώσεις στην τοιχοποιία και το δάπεδο αρκετών νεόκτιστων και παλαιότερης κατασκευής σπιτιών, γεγονός που προξένησε μεγάλη ανησυχία στους κατοίκους.

Νότια της κοινότητας του Στεφανοβικείου παρουσιάστηκε παρόμοιο ρήγμα με αυτό του Ριζόμυλου, παρουσιάστηκε τη νύχτα της 28ης Σεπτεμβρίου 1989 σε απόσταση 600m από τα τελευταία σπίτια. Το ρήγμα είχε διεύθυνση ΒΑ - ΝΔ, μήκος 600 m και μέγιστο πλάτος 40 cm. Το ορατό βάθος του ήταν 3 - 3,5 m (βλέπε Φωτ. 1).

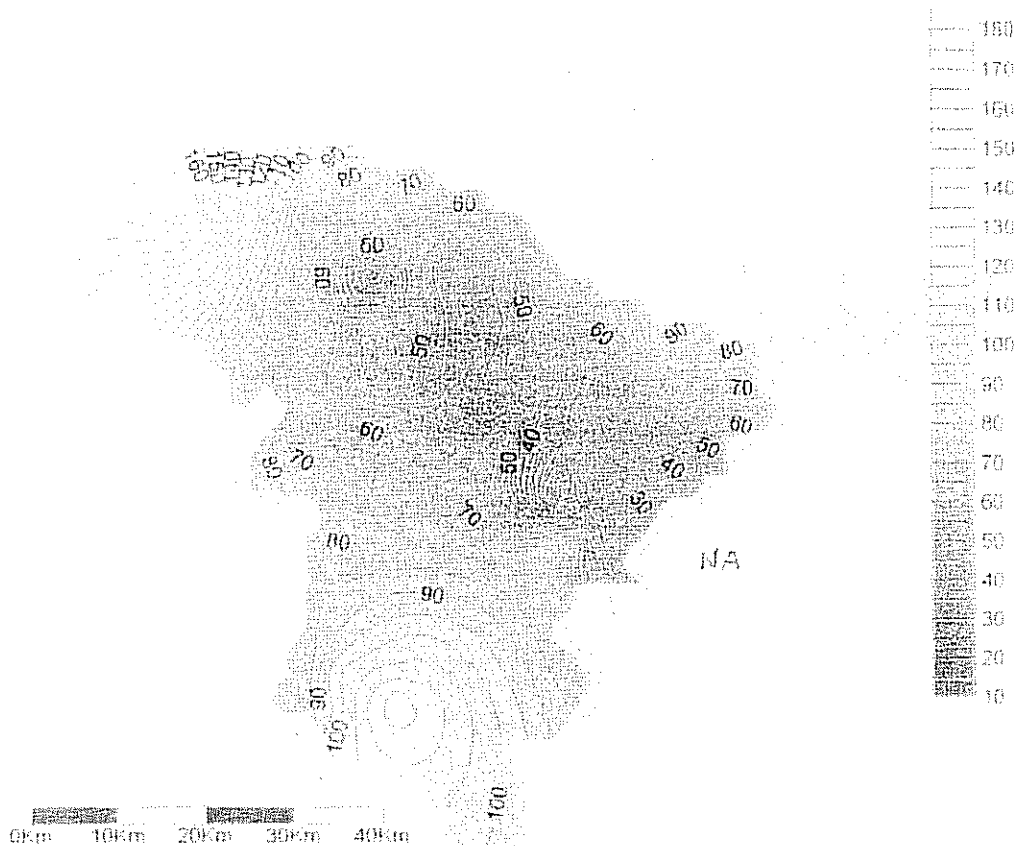
Στον οικισμό Νίκη παρατηρήθηκε το καλοκαίρι του 1993, ρωγμή που έφτανε σε μήκος τα 400 m, διέσχισε την κεντρική πλατεία, το κοινοτικό κατάστημα και μερικές κατοικίες. Η διεύθυνσή της είναι Β80°Δ και το άνοιγμα 5 cm περίπου (βλέπε Φωτ. 2).



ΣΧΗΜΑ 8. Ισοπιεζομετρικές καμπύλες του Νομού Λάρισας για τον Αύγουστο του 1987 (Χαλκίδης [12]).

Στη Μέλισσα το καλοκαίρι του 1989 παρατηρήθηκε στα νοτιοδυτικά της ρωγμή διεύθυνσης Α - Δ και μήκους 600 m περίπου η οποία προσέβαλε τη σιδηροδρομική γραμμή κοντά στο σταθμό του χωριού.

Τέλος στο Κάστρο, την 1η Αυγούστου 1990 έκανε την εμφάνισή του θρήγμα μήκους 400 m και μέγιστου πλάτους 2 cm.



ΣΧΗΜΑ 9 . Ισοπεξομετρικές καμπύλες του Νομού Λάρισσας για τον Αύγουστο του 1994 (Χαλκίδης [12]).

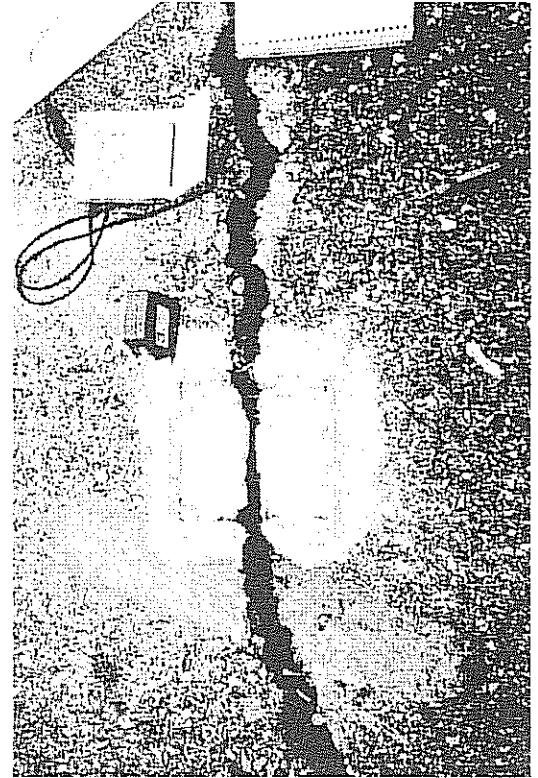
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Άλλο ένα φαινόμενο καθίζησης του εδάφους προστέθηκε σε αυτό των ήδη καταγραφέντων ανά την υφήλιο και οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μη ορθολογική διαχείριση των υπόγειων υδάτων που προορίζονται για άρδευση σε πεδιάδα με γεωργικές δραστηριότητες. Αυτή τη φορά παρατηρήθηκε στα εδάφη της ΝΑ Θεσσαλίας που αφορούν στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κάρλας που αποξηράνθηκε και που εντοπίζεται στα σύνορα των νομών Λάρισσας και Μαγνησίας.

Σύμφωνα με το Σχήμα 4, κατατάσσεται στη κατηγορία $S = 0,09 \Delta h$, όπου S : η καθίζηση σε m και Δh : η πτώση στάθμης σε m, και απαντάται σε περιοχές με ως επί το πλείστον σε αλλουβιακές πεδιάδες με ημίξηρα κλίματα.



Φωτ. 1



Φωτ. 2

(Φωτογραφίες από Καπλανίτη)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων Υγροτόπων. Επισκόπηση μελετών και διερεύνηση των προταθεισών λύσεων λύσεων αποκατάστασης υγροτόπου της τέως λίμνης Κάρλας. Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας - ΕΚΒΥ, Ζαλίδης Γ.Χ., Δημητριάδης Ξ.Π. and Χατζηγιάννάκης Σ.Λ. Συντονιστές έκδοσης, Ιούλιος, 1995.
2. Καλλέργης Γ.Κ. και Παπανικολάου Ν. Γεωλογική και γεωφυσική έρευνα επί της στεγανότητας της λεκάνης Κάρλας. Υδρολογικές και υδρογεωλογικές έρευναι, ΙΓΜΕ, Αθήνα, 1979.
3. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλ. 1: 500.000. ΙΓΜΕ, 1983.
4. Τζιώλας Π.Γ. Αναγνωριστική εδαφολογική μελέτη περιοχών Κάρλας και Παρακαρλίων. Γεράκης Π.Α. (συντ. έκδοσης). Προστασία και διαχείριση των ελληνικών υγροτόπων. Πρακτικά Συνάντησης Εργασίας Θεσσαλονίκης, 17 - 21 Απριλίου, 1989, σελ. 503 - 514. WWF, Εργαστήριο Οικολογίας Τμήμα Γεωπονίας ΑΠΘ και IUCN, Θεσσαλονίκη, 1990.
5. Άλφα - Ωμέγα και Νικολαΐδης. Προμελέτη ταμειυτήρα Κάρλας και συναφών έργων. Υπουργείο Δημοσίων Έργων, 1982

6. Θάνος Γ. Η κατασκευή ταμιευτήρα 42.000 στρ. στην τέως λίμνη Κάρλα. Η θετική επίδραση για την ποσοτική και ποιοτική βελτίωση των υπόγειων νερών στην παρακάθλια περιοχή. Συνάντηση για την αναδημιουργία της τ. λίμνης Κάρλας. Βόλος, 1993.
7. Sogreah. Μελέτη αναπτύξεως υπόγειων υδάτων Θεσσαλίας και συναφών έργων. Τελική Έκθεση. Υπ. Γεωργίας, 1974.
8. Carrillo N. Influence of artesian wells in the sinking of Mexico city. Proc. 2nd International conf., soil Mech. And Foundation Eng., Vol. 7, pp. 156 - 159. 1948.
9. Tokyo Inst. Of Civil Eng. Subsidence as of 1974. Tokyo Metrop. Govt. Ann. Report (in Japanese)
10. Poland and others. Land subsidence in the San Joaquin valley, California, as of 1972. U.S. Geol. Survey Prof. Papers, 437, 1975.
11. Domenico P.A. και Schwartz F.W. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley and Sons, 824 p., 1990.
12. Χαλζίδης Η. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την πτώση στάθμης των υπόγειων υδάτων στο Ν. Λάρισσας με έμφαση στην περιοχή της τέως λίμνης Κάρλας. Πτυχιακή Μελέτη, ΓΠΑ, Τμ. Εγγείων Βελτιώσεων και Γεωργικής Μηχανικής. Αθήνα, 1991.
13. Kaplanides A. and Fountoulis D. Subsidence phenomena and ground fissures in Larissa, Karla basin, Greece : Their results in urban and rural environment. Engineering Geology and the Environment, Marinou, Koukis, Tsiambaos and (eds), 1997 Balkema, Rotterdam.

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΠΙΕΡΙΑΣ

Σ. Καβαλιεράτου, Χ. Μπαμπατζιμόπουλου, Γ. Τερζίδη

*Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων
Τμήμα Γεωπονίας, ΑΠΘ*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μαθηματικό μοντέλο Πιερίας είναι ένα διδιάστατο μοντέλο που έχει κατασκευαστεί στο Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων με χρηματοδότηση του Υπουργείου Γεωργίας και χρησιμοποιείται στην ορθολογική αξιοποίηση του υπόγειου υδάτινου δυναμικού της πεδιάδας Πιερίας. Το μοντέλο ρυθμίστηκε στο παρελθόν με τη μέθοδο της δοκιμής και σφάλματος με μετρήσεις της περιόδου 1/3/85 ως 31/10/86 και αναρρυθμίστηκε με μετρήσεις της περιόδου 1/9/92 ως 31/8/94. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διαδικασία αυτόματης ρύθμισης του μοντέλου με τη μέθοδο Rosenbrock με περιορισμούς (constraints). Οι παράμετροι που ρυθμίζονται είναι η υδραυλική αγωγιμότητα κατά τη x και y διεύθυνση του ελεύθερου τμήματος του υδροφορέα, η διοχετευτικότητα κατά τη x και y διεύθυνση του υπό πίεση υδροφορέα, ο συντελεστής αποθήκευσης και οι πλευρικές εισροές από τα Πιέρια και τον Όλυμπο. Για τη ρύθμιση χρησιμοποιούνται μετρήσεις της πιεζομετρικής στάθμης σε 44 υδρογεωτρήσεις κατά το διάστημα από το Σεπτέμβριο 1992 μέχρι τον Αύγουστο 1994. Τα αποτελέσματα της ρύθμισης αυτής μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι πολύ ικανοποιητικά.

AUTOMATIC CALIBRATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PIERIA AQUIFER

S. Kavalieratou, C. Babajimopoulos, G. Terzides

*Laboratory of General and Agricultural Hydraulics and Land Reclamation
Aristotle University of Thessaloniki*

ABSTRACT

The mathematical model of the Pieria aquifer is a two dimensional model, which has been developed in the Laboratory of General and Agricultural Hydraulics and Land Reclamation of the Aristotle University, under the funding of the Ministry of Agriculture. The model has been calibrated in the past by the trial and error method with monthly piezometric head data obtained from 1/3/85 until 31/10/86. In this work an automatic calibration procedure utilizing the method of Rosenbrock with constraints is used. The parameters which are calibrated are: the hydraulic conductivity of the phreatic aquifer in x and y direction, the transmissibility of the closed aquifer in x and y direction, the storage coefficient and the inflows from Olympus and Pieria. Piezometric head measurements in 44 boreholes obtained from September 1992 until August 1994 are used. The results of the calibration procedure are considered very satisfactory.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση του νερού σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα υδάτινα αποθέματα δεν είναι ανεξάντλητα, επιβάλλουν τη σωστή μελέτη και προγραμματισμό στη διαχείριση των υδάτινων πόρων, στην οποία το υπόγειο νερό έχει πρωτεύοντα ρόλο. Για την ορθολογική αξιοποίηση του υπόγειου υδάτινου δυναμικού της πεδιάδας Πιερίας κατασκευάστηκε ένα διδιάστατο μαθηματικό μοντέλο πεπερασμένων διαφορών, το οποίο μελετά τη μη μόνιμη κίνηση του υπόγειου νερού της πεδιάδας Πιερίας κάτω από διάφορες συνθήκες φόρτισης - εκφόρτισης του υδροφορέα της [1]. Το μοντέλο αυτό ρυθμίστηκε με τη μέθοδο δοκιμής - σφάλματος, με βάση μηνιαίες μετρήσεις πιεζομετρικής στάθμης σε υδρογεωτρήσεις της περιοχής μελέτης για την περίοδο 1/3/84 - 31/10/85. Η μέθοδος αυτή, αν και δίνει πολύ καλά αποτελέσματα όταν χρησιμοποιείται σωστά, είναι όμως χρονοβόρα και ιδιαίτερα επίπονη. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια διαδικασία αυτόματης ρύθμισης του μοντέλου με μετρήσεις για την περίοδο 1/9/92 - 31/8/94. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι του Rosenbrock με περιορισμούς και τα αποτελέσματα κρίνονται πολύ ικανοποιητικά.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Θέση

Η περιοχή μελέτης, συνολικής επιφάνειας 206.780 στρεμμάτων, καλύπτει το σύνολο σχεδόν της πεδιάδας Πιερίας και πιο συγκεκριμένα:

1. Το μεγαλύτερο τμήμα των καλλιεργούμενων εκτάσεων των πρώην Δήμων Λιτόχωρου και Κατερίνης και των π. Κοινοτήτων Βροντούς, Αγ. Σπυρίδωνα, Κονταριώτισσας, Νέας Εφέςου και Γανόχωρας.
2. Το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων των π. Κοινοτήτων Δίου, Καρίτσας, Περίστασης, Παραλίας και Καλλιθέας.

Προς τα ΝΔ της περιοχής εκτείνεται ο Όλυμπος, Β και ΒΔ εκτείνονται οι λοφώδεις νεογενείς σχηματισμοί που είναι προέκταση των Πιερίων και Α βρίσκεται ο Θερμαϊκός κόλπος.

Γεωλογία

Η ευρύτερη περιοχή που επηρεάζει τη συμπεριφορά της πεδιάδας Πιερίας, μπορεί να χωριστεί, σύμφωνα με την πετρολογική της σύσταση [1,2], σε τρεις κατηγορίες.

Η πρώτη περιλαμβάνει τους σχηματισμούς της ορεινής περιοχής Ολύμπου - Πιερίων με βασικά πετρώματα μάγμαρα, γνεύσιους, σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους και οφειόλιθους.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις τριτογενείς αποθέσεις, που είναι οι μαργαϊκές αποθέσεις μεταξύ Πιερίων, Ξηρόλακκα και πεδιάδας Κατερίνης, και το κροκαλοπαγές του Μοσχοπόταμου, μέσα στο οποίο διακρίνονται οριζοντες χονδροκόκκης άμμου και ψηφίδων.

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τους νεότερους σχηματισμούς και συγκεκριμένα:

- α. το κροκαλοπαγές του Ολύμπου,
- β. τις αναβαθμίδες των κοιλάδων του Αίσονα και του Μοσχοπόταμου καθώς και της παραλίας Λιτόχωρου - Αγ. Σπυρίδωνα,
- γ. τις νεότερες αποθέσεις πάνω στο κροκαλοπαγές του Ολύμπου και
- δ. τις αργιλομαργαϊκές αποθέσεις της πεδιάδας Κατερίνης.

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις της πεδιάδας περιέχουν οριζοντες με άμμο, ψηφίδες και κροκάλες που αποτελούν σημαντικούς υπό πίεση υδροφορείς, το πάχος των οποίων ποικίλλει από θέ-

ση σε θέση. Οι παραπάνω σχηματισμοί διακόπτονται από αργιλικές παρεμβολές, βρίσκονται όμως μεταξύ τους σε πλευρική επαφή, πράγμα που επιτρέπει να δεχτούμε ότι αποτελούν ενιαίο υδροφόρο σύστημα.

Δομή της λεκάνης

Η συγκεκριμένη λεκάνη της πεδιάδας Περίας, που αποτελεί την περιοχή μελέτης του μοντέλου, καθορίζεται από το χώρο μεταξύ Ολύμπου, Πιερίων, λοφώδους περιοχής και ακτής. Διαχωρίζεται εσωτερικά σε βόρειο και νότιο τμήμα από τη γραμμή λοφοσειράς Λόφου - Ν.Εφέσου - κοίτης Αίσωνα. Στο νότιο τμήμα έχουμε σε μεγάλο πάχος το αδρομερές ασβεστοανθρακικό υλικό με παρεμβολές αργιλομαργαϊκών ενστρώσεων. Αντίθετα, το υλικό στο βόρειο τμήμα είναι λεπτόκοκκο και αποτελείται από εναλλαγές αμμωδών και αργιλομαργαϊκών στρωμάτων.

Ο εσωτερικός διαχωρισμός της λεκάνης σε δύο τμήματα δεν είναι φανερός στην επιφάνεια γιατί η αργιλοϊλυώδης - αργιλομαργαϊκή επιζάλυψη της πεδινής περιοχής καλύπτει ολόκληρο το βόρειο τμήμα και σημαντικό μέρος του νότιου τμήματος (υπό πίεση υδροφορέας). Η νότια και νοτιοδυτική περιοχή του νότιου τμήματος αποτελεί τον ελεύθερο υδροφορέα, με όριο την τάφρο Λιτόχωρου, τη ζώνη πηγών Δίου - Καρίτσας, τη Βροντού και μέχρι την Κονταρωτίτσα. Ο ελεύθερος υδροφορέας επικοινωνεί με τον υπό πίεση υδροφορέα και εκφορτίζεται κατά ένα μέρος από τις πηγές Δίου - Καρίτσας.

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΠΙΕΡΙΑΣ

Για την προσομοίωση της μη μόνιμης κίνησης του υπόγειου νερού στους δύο υδροφορείς της περιοχής μελέτης, το μαθηματικό μοντέλο στηρίζεται στις ακόλουθες εξισώσεις [1]:

α) Κλειστός υδροφορέας:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q'(x, y, t) - S_s x, y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

β) Ελεύθερος υδροφορέας:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x H \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y H \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q'(x, y, t) = S_v(x, y) \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

όπου:

T_x, T_y = διαγρετευτικότητα κατά τη x- και y- διεύθυνση αντίστοιχα (L²/T),

h = πιεζομετρικό φορτίο (L),

$S(x, y)$ = συντελεστής εναποθήκευσης (αδιάστατος),

K_x, K_y = συντελεστές υδραυλικής αγωγιμότητας κατά τη x- και y- διεύθυνση αντίστοιχα (L/T),

H = ύψος ελεύθερης υδάτινης στάθμης από κάποιο οριζόντιο επίπεδο αναφοράς,

$S_u(x, y)$ = ειδική σε νερό απόδοση του υδροφορέα,

$q'(x, y, t)$ = διαφορά φόρτισης και εκφόρτισης του υδροφορέα.

Οι εξισώσεις (1) και (2) επιλύονται με την πεπλεγμένη μέθοδο εναλλασσομένων κατευθύνσεων (A.D.I.) Το δίκτυο υπολογισμών που χρησιμοποιείται φαίνεται στο Σχήμα 1.

Επιλέχθηκαν ίσες αποστάσεις κόμβων κατά τη x- και y- διεύθυνση ($\Delta x = \Delta y = 700$ m). Το χωρικό βήμα επιλέχθηκε ίσο με $\Delta t = 1$ ημέρα. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται επίσης και η διαχωριστική γραμμή μεταξύ του ελεύθερου και του υπό πίεση υδροφορέα, καθώς και οι οριακές συνθήκες, οι οποίες είναι: α) αγνωστό φορτίο, β) αδιαπέρατο όριο, γ) γνωστή εισροή δ) μηδενική ροή.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

Η μέθοδος που ακολουθείται για την αυτόματη ρύθμιση του μοντέλου αποτελεί μια τροποποίηση της αρχικής μεθόδου, που προτάθηκε από τον Rosenbrock, με την προσθήκη άνω και κάτω ορίων για τις προς προσδιορισμό παραμέτρους [3,4].

Το πρόβλημα που λύνεται συνίσταται στην ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης F, η οποία γράφεται:

$$F = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{24} \left(\sum_{k=1}^{N_n} \left[(h_k^n)_m - (h_k^n)_c \right]^2 \right)}{\sum_{n=1}^{24} N_n}} \quad (3)$$

όπου $(h_k)_m$ και $(h_k)_c$ είναι αντίστοιχα η μετρημένη και υπολογισμένη πιεζομετρική στάθμη στο υπ' αριθμόν k πιεζόμετρο τον n-οστό μήνα και N_n είναι το πλήθος των μετρήσεων (πιεζομέτρων) στο n-οστό μήνα.

Οι τιμές που παίρνει η αντικειμενική συνάρτηση F εξαρτώνται από τις τιμές των υδρογεωλογικών παραμέτρων P_1, P_2, \dots, P_N , και η ελαχιστοποίηση της $F(P_1, P_2, \dots, P_N)$ γίνεται μέσα από μία διαδικασία αναζήτησης κατά την οποία τίθενται ανώτερα και κατώτερα όρια στις προς προσδιορισμό παραμέτρους. Οι υδρογεωλογικές παράμετροι πρέπει να πληρούν τους περιορισμούς:

$$G_M \leq P_M \leq H_M, \quad M = 1, 2, \dots, N$$

όπου G_M και H_M είναι σταθερές που αποτελούν αντίστοιχα τα κάτω και άνω όρια των παραμέτρων.

Η μέθοδος απαιτεί κάποιες αρχικές τιμές των παραμέτρων οι οποίες ικανοποιούν τους περιορισμούς και δεν κείνται στις οριακές ζώνες, οι οποίες ορίζονται ως εξής:

$$\text{Κατώτερη ζώνη: } G_M \leq P_M \leq (G_M + (H_M - G_M) * 10^{-4})$$

$$\text{Ανώτερη ζώνη: } H_M \geq P_M \geq (H_M - (H_M - G_M) * 10^{-4}), \quad M = 1, 2, \dots, N$$

Οι υπολογισμοί της αναζήτησης γίνονται με τη μεταβολή των ανεξάρτητων μεταβλητών (υδρογεωλογικών παραμέτρων) μίας - μίας κατά προκαθορισμένα βήματα και εν συνεχεία υπολογισμός της αντικειμενικής συνάρτησης. Αν κατά την αναζήτηση προκύψει είσοδος σε μία από τις οριακές ζώνες, η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης τροποποιείται, έτσι ώστε να αποφεύγονται ασυνέχειες στην περιοχί των ορίων.

Η διαδικασία αναζήτησης τερματίζεται όταν ικανοποιούνται τα προκαθορισμένα κριτήρια σύγκλισης.

Η περιοχή ροής χωρίζεται σε 15 ζώνες (5 για τον ελεύθερο και 10 για τον υπό πίεση υδροφορέα), σε κάθε μία από τις οποίες οι φυσικές παράμετροι του υδροφορέα αντιπροσωπεύονται από μία σταθερή τιμή. Οι παράμετροι που μπορούν να συμμετέχουν στη βελτιστοποίηση είναι: η υδραυλική αγωγιμότητα του ελεύθερου υδροφορέα στη x- και y- διεύθυνση, η διοχετευτικότητα του κλειστού υδροφορέα στη x- και y- διεύθυνση, η αποθηκευτικότητα των υδροφορέων και οι ετήσιες πλευρικές εισροές από Όλυμπο και Πιέρια. Συνολικά, προσδιορίζεται η τιμή σαράντα (40) παραμέτρων [4].

Για τη ρύθμιση του μαθηματικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν 24 μηνιαίες μετρήσεις της πιεζομετρικής στάθμης που έγιναν σε 44 υδρογεωτρήσεις της περιοχής μελέτης από το Σεπτέμβριο 1992 ως τον Αύγουστο 1994 [5].

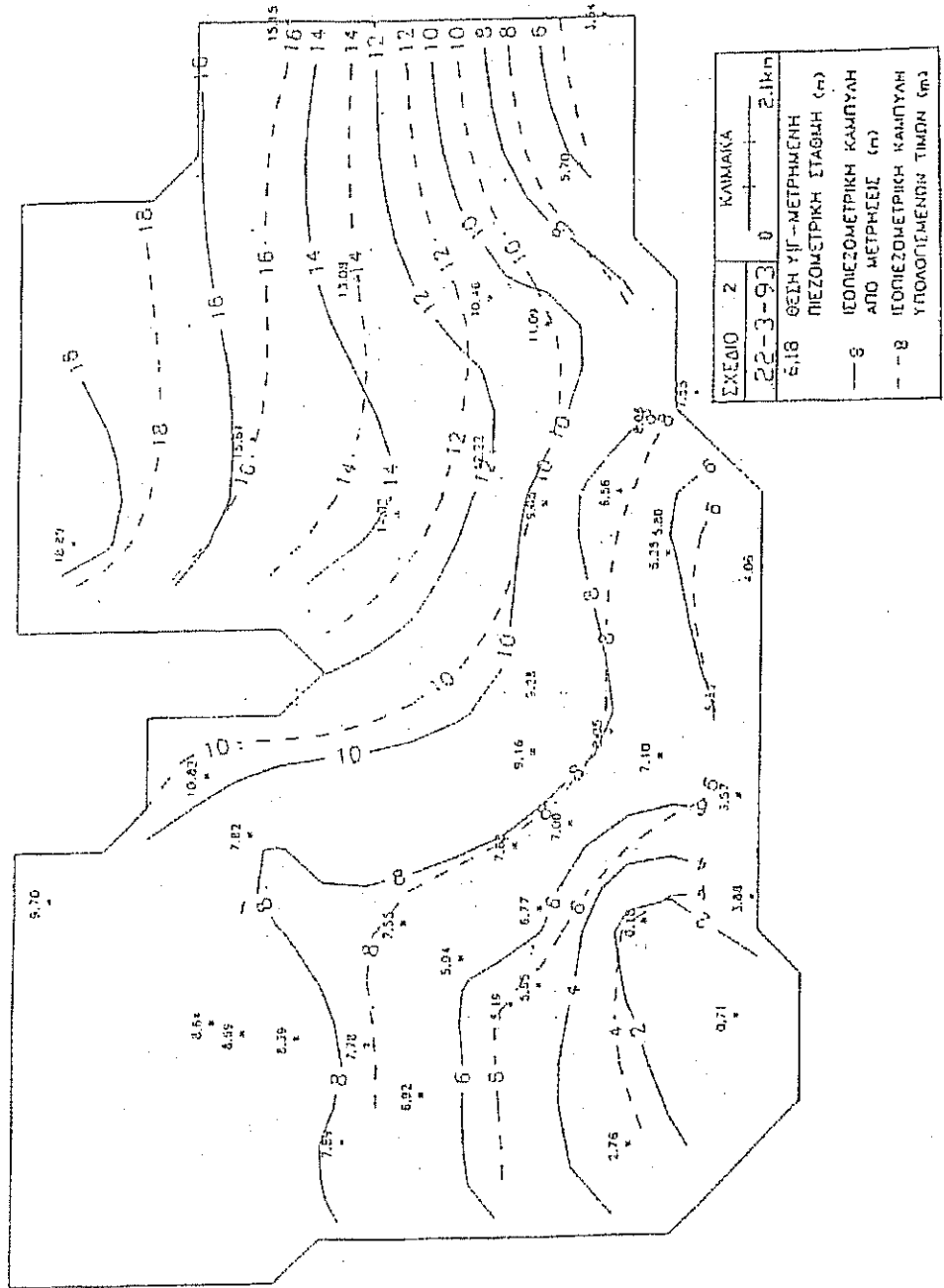
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

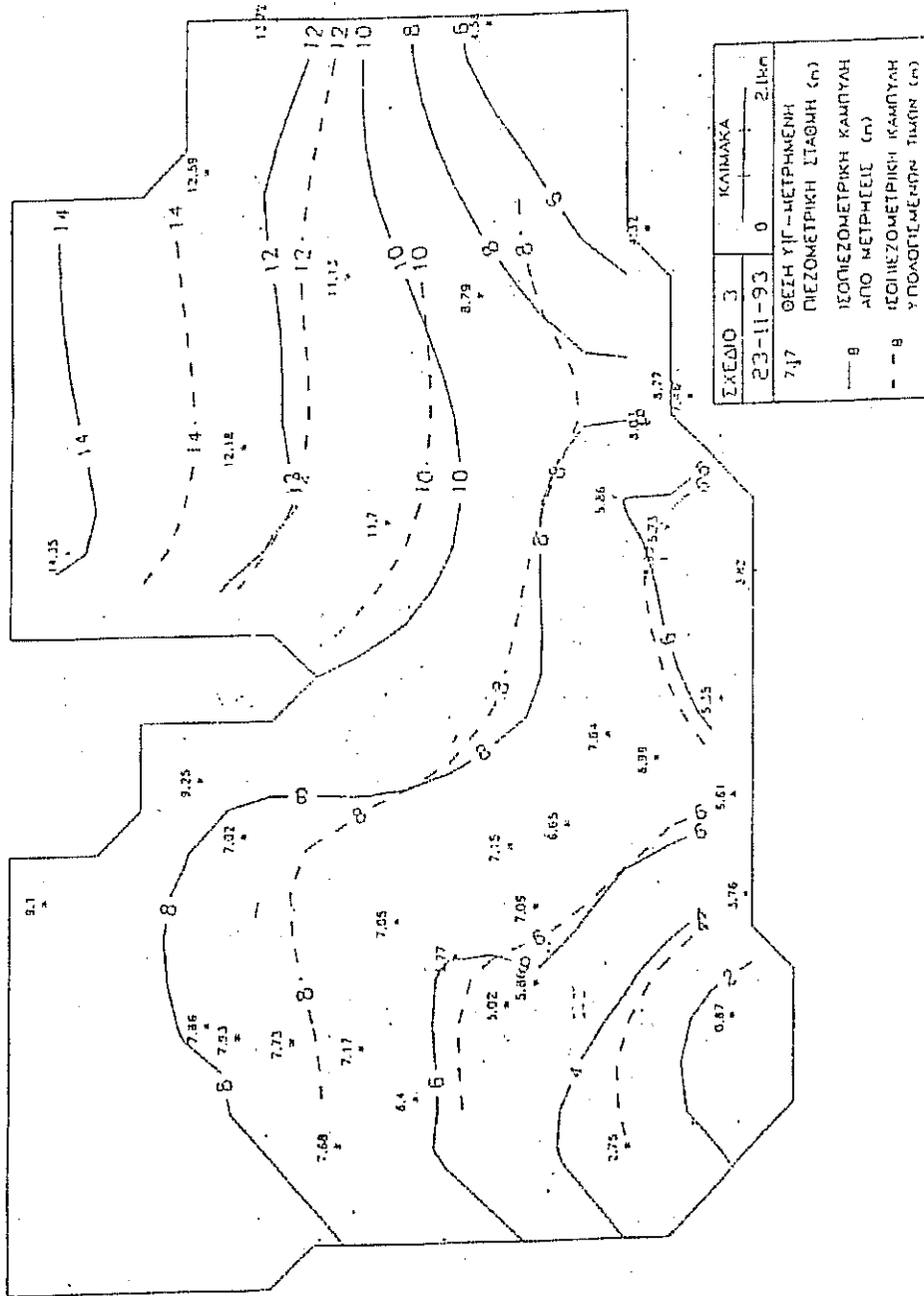
Στα Σχήματα 2 και 3 φαίνονται οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες όπως έχουν μετρηθεί και υπολογιστεί από το μοντέλο στις ημερομηνίες 25/3/93 και 23/11/93. Για τη λήψη των αποτελεσμάτων αυτών η επαναληπτική διαδικασία τερματίζεται όταν η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών της αντικειμενικής συνάρτησης είναι μικρότερη από το κριτήριο σύγκλισης, το οποίο για την εφαρμογή αυτή έχει τεθεί ίσο με 10⁻⁹. Σύγκλιση επιτεύχθηκε μετά από 4058 επαναλήψεις. Η αρχική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης ήταν 2,044 και η τελική 1,185. Ο ρυθμός σύγκλισης θεωρείται πολύ ικανοποιητικός για τον αριθμό των παραμέτρων που προσδιορίζονται, παρά το ότι επιλέχθηκε πολύ μικρό κριτήριο σύγκλισης.

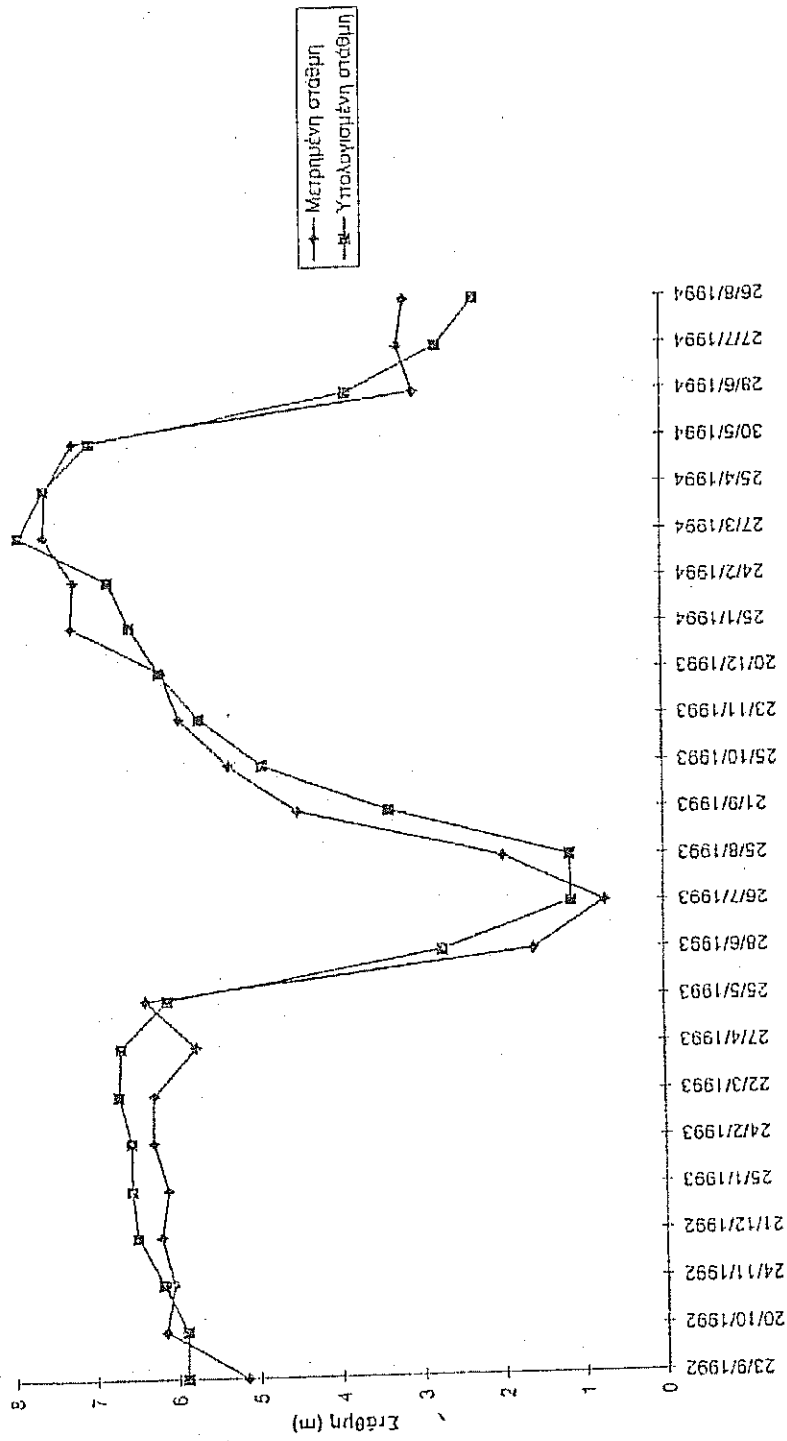
Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα μεταβολής της υπόγειας στάθμης όπως μετρήθηκε και υπολογίστηκε από το μοντέλο σε κάθε μία από τις υδρογεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την αναρρύθμιση του μοντέλου. Στα Σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται ενδεικτικά δύο από αυτά τα διαγράμματα.

Η μέση απόλυτη διαφορά μεταξύ μετρημένων και υπολογισμένων τιμών κυμαίνεται από 0.54 ως 1.31 μέτρα, ενώ η τετραγωνική ρίζα της μέσης τετραγωνικής διαφοράς μετρημένων και υπολογισμένων τιμών πιεζομετρικής στάθμης κυμαίνεται από 0.70 ως 1.62 μέτρα.

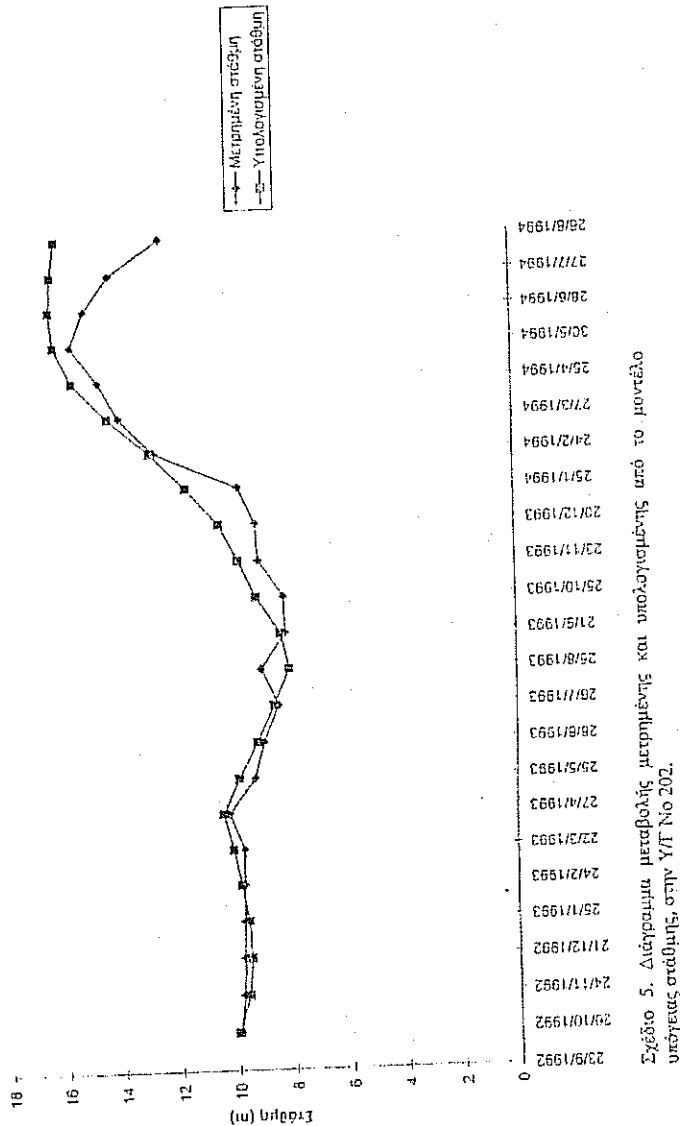
Στα πλαίσια του χρηματοδοτούμενου από το Υπουργείο Γεωργίας ερευνητικού έργου σχετικού με την κατασκευή και ρύθμιση του μαθηματικού μοντέλου Πιερίας, πραγματοποιούνται, με κάποιες ενδιάμεσες διακοπές, συνεχείς μετρήσεις της πιεζομετρικής στάθμης από το 1984 μέχρι σήμερα. Οι μετρήσεις αυτές μας δείχνουν μια πτωτική τάση της πιεζομετρικής στάθμης κάτω από τις τρέχουσες συνθήκες εκμετάλλευσης και φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα. Η μελέτη ορθολογικής διαχείρισης του υδάτινου δυναμικού της πεδιάδας Πιερίας κρίνεται τελείως αναγκαία. Το παρόν μαθηματικό μοντέλο δίνει τη δυνατότητα της πρόβλεψης μελλοντικών επιπτώσεων στο υπόγειο υδάτινο δυναμικό από συγκεκριμένες χρήσεις του υδροφορέα με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια. Αυτό το καθιστά ένα απαραίτητο εργαλείο στην προσπάθεια ορθολογικής διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της πεδιάδας Πιερίας.







Σχέδιο 4. Διαγράμμα μεταβολής μετρημένης και υπολογισμένης από το μοντέλο υδατικής στάθμης, στην Υ/Γ Νο 178.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τερζίδης Γ., Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Κατάρτιση μαθηματικού μοντέλου πεδιάδας Πιερίας (Κατερίνης), Τελική Έκθεση, 1987.
2. ΥΔΡΟΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., Υδρογεωλογική Προμελέτη της Περιοχής Κατερίνης - Πιερίας, 1975.
3. Kuester J.L., Mize J.H., Optimization techniques with FORTRAN, 1973.
4. Καβαλιεράτου Σ., Αυτόματη ρύθμιση μαθηματικού μοντέλου πεδιάδας Πιερίας, Διπλωματική Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 1998.
5. Τερζίδης Γ., Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Αναρρύθμιση μαθηματικού μοντέλου πεδιάδας Πιερίας (Κατερίνης), Τελική Έκθεση, 1995.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ, ΤΗΣ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΣΠΟΡΑΣ ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ, ΣΤΗΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Χρυσ. Β. Τερζούδη¹, Θ.Α. Γέμιος²

¹Υποψήφια διδάκτορας Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
²Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο του πειράματος είναι η μελέτη του φαινομένου της διαβρώσεως σε επικλινη έκταση στην καλλιέργεια του βαμβακιού 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. Κατά την διάρκεια του πρώτου έτους του πειράματος έγινε η εγκατάσταση του συστήματος συλλογής των υλικών απορροής (φερτών υλικών) καθώς και των αυτογραφικών οργάνων και λήφθηκαν ορισμένες μετρήσεις για τις βροχοπτώσεις, την απορροή και την απόθεση στερεών. Από τις μετρήσεις που έγιναν διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μία κρίσιμη περίοδος για την καλλιέργεια του βαμβακιού (περίοδος φυτρώματος και λίγο χρονικό διάστημα μετά) όπου παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες τιμές σε απώλειες εδάφους, ενώ η κατάσταση βελτιώνεται με τον συνδυασμό καλλιέργεια φυτοκάλυψης κατά τον χειμώνα και κατεύθυνση σποράς κατά τις ισοϋψείς.

EFFECT OF TILLAGE SYSTEMS, WINTER COVER CROP AND DIRECTION COTTON PLANTING TO SOIL EROSION.

¹Terzudi Chr., ²Gemtos Th.

¹doctor candidate, Lab. Agricultural Mechanization, University of Thessaly

²Assoc. Professor, University of Thessaly

ABSTRACT

This research investigates the effect of reduced tillage systems, winter cover crop, direction and planting of cotton to the contour to soil erosion in slopy field of Thessaly, Greece. During the first year of the experiment a system to measure and record runoff as well as soil sediment during rainy period was installed. The result of the first year showed that : there is a critical period for the cotton's cultivation (the period during soil tillage and cotton planting and just after that before cotton emergence) where the runoff and soil losses were increased. This situation is improved by the combination of a winter wheat cover crop and planting cotton to the contour.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προστασία και η ορθολογική χρησιμοποίηση των εδαφικών πόρων και του νερού στη σύγχρονη εποχή αποτελούν οικουμενικό πρόβλημα. Το έδαφος, το νερό και ο ατμοσφαιρικός αέρας σε όλες τις εποχές ήταν και παραμένουν ιδιαίτερα σήμερα οι κυριότερες συνθήκες ύπαρξης και επιβίωσης του ανθρώπου. Το πρόβλημα προστασίας των εδαφών από τη διάβρωση αποκτά όλο

και περισσότερη σημασία, γιατί η διάβρωση καταστρέφει τη δομή του εδάφους, υποβαθμίζει την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων αφενός και αφετέρου μειώνει σημαντικά την γεωργική παραγωγή. 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. Τα ελληνικά εδάφη είναι από τα πιο ευαίσθητα στη διάβρωση εδάφη στον κόσμο, για τους εξής λόγους (Μήτσιος [1]).

1. Τα ελληνικά εδάφη περιέχουν οργανική ουσία σε χαμηλό ποσοστό. Το χαμηλό ποσοστό της οργανικής ουσίας στα εδάφη: α) δεν ευνοεί τη δημιουργία ανθεκτικών εδαφικών συσσωματωμάτων στην καταστρεπτική δύναμη των σταγόνων του νερού της βροχής και β) Δε βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (υδατοδιατηρητικότητα, υδατοχωρητικότητα κ.λ.π.).
2. Τα ψαθυρά γεωλογικά υλικά, που υπάρχουν στα περισσότερα ελληνικά εδάφη.
3. Το ανάγλυφο του ορεινού όγκου των ελληνικών εδαφών με τις πυκνές και μεγάλες κλίσεις που υπάρχουν.
4. Η ξηρότητα του κλίματος σε συνδυασμό με τις ραγδαίες και καταρρακτώδεις βροχές.

Εκτός από τους παραπάνω λόγους υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επιταχύνουν τη διάβρωση του εδάφους στη χώρα μας. Η χρήση γεωργικών μηχανημάτων και η στενότητα ανείρεσης γεωργικής γης, οδήγησε στην μεταχείριση επικλινών εκτάσεων κάτω από τον ίδιο τρόπο άσκησης της γεωργίας με αυτόν των επιπέδων. Στις επικλινείς εκτάσεις ο κίνδυνος της διάβρωσης μεγιστοποιείται, ιδιαίτερα όταν καλλιεργούνται κατά μήκος της κλίσης και επί σειράν ετών με την ίδια καλλιέργεια χωρίς πρόγραμμα αμειψιμορίας ή αγρανάπαισης. Επίσης η ανεπαρκής χρήση οργανικών λιπασμάτων, η συμπίεση του εδάφους από την χρήση βαρέων μηχανημάτων και η κονιορτοποίηση του εδάφους όταν επιχειρείται η δημιουργία σποροκλίνης σε ξηρό έδαφος συμβάλλουν στην έντονη διάβρωση. Μέχρι σήμερα, στην Ελλάδα, δεν εκτιμήθηκε η έντονη ζημιά που προκαλεί και ούτε λήφθηκαν ουσιαστικά μέτρα για να μειωθεί το καταστρεπτικό της έργο, το οποίο προοδευτικά μπορεί να οδηγήσει στην ερημοποίηση της γεωργικής γης, ιδιαίτερα στην περιοχή της Θεσσαλίας όπου υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός επικλινών εκτάσεων.

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορα πειραματικά δεδομένα για σύγκριση των τριών συστημάτων κατεργασίας εδάφους (όργωμα-καλλιεργητής-δισκοσβάρνα) που εφαρμόζουμε στο πείραμά μας (Patterson D.E. et al. [2]), κυρίως όμως στοιχεία που αφορούν καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών, καλαμποκιού, σόγιας, ενώ ελάχιστα στοιχεία αναφέρονται σε βαμβάκι. Πολλές από τις επικλινείς εκτάσεις της Θεσσαλίας αρδεύονται και καλλιεργούνται με ετήσιες καλλιέργειες. Οι πρακτικές της καλλιέργειας που ακολουθούνται από τους γεωργούς (όργωμα και σπορά κατά τις κλίσεις, άρδευση με μεγάλα αυτοκινούμενα ακροφύσια) δημιουργούν συνθήκες υψηλής διάβρωσης. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο και σε πολλές περιπτώσεις τα εδάφη έχουν σκελετωθεί. Ο γεωργός με το επόμενο όργωμα καλύπτει όλα αυτά και θεωρεί ότι λύνει το πρόβλημα. Η συνεχής μείωση της γονιμότητας του εδάφους καλύπτεται από την αυξανόμενη χρήση χημικών λιπασμάτων τα οποία αυξάνουν το κόστος και ρυπαίνουν το περιβάλλον (ρύπανση των υδροφορέων με κάθε ρύπο που η σύγχρονη γεωργία ενοχοποιείται σήμερα ότι διαθέτει εύκολα στον περιβάλλοντα χώρο). Οι σημερινές υψηλές τιμές των προϊόντων και ιδιαίτερα του βαμβακιού καλύπτουν το υψηλό κόστος. Με την αναμενόμενη όμως μείωση των τιμών (ΚΑΠ, συμφωνία εμπορίου και δασμών) υπάρχει κίνδυνος να καταστεί η καλλιέργεια ασύμφορη και μεγάλες εκτάσεις να εγκαταλειφθούν με πιθανή ερημοποίηση περιοχών.

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εκτίμηση του μεγέθους της διάβρωσης και ο προσδιορι-

ομός των πλέον αποτελεσματικών μέτρων και πολιτικών για προστασία των εδαφικών πόρων θα πρέπει να αποτελέσει κύριο μέλημα της εφαρμοσμένης έρευνας. Τα δεδομένα αυτής της έρευνας θα μας επέτρεπαν να προχωρήσουμε στον υπολογισμό των απωλειών των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με επιφανειακή απορροφή ή έκπλυση, καθώς και στην υιοθέτηση καλλιεργητικών τεχνικών που θα μειώναν τους κινδύνους της διάβρωσης .

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Αντικείμενο του πειράματος είναι η μελέτη της δυνατότητας περιορισμού του φαινομένου της διαβρώσεως σε επικλινη έδαφη με εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους, κατεργασίας και σποράς κατά τις ισοϋψείς ή κατά την κλίση και με χρήση φυτοκάλυψης του εδάφους τον χειμώνα.

Οι μεταχειρίσεις του πειράματος ήταν οι ακόλουθες:

1. Τρεις μέθοδοι κατεργασίας του εδάφους:

- α) συμβατική κατεργασία ήτοι όργωμα το φθινόπωρο και την άνοιξη προετοιμασία της σποροκλίνης με χρήση δισκοσβάρνας ή οδοντωτής σβάρνας.
- β) μειωμένη κατεργασία με χρήση βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20 cm το φθινόπωρο και την άνοιξη προετοιμασία της σποροκλίνης με δίσκο ή με οδοντωτή σβάρνα.
- γ) μειωμένη κατεργασία με χρήση δισκοσβάρνας και προετοιμασία της σποροκλίνης με δισκοσβάρνα.

2. Δύο μεταχειρίσεις φυτοκάλυψης του εδάφους κατά την διάρκεια του χειμώνα:

- α) το έδαφος καλλιεργήθηκε το φθινόπωρο και παρέμεινε ακάλυπτο τον χειμώνα (επίδραση μόνο υπολειμμάτων της καλλιέργειας)
- β) το έδαφος σπάρθηκε με φυτική καλλιέργεια κάλυψης (cover crop) που τον πρώτο χρόνο ήταν σιτάρι ενώ για τα επόμενα προγραμματίζεται η χρήση ψυχανθούς ή μίγματος σιταριού και ψυχανθούς.

3. Δύο μεταχειρίσεις κατεύθυνσης κατεργασίας και σποράς:

- α) έγινε η κατεργασία του εδάφους και η σπορά του βαμβακιού κατά τις κλίσεις.
- β) έγινε η κατεργασία του εδάφους και η σπορά του βαμβακιού κατά τις ισοϋψείς.

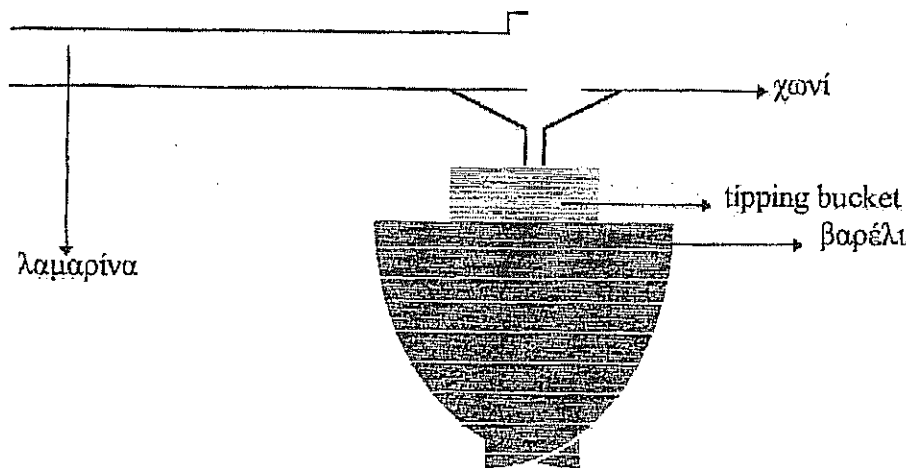
Τον Δεκέμβριο του 1997 έγινε η χάραξη του πειράματος σε έκταση πέντε στρεμμάτων στην περιοχή της Αβερωφείου Γεωργικής Σχολής Λαρίσας (4ο Km Λαρίσας - Τριγάλων) με κλίση 5° περίπου. Το μήκος κλίσης των πειραματικών τεμαχίων μας είναι 22 m, που θεωρείται ικανοποιητική για πειράματα διάβρωσης (Morgan RPC [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 ισοϋψείς. Το ποσοστό κλίσης (%) μετρήθηκε με την βοήθεια της μεθόδου του αλφιδόνε-ρου. Για την μέτρηση της κλίσης των πειραματικών τεμαχίων χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα:

- α) ένας ελαστικός σωλήνας (αλφαιδολάστιχο) αποστάσεως λίγο μεγαλύτερης από το μήκος των πειραματικών τεμαχίων (27 m)
- β) δύο πήχεις (χάρακες) ύψους του ενός τουλάχιστον 0,1 m και του άλλου λίγο περισσότερο από 1,5 m όταν πρόκειται για μεγάλη διαφορά κλίσεως του εδάφους.
- γ) δοχείο νερού με χωνί στενό για την πλήρωση σωλήνα.

Ο σωλήνας πληρώνεται με νερό, κρατιέται από δύο άτομα στο ανώτερο και κατώτερο άκρο του πειραματικού τεμαχίου. Το νερό ισορροπεί και η διαφορά του ύψους δίνει την διαφορά του ύψους στα δύο άκρα του πειραματικού τεμαχίου, που διαιρείται με το μήκος και δίνει την κλίση.

Τα πειραματικά τεμάχια τυχαιοποιήθηκαν σε ομάδες με τρεις επαναλήψεις. Τον ίδιο μήνα εκτελέστηκαν οι εργασίες της πρωτογενούς κατεργασίας εδάφους και τα μισά πειραματικά τεμάχια σπάρθηκαν με σιτάρι ως καλλιέργεια κάλυψης τον χειμώνα (για τις επόμενες χρονιές του πειράματος προγραμματίζεται να χρησιμοποιηθούν ψυχανθή, κυρίως βίκος), ενώ τα υπόλοιπα παρέμειναν γυμνά.

Τον Ιανουάριο του 1998, δημιουργήθηκαν μικρά αναχώματα ύψους 20 cm περίπου στα οποία ενσωματώθηκε φύλλο πλαστικού για να εξασφαλιστεί στεγανότητα και διαχωρισμός της απορροής του κάθε τεμαχίου. Στο κατάντι του κάθε πειραματικού τεμαχίου τοποθετήθηκε λαμαρίνα με ειδικά διαμορφωμένο αυλάκι για την συλλογή του απορρέοντος νερού (σχέδιο 1).



Σχέδιο 1. Τομή λαμαρίνας με το ειδικά διαμορφωμένο αυλάκι, tipping bucket, βαρέλι.

Τον Απρίλιο του 1998 εγκαταστάθηκαν οι μετρητές απορροής ύδατος με tipping buckets τα οποία περιλαμβάνουν ένα datalogger για το πρόγραμμα επικοινωνίας με τον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή και την λήψη των στοιχείων από τους μετρητές απορροής ύδατος, έναν ηλιακό συλλέκτη για να φορτίζεται ο datalogger, ένα βροχόμετρο και ένα θερμόμετρο. Οι μετρήσεις παίρνονται ανά μισή ώρα, ενώ σε περίπτωση βροχής ανά πέντε λεπτά. Το νερό συλλέγεται στο αυλάκι (αυλάκι ηρεμίας) και από εκεί οδηγείται στη χοάνη τροφοδοσίας του μετρητή απορροής ύδατος. Ο μετρητής απορροής ύδατος αποτελείται από δύο ισοβάρα και βαθμονομημένα δοχεία (tipping buckets) από όπου περνάει το απορρέον νερό. Η κίνηση των δοχείων μεταφέρεται σε άξονα που ενεργοποιεί ένα μαγνητικό διακόπτη. Δύο μετακινήσεις του tipping bucket (μία αριστερά και μία δεξιά) είναι και ένας κύκλος του (full tipping), στον οποίο ογκομετρούνται 0,5 l απορρέοντος νερού. Ο μετρητής απορροής ύδατος φέρει δύο ανοίγματα στο κατώτερο σημείο του, από όπου φεύγει το απορρέον νερό και οδηγείται στα πλαστικά βαρέλια, από τα οποία λαμβάνονται δείγματα για εκτίμηση του μεταφερόμενου εδάφους. Για την λήψη των δειγμάτων γίνεται πιο πριν ομοιογενοποίηση του δείγματος (πολύ καλό ανακάτεμα των απορροών του βαρελιού και με την χρήση μίας αντλίας λαμβάνεται δείγμα σε μπουκάλι πλαστικό 1,5l).

Τον Απρίλιο του 1998 έγινε έλεγχος λειτουργίας του μετρητή απορροή ύδατος και του βροχόμετρου. Ρίχθηκε συγκεκριμένη ποσότητα νερού στους μετρητές ροής και στο βροχόμετρο. Από την σύγκριση που έγινε, η συγκεκριμένη ποσότητα που ρίχθηκε ήταν ίδια με αυτή που μέτρησαν τα tipping buckets και κατέγραψε ο καταγραφέας. Ανάλογος έλεγχος έγινε στο βροχόμετρο.

Τον Απρίλιο του 1998 έγινε ψεκασμός του σιταριού με Round up και εν συνεχεία ενσωμάτωσή του στο έδαφος με μηχανήματα δευτερογενούς κατεργασίας σποροκλίνης (δισκοσβάρνα, προετοιμασία σποράς).

Στο τέλος του ίδιου μήνα ολοκληρώθηκε η προετοιμασία της σποροκλίνης με δύο περάσματα με δισκοσβάρνα και με προετοιμασία σποράς. Ακολούθησε στις αρχές Μαΐου η βασική λίπανση και η σπορά του βαμβακιού (κύρια καλλιέργεια). Η έκταση σπάρθηκε με βαμβάκι ποιικιλίας Ζέτα 2 με αποστάσεις μεταξύ των σειρών ένα μέτρο και 20 σπόρους/μέτρο.

Τον Ιούνιο του 1998 εγκαταστάθηκε το σύστημα άρδευσης με σταγόνες ενώ τον Αύγουστο έγινε αλλαγή του υπάρχοντος συστήματος με σπρέι (κοινώς αράχνη) σε προσπάθεια εξομοίωσης βροχής.

Κατά το πρώτο έτος της εφαρμογής του πειράματος, έγινε λήψη των εξής μετρήσεων:

Μετεωρολογικά στοιχεία: Προσδιορίστηκε η ολική βροχόπτωση με την ένταση της βροχής και έγινε καταμέτρηση της θερμοκρασίας.

Φυσικές ιδιότητες του εδάφους: Οι μετρήσεις που έγιναν κατά το πρώτο έτος του πειράματος είχαν σκοπό να περιγράψουν και να δικαιολογήσουν το φαινόμενο της διάβρωσης μέσα από τις διάφορες μεταχειρίσεις του εδάφους. Οι φυσικές μετρήσεις αφορούν μετρήσεις σχετικές με ιδιότητες και χαρακτηριστικά του εδάφους όπως υγρασία, φαινόμενο ειδικό βάρος, αντίσταση στη διείδυση, διήθηση.

α) Τον μήνα Μάρτιο, έγινε η μέτρηση του φαινομένου ειδικού βάρους, καθώς και η μέτρηση της υγρασίας στην ανώτερη επιφάνεια της σποροκλίνης, με την βοήθεια ειδικών μεταλλικών δακτυλίων διαμέτρου 7cm και ύψους 3cm. Το ποσοστό υγρασίας προσδιορίστηκε με ξήρανση σε κλίβανο στους 104°C για 24 h ενώ το ξηρό βάρος χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του φαινομένου ειδικού βάρους.

β) Στο τέλος του Μαρτίου μετρήθηκε η επίδραση της κατεργασίας του εδάφους στην αντίσταση στην διείδυση με την χρήση ενός μηχανικού διεισδιόμετρου. Ελήφθησαν τρεις μετρήσεις σε κάθε τεμάχιο και σε βάθος από 2,5 cm έως 40 cm.

γ) Η διηθητικότητα του εδάφους (infiltration capacity) μετρήθηκε τον μήνα Ιούνιο του 1998 με την συσκευή ενός κυλίνδρου (διηθητόμετρο εφαρμογής αρδεύσεων). Αποτελείται από ένα μεταλλικό κύλινδρο διαμέτρου 30 cm και ύψους 40 cm. Στο κάτω άκρο τοποθετείται φορητός δακτύλιος με αιχμηρό άκρο και στο πάνω άκρο τοποθετούνται συμμετρικά σε τέσσερις θέσεις χυτοσίδερα υποστηρίγματα διαστάσεων 10X10 cm. Η έμπηξη του κυλίνδρου στο έδαφος γίνεται με συμμετρική κρούση πάνω στα υποστηρίγματα αυτά. Ο κύλινδρος τοποθετείται σε βάθος περίπου 15-20 cm, γεμίζεται με νερό σε βάθος 10-12 cm και σημειώνεται σε ειδικό έντυπο η πτώση της στάθμης και ο αντίστοιχος χρόνος.

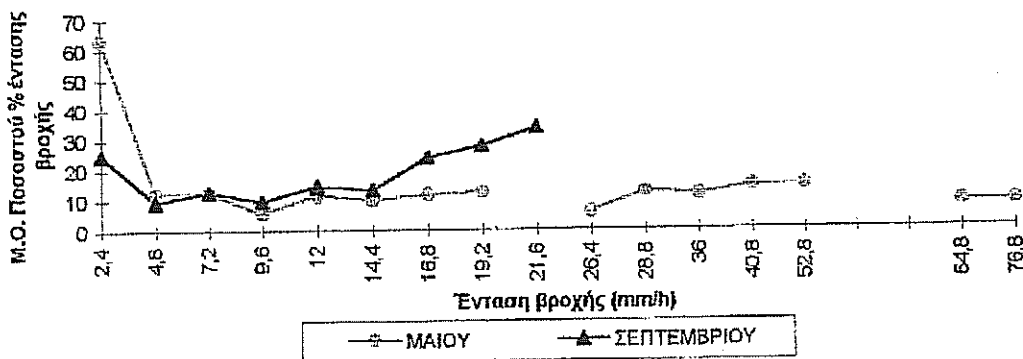
Βιομάζα και ποσοστό φυτοκάλυψης της καλλιέργειας σιταριού. Τον Μάρτιο έγινε η καταμέτρηση της βιομάζας και φυτοκάλυψης του σιταριού για να μελετηθεί η επίδραση της κατεργασίας του εδάφους στην καλλιέργεια φυτοκάλυψης. Η βιομάζα συλλέχθηκε από δύο τυχαίες επιφάνειες 0,15 m² σε κάθε τεμάχιο. Το υπέργειο μέρος του σιταριού συλλέχθηκε και τα φυτά ξηράθηκαν για 48 h σε κλίβανο στους 74°C για προσδιορισμό της ξηράς ουσίας. Επίσης έγινε η κα-

ταμέτρηση του ποσοστού φυτοκάλυψης σιταριού με την χρήση ενός σκοινιού μήκους 5 m με κόμπους ανά 10 cm. Το σκοινί τοποθετήθηκε διαγώνια προς την κατεύθυνση σποράς της καλλιέργειας φυτοκάλυψης, τεντώθηκε και καταμετρήθηκε ο αριθμός των κόμβων που έχουν από κάτω τους φυτό. Αυτόν τον αριθμό τον διαιρέσαμε με τον συνολικό αριθμό των κόμβων και μας δόθηκε το ποσοστό φυτοκάλυψης (Charlin)[4].

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 την χρήση διάταξης των μετρητών απορροής ύδατος που περιγράφηκε προηγουμένως. Οι συγκεντρώσεις των φερτών υλικών οδηγήθηκαν σε γυάλινα δοχεία (plexi-glass) του ενός λίτρου. Σε φούρνο εξατμιζόταν το νερό της απορροής στους 104°C και αποθηκεύονταν το ίζημα μέσα στα ίδια τα γυάλινα δοχεία.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό έδειξαν ότι κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (τέλος Απριλίου μέχρι τον μήνα Σεπτέμβριο) η συνολική βροχόπτωση που καταγράφηκε ήταν 183 mm ύστερα από 21 βροχοπτώσεις οι οποίες ήταν κατά κύριο λόγο υπεύθυνες για την μετρήσιμη επιφανειακή απορροή. Ο μήνας Μάιος είχε τις υψηλότερες κατανομές σε βροχοπτώσεις (126,6 mm), που είναι συνηθισμένο φαινόμενο για τον μήνα Μάιο στην περιοχή, ενώ ο μήνας Ιούνιος είχε βροχόπτωση 10,5 mm. Τον Ιούλιο και Αύγουστο υπήρξε μία ασήμαντη βροχόπτωση (0,3 mm και 1,6 mm αντίστοιχα). Στα μέσα του μήνα Αυγούστου έγινε το πότισμα με τεχνητή βροχή (χρήση σπρέι), οπότε η βροχόπτωση ανήρθε σε επιπλέον 6,8 mm (με ένταση βροχής 2,4 mm/h κατά 100%), ενώ για το μήνα Σεπτέμβριο είχαμε μία σχετικά καλή βροχή (44 mm). Το ακόλουθο σχήμα 1 δείχνει τους μέσους όρους του ποσοστού επί της έντασης βροχής των μηνών Μαΐου, και Σεπτεμβρίου.

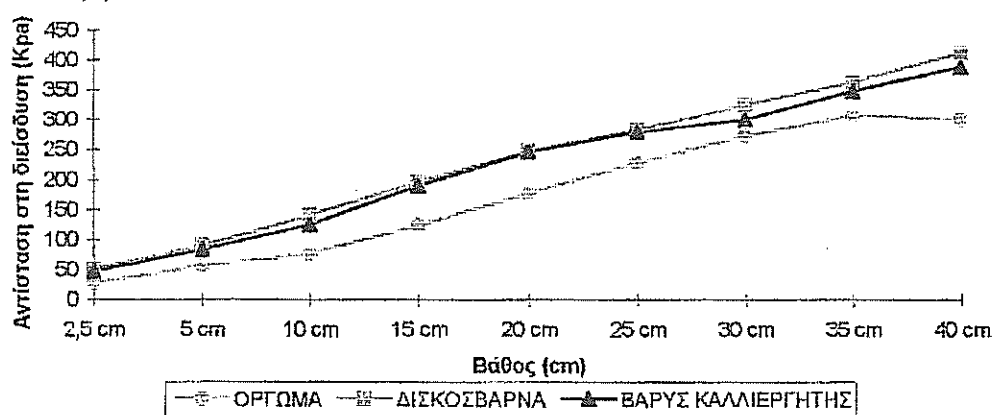


ΣΧΗΜΑ 1. Μέσοι όροι του ποσοστού επί της έντασης βροχής των μηνών Μαΐου και Σεπτεμβρίου.

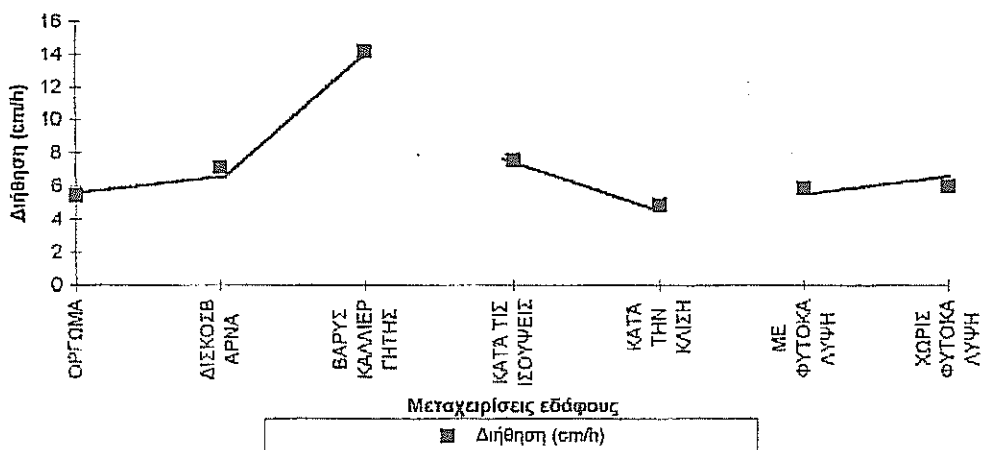
Οι μετρήσεις του φαινόμενου ειδικού βάρους που έγιναν πριν την ανοιξιάτικη κατεργασία εδάφους (προετοιμασία σποροκλίνης) έδειξαν ότι στις διάφορες κατεργασίες εδάφους και μεταχειρίσεις φυτοκάλυψης δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές με κύμανση τιμών για τις κατεργασίες εδάφους από $1,01 \text{ g/cm}^3$ έως $1,04 \text{ g/cm}^3$, ενώ για τις μεταχειρίσεις με φυτοκάλυψη από 1 g/cm^3 έναντι $1,05 \text{ g/cm}^3$ για την μεταχείριση χωρίς φυτοκάλυψη.

Με τη χρήση του μηχανικού διεισδυσιμέτρου μετρήθηκε η αντίσταση στη διείσδυση. Παρατηρήθηκε ότι η δισκοσβάρνα παρουσιάζει και την μεγαλύτερη αντίσταση στη διείσδυση (σχήμα 2) και κατά δεύτερο λόγο ο βαρύς καλλιεργητής.

Στο σχήμα 3, η κατεργασία του εδάφους με άροτρο και με κατεύθυνση μεταχείρισης κατά την κλίση έχουν την μικρότερη διήθητικότητα και κατά δεύτερο λόγο η δισκοσβάρνα. Επίσης, η μεταχείριση με καλλιέργεια φυτοκάλυψης κατά τον χειμώνα παρουσιάζει μικρότερη διήθηση έναντι της μεταχείρισης καλλιέργειας χωρίς φυτοκάλυψη.



ΣΧΗΜΑ 2. Μετρήσεις αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση για τις διάφορες κατεργασίες εδάφους του πειράματος.

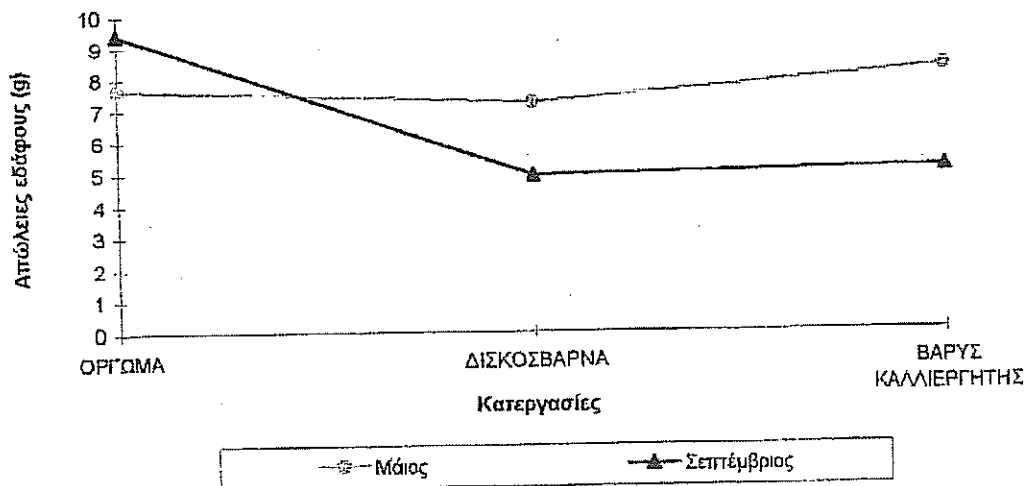


ΣΧΗΜΑ 3. Μέσοι όροι διήθησης των διαφόρων μεταχειρίσεων εδάφους κατά τον μήνα Μάιο.

Οι απορροές του μήνα Μαΐου είναι αρκετά μεγάλες, ενώ δεν μπορούμε να πούμε το ίδιο και για τις απορροές του μήνα Αυγούστου και Σεπτεμβρίου. Τον μήνα Μάιο τις μεγαλύτερες απορροές τις είχε η μεταχείριση δισκοσβάρνα (286 l) έναντι 235 l με όργωμα και 230 l της κατεργασίας με βαρύ καλλιεργητή. Στην κατεργασία και σπορά κατά την κλίση η απορροή ήταν μεγαλύτερη (249 l) έναντι 188 l κατά τις ισοϋψείς. Τέλος τα τεμάχια με φυτοκάλυψη είχαν μεγαλύτερη απορροή (224 l) έναντι 217 l των τεμαχίων χωρίς καλλιέργεια φυτοκάλυψης. Τον μήνα Αύγουστο δημιουργώντας τεχνητή βροχή, καταλήξαμε ότι τις περισσότερες απορροές είχε το όργωμα (9,6 l), ενώ ακολουθούν η δισκοσβάρνα (5 l) και ο βαρύς καλλιεργητής (4,4 l) με χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά. Όσον αφορά την κατεργασία και σπορά κατά την κλίση παρουσίασαν τις περισσότερες απορροές (10,75 l) έναντι 3,45 l κατά τις ισοϋψείς. Όσον αφορά τα τεμάχια με φυτοκάλυψη και χωρίς φυτοκάλυψη, οι τιμές τους κυμάνθηκαν από 6,2 l έως 7,9 l αντίστοιχα. Τον μήνα Σεπτέμβριο οι κατεργασίες εδάφους δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές και οι τιμές τους κυμαινόταν από 34 l έως 36 l. Στην κατεργασία και σπορά κατά την κλίση η απορροή ήταν μικρότερη (21 l) έναντι 40 l κατά τις ισοϋψείς. Τέλος τα τεμάχια με φυτοκάλυψη είχαν μικρότερη απορροή (23 l) έναντι 38 l των τεμαχίων χωρίς καλλιέργεια φυτοκάλυψης.

Από τις μετρήσεις των φερτών υλικών του μήνα Μαΐου, παρατηρήθηκε ότι τεμάχια που είχαν καλλιεργηθεί κατά τις ισοϋψείς είχαν και τις μικρότερες απώλειες σε φερτά υλικά (6,6 g) έναντι 9 g των τεμαχίων κατά την κλίση, ενώ για τον Σεπτέμβριο δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά με κύμανση των τιμών 7 g τα τεμάχια κατά τις ισοϋψείς και 6,1 g κατά την κλίση. Τον Μάιο δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά με (6 g) για την καλλιέργεια με φυτοκάλυψη και 6,8 g χωρίς καλλιέργεια φυτοκάλυψης, ενώ τον Σεπτέμβριο τεμάχια με καλλιέργεια φυτοκάλυψης είχαν και τις μικρότερες απώλειες εδάφους (6,9 g) έναντι 8,4 g των τεμαχίων χωρίς φυτοκάλυψη. Τον μήνα Μάιο οι διάφορες κατεργασίες εδάφους δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική διαφορά όσον αφορά την απώλεια των φερτών υλικών τους, ενώ τον Σεπτέμβριο η κατεργασία όργωμα παρουσίασε την μεγαλύτερη απώλεια εδάφους (σχήμα 4).

Οι απώλειες εδάφους τον μήνα Αύγουστο ήταν ασήμαντες.



ΣΧΗΜΑ 4. Απώλειες εδάφους (g) στις κατεργασίες εδάφους τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο.

Στην πραγματικότητα με την εφαρμογή της κατεργασίας, δημιουργείται μία ανώμαλη επιφάνεια εδάφους η οποία αρχικά είναι αποτελεσματική στη συγκράτηση του νερού των βροχοπτώσεων. Όσο πιο βαθιά είναι αυτή η κατεργασία, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η συγκράτηση του νερού και συνεπώς των τυχόν φερτών υλικών. Για αυτό και η συμβατική κατεργασία (όργωμα) αρχικά παρουσιάζει και μικρές ποσότητες σε φερτά υλικά. 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 μπορεί να είναι η περαιτέρω μείωση της διήθησης του νερού της βροχής, η δραματική αύξηση της επιφανειακής απορροής και η βαθιά κατεργασία (όργωμα) να γίνεται αναποτελεσματική στην συγκράτηση φερτών υλικών, γι' αυτό και τον Σεπτέμβριο οι απώλειες φερτών υλικών για το όργωμα να παρουσιάζονται αυξημένες.

Επίσης, παρατηρήσαμε ότι στις βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου, οι μεταχειρίσεις των τεμαχίων κατά τις ισοϋψείς χωρίς καλλιέργεια φυτικής κάλυψης κατά τον χειμώνα παρουσίασαν λίγο μεγαλύτερες τιμές στην απώλεια φερτών υλικών (μη στατιστικής σημαντική η διαφορά), από τα τεμάχια που έγινε μεταχείρισή τους κατά την κλίση. Αυτό ίσως να οφείλεται στις καταρρακτώδεις βροχές που έλαβαν μέρος τις δύο αυτές μέρες του Σεπτεμβρίου (σχήμα 1), οπότε τα διατεταγμένα κατά τις ισοϋψείς αυλάκια άρροσης να συγκέντρωναν την ροή του νερού σε ορισμένα σημεία και να εντεινανε την δημιουργία αυλακώσεων (rill erosion).

Ακόμη πρέπει να τονίσουμε ότι όλα τα πειραματικά τεμάχια με μεταχείριση καλλιέργεια φυτοκάλυψης είχαν τις μικρότερες απώλειες φερτών υλικών και ιδιαίτερα ο καλύτερος συνδυασμός για μία επιτυχημένη στρατηγική κατά του φαινομένου αυτού που λέγεται διάβρωση, ήταν η κατεργασία εδάφους κατά τις ισοϋψείς και παράλληλα καλλιέργεια φυτοκάλυψης κατά τον χειμώνα.

Οι συγκεντρώσεις των ιζημάτων κατά τον μήνα Αύγουστο παραμείνανε σχετικά σταθερές, μη αξιολογες, με χαμηλές συγκεντρώσεις για όλες τις μεταχειρίσεις, κυρίως λόγω του χαμηλού ποσοστού βροχοπτώσεων και κατά δεύτερο λόγο πιθανόν λόγω της μεγάλης επιφάνειας φυλλώματος που ανέπτυξε το βαμβάκι (φυτοκάλυψη 90%) την περίοδο εκείνη που παρεμπόδισε την διάβρωση από την επίδραση της δύναμης των βροχοσταγόνων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι:

- 1) Υπάρχει μία κρίσιμη περίοδος για το βαμβάκι (περίοδο φυτρώματος έως μέσα Ιουνίου) όπου έχουμε και τις μεγαλύτερες απορροές λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων αυτής της περιόδου και του ακάλυπτου εδάφους.
- 2) Το όργωμα στις αρχικές χαμηλές βροχοπτώσεις δυσκολεύει την δημιουργία μεγάλης απορροής, ενώ στις επόμενες βροχοπτώσεις δημιουργεί αύξηση της επιφανειακής απορροής λόγω βαθιάς άρροσης και αύξηση του αριθμού των απωλειών από φερτά υλικά.
- 3) Τις μικρότερες τιμές σε φερτά υλικά παρουσιάζουν οι μεταχειρίσεις που γίνεται η σπορά κατά τις ισοϋψείς και παράλληλα κατά τον χειμώνα υπάρχει καλλιέργεια φυτοκάλυψης.

- 4) Με βροχές μεγάλων εντάσεων (καταρρακτώδεις βροχές) η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς χωρίς φυτοκάλυψη πιθανό να είναι αναποτελεσματική, όσον αφορά την ποσότητα των υλικών απορροής.
- 5) Οι απορροές όλων των μεταχειρίσεων με καλλιέργεια φυτοκάλυψης δεν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου διότι τα τεμάχια με τέτοιου είδους μεταχειρίσεις έχουν μεγαλύτερη εδαφική υγρασία που τη διατηρούν ακόμμη και στην αρχή αυτής της εποχής. Στη συνέχεια όμως (Αύγουστος - Σεπτέμβριος) οι απορροές των μεταχειρίσεων με καλλιέργεια φυτοκάλυψης μειώνονται και είναι μικρότερες από τις απορροές των τεμαχίων χωρίς φυτοκάλυψη.
- 6) Μεταχειρίσεις εδάφους που παρουσιάζουν χαμηλές τιμές διήθησης των νερών των βροχοπτώσεων, φέρουν μεγάλες τιμές σε απορροές .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μήτσιος Ιωάν., Πασχάλιδης Χρ. και Παγανιάς Κων. Διάβρωση των εδαφών - Αντιδιαβρωτικά μέτρα προστασίας. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα 1995.
2. Patterson D.E., W.C.T. Chamen. C.D. Richardson. Long Term Experiments with Tillage Systems to improve the Economy of Cultivations for Cereals J. of Agricultural Engineering Vol. 25, pp 1-35, 1980.
3. Morgan RPC. Soil erosion and conservation, Longman Scientific and Technical, England. 1985.
4. Chaplin F.L.I.J. Analysis of random and systematic sampling methods for residue cover measurement. Transactions of the ASAE. Vol 38 (5) : 1353-1361.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΖΩΤΟΥΧΟΥ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WANISIM

Βασίλειος Ζ. Αντωνόπουλος και Αθηνά Παυλάτου - Βε

*Τομέας Εργείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μοντέλο WANISIM χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της κίνησης του νερού και της τύχης του αζώτου κάτω από συνθήκες αγρού, με άρδευση και λίπανση της καλλιέργειας του αραβόσιτου στη πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Το μοντέλο είναι μονοδιάστατο και περιλαμβάνει την επίλυση των εξισώσεων κίνησης του νερού και της μεταφοράς μάζας των ανόργανων μορφών του αζώτου στο έδαφος με τη μέθοδο Galerkin-πεπερασμένων στοιχείων. Περιλαμβάνει επίσης την πρόσληψη νερού και αζώτου από τα φυτά, την προσρόφηση του αμμωνίου από το έδαφος και τους μετασχηματισμούς του αζώτου, ανοργανοποίηση, νιτροποίηση και απονιτροποίηση. Χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά δεδομένα από ένα αγρό στη Σίνδο Θεσσαλονίκης και έγιναν συγκρίσεις με μετρήσεις στο έδαφος. Το μοντέλο εφαρμόζεται με σκοπό τη διαχείριση του νερού και του αζώτου, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση της καλλιέργειας και η ελαχιστοποίηση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

MANAGEMENT OF WATER AND NITROGEN FERTILIZATION IN IRRIGATED MAIZE BY USING THE WANISIM MODEL

Vassilis Z. Antonopoulos and Athina Paulatou - Ve

School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, 54006 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

The WANISIM model was used for simulation of water movement and nitrogen transport during the growing period of maize. The model is one-dimensional and incorporates the solution of equations of water flow and mass transport of ammonia and nitrates nitrogen, the processes of plant water and nitrogen uptake, the water evaporation and nitrogen transformations in soil profiles. The model was applied in a field located at Sindos in Thessaloniki plain, for climate conditions of this area and the irrigation and fertilization practices of maize plants. The model results were compared to measurements in the soil for a period of six months. The results showed that the model could be used to estimate the amounts of water and nitrogen applied in the soils to provide water and nitrogen for plants and minimize the detrimental environmental impacts.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αραβόσιτος είναι μια από τις πιο δυναμικές και διαδεδομένες καλλιέργειες στις πεδιάδες της Ελλάδας. Στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης καταλαμβάνει έκταση που κυμαίνεται από 12 έως 23 % των αρδευόμενων εκτάσεων, ποσοστά που αντιστοιχούν σε 100 έως 170x103 στρέμματα. Στις καλλιεργητικές φροντίδες του, συμπεριλαμβάνονται αρδεύσεις είτε με τη μέθοδο των αυλακιών ή του καταιονισμού και αζωτούχος λίπανση από 20 έως 30 kg/στρέμμα.

Από το άζωτο που εφαρμόζεται στο έδαφος ένα μέρος χρησιμοποιείται από τα φυτά, ενώ ένα άλλο μέρος, που εξαρτάται από τις συνθήκες εφαρμογής και την διαχείριση νερού και αζώτου στο χωράφι, χάνεται είτε με τη βαθιά διήθηση του νερού είτε με τη μετατροπή του σε αέριες μορφές που απομακρύνονται στην ατμόσφαιρα. Η εξτταμένη χρησιμοποίηση των αζωτούχων λιπασμάτων και η μη ορθολογική αξιοποίησή τους από τις καλλιέργειες, είναι υπεύθυνη για την μη σημανική ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών νερών με τα νιτρικά στις αγροτικές περιοχές. Από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα και από άλλους παγκόσμιους φορείς έχουν δρομολογηθεί οδηγίες που έχουν σκοπό την καλύτερη εφαρμογή της λίπανσης με άζωτο, συνδυάζοντας τις ανάγκες των φυτών με την σωστή εφαρμογή (χρονικά και ποσοτικά) και τον έλεγχο των αρδεύσεων ώστε να μειωθεί η έκπλυση των νιτρικών από το έδαφος κατά την περίοδο ανάπτυξης των φυτών.

Το νερό και το άζωτο στο έδαφος βρίσκονται σε μία δυναμική κατάσταση. Το νερό που εισέρχεται στο ριζόσφαιρα χρησιμοποιείται από τα φυτά καλύπτοντας τις ανάγκες της εξατμισοδιαπνοής, ικανοποιεί το έλλειμμα νερού της ακόρεστης ζώνης και κινείται βαθιά προς τους υπόγειους υδροφορείς και τα επιφανειακά νερά. Το ανόργανο άζωτο είτε με την μορφή της λίπανσης είτε ως προϊόν της αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας (υπολείμματα φυτών, κοπριάς και λύς βιολογικών σταθμών), προσλαμβάνεται από τα φυτά, εκπλύνεται με το νερό της άρδευσης και βροχής και μέρος αυτού με την απονιτροποίηση των νιτρικών διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με τη μορφή των αέριων μορφών του.

Η διαχείριση του νερού και του αζώτου στο χωράφι επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων, που περιγράφουν όλες τις διαδικασίες που συμμετέχουν και επηρεάζουν την τύχη τους στο έδαφος. Η ανάγκη για την περιγραφή και κατανόηση των πολύπλοκων μηχανισμών και διαδικασιών στο έδαφος οδήγησε διεθνώς στην ανάπτυξη μεγάλου αριθμού μοντέλων. Τα μοντέλα διαφέρουν στη μέθοδο επίλυσης των εξισώσεων, στο τρόπο προσέγγισης των διαδικασιών των μετασχηματισμών και της πρόσληψης και την πολυπλοκότητα προσέγγισης του προβλήματος. Ανάμεσα στα μοντέλα που είναι αποδεκτά τα τελευταία χρόνια είναι το LEACHN (Hutson and Wagenet, 1991), SOILN (Bergstrom and Jarvis, 1991), MACRO (Jarvis, 1995), WAVE (Vancloster et al., 1995), WHNSIM (Huwe and Totsch, 1995) και DRAINMOD-N (Breve et al., 1997).

Στην εργασία εφαρμόζεται το μοντέλο WANISIM (Water and Nitrogen Simulation Model), που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων του τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ. (Αντωνόπουλος, 1998), για την διερεύνηση της κατάστασης του εδαφικού νερού και της τύχης του αζώτου κάτω από συνθήκες αγρού της καλλιέργειας του αραβοσίτου στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ WANISIM

Το μοντέλο περιγράφει την κίνηση του νερού στο έδαφος, για τις μεταβαλλόμενες συνθήκες της άρδευσης, της βροχοπτώσης, της εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών. Επίσης περιγράφει τη μεταφορά μάζας του αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου, την ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου, τη νιτροποίηση, την απονιτροποίηση, την προσρόφηση του αμμωνιακού ιόντος, την πρόσληψη του αμμωνιακού και νιτρικού ιόντος από τα φυτά για συνθήκες αγρού, κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, με οργανική και ανόργανη λίπανση (Antonopoulos and Wyseure, 1998).

Η μονοδιάστατη κατακόρυφη ροή του νερού σε ένα κορεσμένο-ακόρεστο έδαφος, με πρόσληψη νερού από τις ρίζες των φυτών, περιγράφεται από την εξίσωση του Richards:

$$C \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(h) \frac{\partial h}{\partial z} - K(h) \right) \pm S_w \quad (1)$$

όπου h είναι το ύψος πίεσης (cm), K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (cm/h), Ch είναι η υδραυλική χωρητικότητα του εδάφους, S_w είναι ο όρος για την πρόσληψη νερού από τις ρίζες (1/h), z είναι η κατακόρυφη απόσταση (θετική προς τα κάτω) και t ο χρόνος. Η πρόσληψη του νερού από τα φυτά, περιγράφεται από την εξίσωση των Belmans et al. (1983).

$$S_w(z,h) = \alpha(h)S_{\max}(z) \quad (2)$$

όπου $S_{\max}(z)$ είναι η κατανομή της μέγιστης πρόσληψης νερού από τα φυτά με το βάθος του ριζοστρώματος, $\alpha(h)$ είναι μια παράμετρος που εξαρτάται από το ύψος πίεσης και καθορίζει την δυσκολία πρόσληψης του νερού από το ριζικό σύστημα. Ο περιορισμός για την πρόσληψη του νερού είναι η δυναμική διαπνοή (T_p) που εκφράζεται από τη σχέση

$$\int_0^d S(h, z) dz \leq T_p \quad (3)$$

όπου d είναι το βάθος του ριζοστρώματος.

Οι εξισώσεις μεταφοράς μάζας του $\text{NH}_4\text{-N}$ και $\text{NO}_3\text{-N}$, έχουν την εξής γενική μορφή

$$\frac{\partial \theta R C_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) - \frac{\partial q C_i}{\partial z} - \Phi_i \quad (4)$$

όπου C_i είναι η συγκέντρωση του $\text{NH}_4\text{-N}$ ή $\text{NO}_3\text{-N}$ στο εδαφικό διάλυμα (mg/l), D είναι ο συντελεστής διασποράς (cm^2/h), θ είναι η περιεχόμενη εδαφική υγρασία (cm^3/cm^3), q είναι η ταχύτητα Darcy (cm/h), R είναι ο συντελεστής επιβράδυνσης και ο όρος Φ_i εκφράζει την πρόσληψη ή αφαίρεση λόγω των μετασχηματισμών του $\text{NH}_4\text{-N}$ ($i=1$) ή $\text{NO}_3\text{-N}$ ($i=2$).

Ο συντελεστής επιβράδυνσης είναι ίσος με $R=1+\rho KD/\theta$ στην εξίσωση του αμμωνιακού αζώτου και έχει τιμή μονάδα στην εξίσωση του $\text{NO}_3\text{-N}$ (Αντωνόπουλος, 1993). Το KD είναι ο συντελεστής κατανομής (cm^3/gr) και ρ είναι η πυκνότητα του εδάφους (gr/cm^3).

Ο όρος της προσθήκης ή αφαίρεσης του $\text{NH}_4\text{-N}$ λόγω των μετασχηματισμών, εκφράζεται από τη σχέση

$$\Phi_1 = \theta \xi_1 - K_1 \theta C_1 - Q_a + F_a \quad (5)$$

όπου ξ_1 είναι η παραγόμενη ποσότητα $\text{NH}_4\text{-N}$ κατά την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας, Q_a είναι η πρόσληψη του $\text{NH}_4\text{-N}$ ανά μονάδα όγκου του εδάφους, $K_1 \theta C_1$ είναι ο όρος της νιτροποίησης και F_a είναι εφαρμοζόμενη ανόργανη λίπανση ανά μονάδα όγκου εδάφους και χρόνου.

Ο όρος της προσθήκης και αφαίρεσης του $\text{NO}_3\text{-N}$ λόγω των μετασχηματισμών του $\text{NO}_3\text{-N}$, εκφράζεται από τη σχέση

$$\Phi_2 = K_1 \theta C_1 - K_2 \theta C_2 - Q_n + F_n \quad (6)$$

όπου Q_n είναι η πρόσληψη του $\text{NO}_3\text{-N}$ ανά μονάδα όγκου του εδάφους, $K_2\theta C_2$ είναι ο όρος της απονιτροποίησης και F_n είναι εφαρμοζόμενη ανόργανη λίπανση ανά μονάδα όγκου εδάφους και χρόνου.

Η πρόσληψη N από τα φυτά, που εκφράζεται από τους όρους Q_a και Q_n , περιγράφεται από το μακροσκοπικό μοντέλο της προσέγγισης των Michaelis-Menten.

$$Q_i = Q_m (f_g e_i R(z)) \frac{C_i}{K_m + C_1 + C_2} \quad (7)$$

όπου Q_m είναι η μέγιστη πρόσληψη αζώτου, K_m είναι η σταθερά των Michaelis-Menten, f_g είναι μια συνάρτηση που εκφράζει την ανάπτυξη των φυτών, e_i είναι ο παράγοντας της επίδρασης της θερμοκρασίας στην πρόσληψη και $R(z)$ είναι η κατανομή των ριζών στο έδαφος.

Η ανοργανοποίηση του οργανικού αζώτου περιγράφεται στο μοντέλο με τις διαδικασίες των Johnsson et al. (1987). Το οργανικό άζωτο θεωρείται ότι βρίσκεται υπό τη μορφή τριών διαφορετικών κλάσμάτων στο έδαφος. Στο ένα περιλαμβάνεται το οργανικό άζωτο του χούμου που αποικοδομείται βραδέως και για το οποίο η ανοργανοποίηση θεωρείται ότι ακολουθεί αντίδραση πρώτης τάξης. Τα άλλα δύο κλάσματα είναι των υπολειμμάτων των φυτών και των ζωικών κόπρων. Η απελευθέρωση του αζώτου από αυτά τα δύο κλάσματα εξαρτάται κυρίως από την αποικοδόμηση του άνθρακα. Η καθαρή ανοργανοποίηση των κλάσμάτων αυτών εξαρτάται από την αναλογία C/N και την αποικοδομούμενη ποσότητα άνθρακα.

Οι μετασηματισμοί της ανοργανοποίησης, νιτροποίησης, απονιτροποίησης και πρόσληψης επηρεάζονται από αβιοτικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Για την ενσωμάτωση των επιδράσεων αυτών οι συντελεστές K_i εκφράζονται από τη σχέση

$$K_i = k_i f_t f_w \quad (8)$$

όπου k_i είναι η τιμή του συντελεστή για άριστες συνθήκες, f_t είναι ο παράγοντας επίδρασης της θερμοκρασίας και f_w είναι ο παράγοντας επίδρασης της υγρασίας στην διαδικασία i .

Η επίλυση των διαφορικών εξισώσεων (1) και (4) γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (Antonopoulos, 1993). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η εξαρτημένη μεταβλητή κάθε εξίσωσης ($y = h, C, Y$) προσεγγίζεται από μία πεπερασμένη σειρά ως συνάρτηση των κομβικών τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και των συναρτήσεων μορφής. Η ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ προσεγγιστικής και ακριβούς λύσης γίνεται με τη βοήθεια του κριτηρίου Galerkin. Η προσέγγιση των χρονικών παραγώγων γίνεται με μιας δεύτερης τάξης προσέγγιση στο χρόνο (τύπου Crank-Nicolson), και τελικά οδηγούν σε αλγεβρικά συστήματα με τριδιαγωνικά μητρώα των αγνώστων, που λύνονται με τις μεθόδους της αριθμητικής ανάλυσης.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα πειραματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση, με το μοντέλο WANISIM, της κίνησης του νερού και της τύχης του αζώτου προέρχονται από μία πειραματική διαδικασία που αναπτύχθηκε σε ένα αγρό, στο αγρόκτημα του Ινστιτούτου Εγγείων Βελτιώσεων στη Σίνδο της Θεσσαλονίκης. Στον πειραματικό αυτό αγρό καλλιεργήθηκε αραβόσιτος κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτος 1996. Στο έδαφος έγιναν οι απαραίτητες

εδαφολογικές αναλύσεις και προσδιορίστηκαν οι υδραυλικές παράμετροι. Κατά την χρονική περίοδο από 1/5 μέχρι 15/11/1996 έγιναν μετρήσεις ανά δεκαπενθήμερο και μερικές φορές συχνότερα, που αφορούσαν την κατανομή του νερού και του οργανικού και ανόργανου αζώτου στο έδαφος, την ανάπτυξη των φυτών, την πρόσληψη νερού και αζώτου και μετρήσεις που αφορούσαν τις αρδεύσεις και τις λιπάνσεις (χρόνος, διάρκεια, ποσότητα).

Το έδαφος του αγρού χαρακτηρίζεται ως αμμοπηλώδες (SL) που στα βαθύτερα στρώματα γίνεται πηλώδες. Η πυκνότητα, η υγρασία κορεσμού, η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού και η περιεχόμενη οργανική ουσία και το άζωτο δίνονται στον Πίνακα 1.

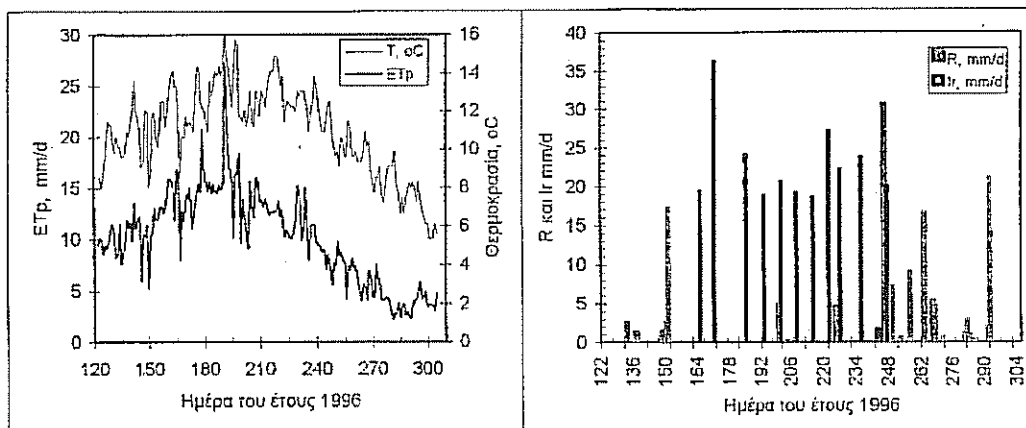
Η χρονική περίοδος προσομοίωσης είναι από 1/5/1996 μέχρι 31/10/1996. Χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα, της ίδιας χρονικής περιόδου, του σταθμού του ΓΕΒ Σίνδου. Η ημερήσια βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή και η θερμοκρασία αποτελούν μεταβλητές εισόδου του μοντέλου WANISIM (Σχήμα 1α). Οι αρδεύσεις που εφαρμόστηκαν άρχισαν στις 17/6/1990 και επαναλήφθηκαν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Στο Σχήμα 1β δίνονται το ύψος νερού και η συχνότητα των αρδεύσεων και βροχοπτώσεων της περιόδου προσομοίωσης.

Τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και η μεταβολή των παραμέτρων κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου μετρήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία. Η εφαρμογή της αζωτούχου λίπανσης έγινε εφάπαξ με τη σπορά στις 7/5/1996 και περιελάμβανε 25 kg αζώτου ανά στρέμμα.

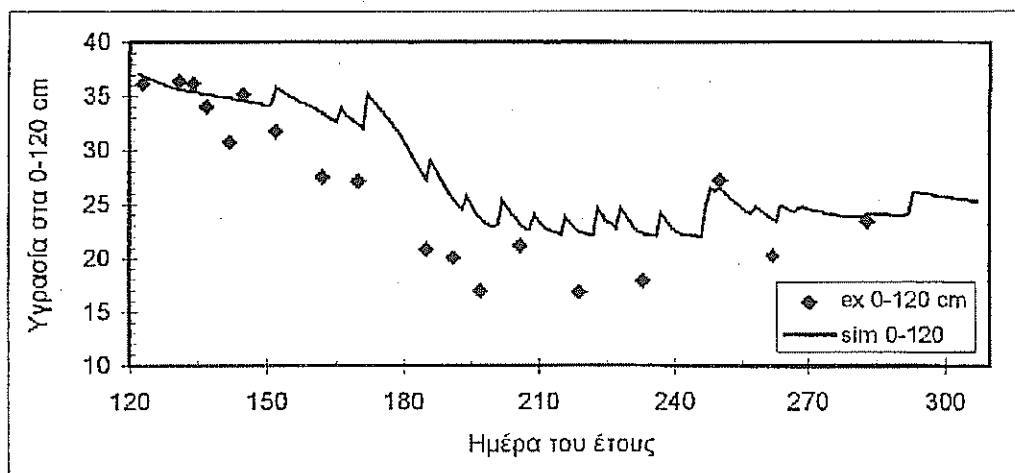
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η διακύμανση της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας σε πάχος εδάφους 1.2 m. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνει ότι το μοντέλο υπερεκτιμά την συνολική υγρασία στο έδαφος σε σχέση με τις παρατηρήσεις. Η διακύμανση της αποθηκευμένης υγρασίας στο ριζόστρωμα μαζί με την αποθηκευμένη υγρασία που αντιστοιχεί στην υδατοικανότητα (yFC), το σημείο μόνιμης μαράνσεως (y_{wp}) και το κρίσιμο επίπεδο (y_c) καθόλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου δίνεται στο Σχήμα 3. Τα αποτελέσματα στο Σχήμα 3 δείχνουν ότι η αποθηκευμένη υγρασία στο ριζόστρωμα, εκτός από τις πρώτες 45 ημέρες, βρισκόταν κάτω από το κρίσιμο επίπεδο, γεγονός που σημαίνει ότι τα φυτά αναπτύσσονταν κάτω από μη ικανοποιητική υγρασία στο ριζόστρωμα. Οι συνθήκες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα την απουσία βαθιάς διήθησης κατά τη διάρκεια της περιόδου των αρδεύσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Ορισμένα χαρακτηριστικά του εδάφους και συντελεστές.

Βάθος cm	ρ g/cm ³	θ_s cm ³ /cm ³	K_s cm/h	Οργαν. C %	Οργαν. N %	K_D cm ³ /g	K_1 1/h	K_2 1/h
0-30	1.588	0.401	0.313	1.73	0.05	0.50	0.025	0.001
30-55	1.555	0.401	1.179	0.35	0.03	0.25	0.005	0.001
55-80	1.516	0.398	3.383	0.22	0.02	0.25	0.001	0.001
80-120	1.498	0.446	3.383	0.07	0.02	0.25	0.001	0.001



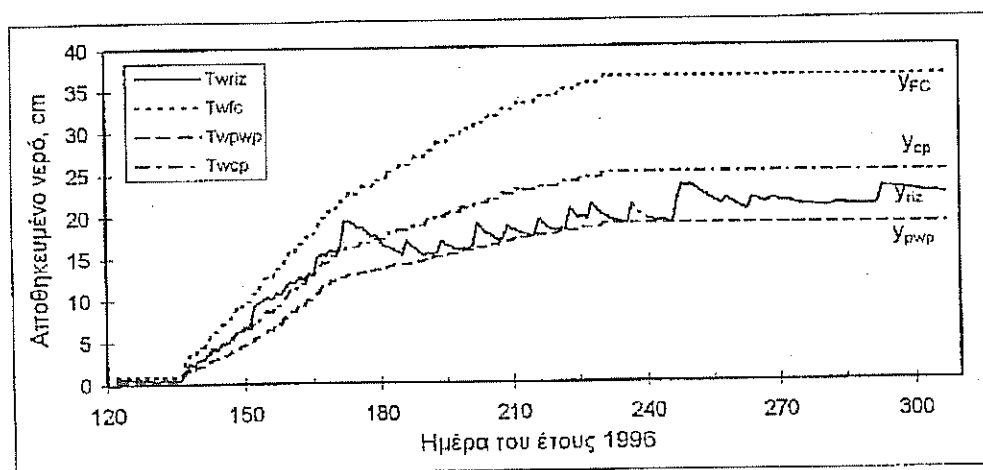
ΣΧΗΜΑ 1. α) Ημερήσια θερμοκρασία και δυναμική εξατμισοδιαπνοή και β) ύψος νερού και συχνότητα βροχοπτώσεων (R) και αρδεύσεων (Ir) κατά την περίοδο 1/5/96 έως 31/10/96 στο IEB Σίνδου.



ΣΧΗΜΑ 2. Διακύμανση της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας στο έδαφος πάχους 1,2 m σε σύγκριση με τις μετρημένες τιμές στον αγρό.

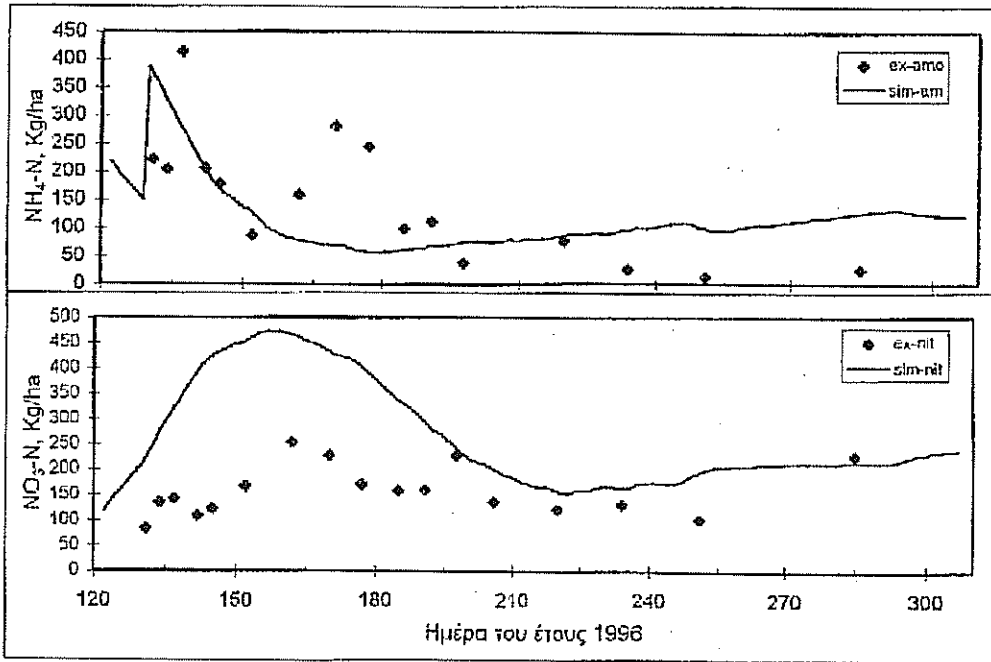
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της δυναμικής του αζώτου παρουσιάζονται στα Σχήματα 4, 5 και 6. Στο Σχήμα 4 δίνονται οι διακυμάνσεις του ολικού αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου στο έδαφος κατά την διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης. Οι τιμές των συντελεστών κατανομής (KD), νιτροποίησης (K1) και αιονιτροποίησης (K2) που χρησιμοποιούνται στα διαφορετικά βάθη του εδάφους δίνονται στον Πίνακα 1.

Σχετικά με το αμμωνιακό άζωτο παρατηρείται αύξηση στο έδαφος αμέσως μετά την λίπανση που μειώνεται γρήγορα μετά από ένα μήνα. Η ολική ποσότητα αμμωνιακού αζώτου διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα καθόλη την υπόλοιπη περίοδο. Το νιτρικό άζωτο παρουσιάζει αύξηση λίγο μετά την λίπανση, που είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη νιτροποίηση της αμμωνίας. Μετά την ολοκλήρωση της νιτροποίησης η ολική ποσότητα των νιτρικών μειώνεται σημαντικά ως αποτέλεσμα της πρόσληψης τους από τα φυτά και της απονιτροποίησης και μετά τα μέσα Αυγούστου, χρονική περίοδο που τερματίζεται η πρόσληψη αζώτου από τα φυτά, διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα με τάση μικρής αύξησης. Τα πειραματικά αποτελέσματα, ενώ ακολουθούν την ίδια διακύμανση (αύξηση μετά τη λίπανση, μείωση στη συνέχεια και ελαφρά αύξηση αργότερα) υπολείπονται σημαντικά των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων μηνών.

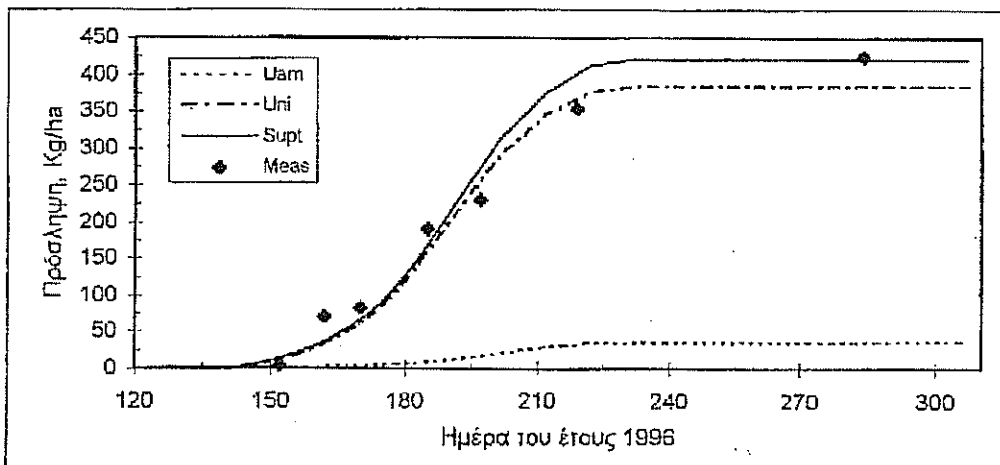


ΣΧΗΜΑ 3. Διακύμανση της αποθηκευμένης υγρασίας στο ριζόστρομα (y_{riz}) μαζί με την αντιστοιχούσα στην υδατοικανότητα (y_{FC}), το σημείο μόνιμης μαράνσεως (y_{rwp}) και το κρίσιμο επίπεδο (y_{cp}).

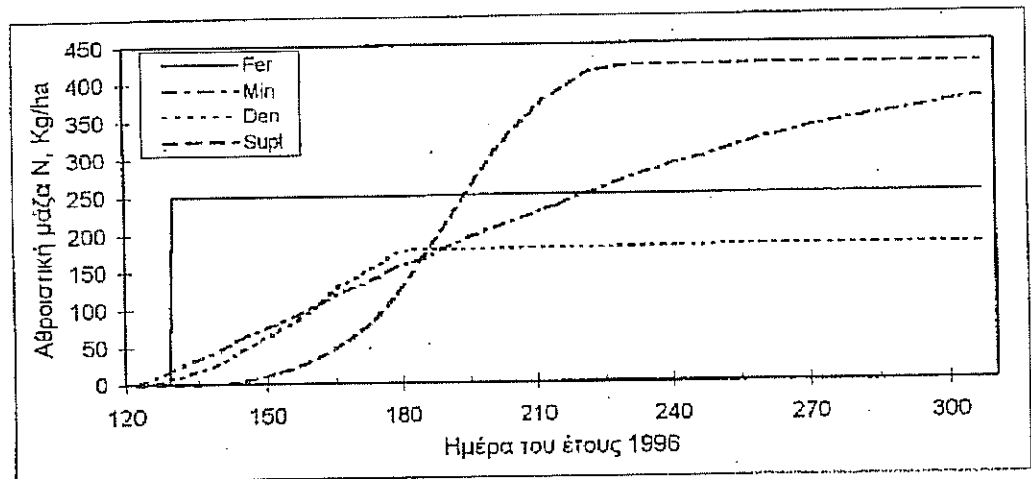
Δύο είναι οι σημαντικότερες διαδικασίες απομάκρυνσης του αζώτου από το έδαφος. Οι ποσότητες του αζώτου που προσλαμβάνονται από τα φυτά (Σχήμα 5) και αυτές που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα λόγω των αέριων μορφών που δημιουργούνται με την απονιτροποίηση. Η πρόσληψη του αζώτου ανέρχεται στα 430 Kg/ha, κυρίως με την νιτρική μορφή. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τις μετρήσεις πρόσληψης του N από τα φυτά. Η έκπλυση τόσο της αμμωνιακής, όσο και της νιτρικής μορφής είναι ασήμαντη λόγω της ασήμαντης βαθιάς διήθησης νερού. Πηγές N για το έδαφος (Σχήμα 6) αποτελούν η λίπανση και η ανοργανοποίηση του οργανικού N. Η τελευταία είναι συνεχής και φτάνει στα 380 Kg/ha για την περίοδο μελέτης. Το ισοζύγιο του αζώτου στον πειραματικό αγρό, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 2.



ΣΧΗΜΑ 4. Διακύμανση της ολικού αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου του εδάφους κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, σε σύγκριση με τις μετρήσεις.



Σχήμα 5. Αθροιστική πρόσληψη αμμωνιακού, νιτρικού και ολικού αζώτου από τα φυτά σε σύγκριση με τις μετρούμενες τιμές στην παραγόμενη φυτομάζα.



Σχήμα 6. Αθροιστική λίπανση (Fer), ανοργανοποίηση (Min), απονιτροποίηση (Den) και πρόσληψη (Supt) αζώτου, κατά την περίοδο μελέτης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ισοζύγιο αμμωνιακού, νιτρικού και ολικού αζώτου στο έδαφος.

Αμμωνιακό N		Νιτρικό N		Ολικό N	
Διαδικασία	Kg/ha	Διαδικασία	Kg/ha	Διαδικασία	Kg/ha
Λίπανση	+250.0	Λίπανση	+0.0	Λίπανση	+250.0
Ανοργανοποίηση	+372.9	Εισροή με άρδευση	+26.6	Εισροή άρδευσης	+26.6
Νιτροποίηση	-674.9	Νιτροποίηση	+674.9	Ανοργανοποίηση	+372.9
Εκπλυση	-0.0	Εκπλυση	-0.0	Εκπλυση	-0.0
Πρόσληψη	-39.8	Πρόσληψη	-382.7	Πρόσληψη	-422.5
		Απονιτροποίηση	-168.5	Απονιτροποίηση	-168.5
Εισροή/Εκροή	-91.8	Εισροή/Εκροή	+150.3	Εισροή/Εκροή	+58.5

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο WANISIM για την προσομοίωση της δυναμικής του νερού και του αζώτου σε ένα αγρό καλλιεργούμενο με αραβόσιτο της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Στον αγρό εφαρμόστηκε εφάπαξ N λίπανση και έγιναν αρδεύσεις μεταξύ 15 Ιουνίου και 25 Αυγούστου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν με πειραματικές μετρήσεις της υγρασίας και του ανόργανου αζώτου του εδάφους και της πρόσληψης N στην φυτομάζα των φυτών. Το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την χρονική και χωρική μεταβολή της υγρασίας και την πρόσληψη του N. Η σύγκριση αποτελεσμάτων για το ανόργανο N στο έδαφος και των μετρήσεων δείχνει καλύτερη συμφωνία για το αμμωνιακό από ότι για το νιτρικό N.

Το σύνθετο μαθηματικό μοντέλο WANISIM δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την διακύμανση της εδαφικής υγρασίας και της μάζας του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου στο έδαφος. Ο συνεχής υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας και των μορφών του αζώτου για διαφορετικά σενάρια αζωτούχου λίπανσης και προγράμματος άρδευσης έχει ως σκοπό την σωστή διαχείριση νερού και αζώτου σε επίπεδο αγροτεμαχίου, ώστε να γίνεται η καλύτερη αξιοποίηση υδατικών πόρων, αποδοτικής λίπανσης και προστασίας των υπογείων νερών από την ρύπανση με νιτρικά, αλλά και την ρύπανση των επιφανειακών αποδεκτών με το στραγγιστικό νερό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΠΕΝΕΔ 95, Κ.Ε.658) για την μερική οικονομική υποστήριξη της έρευνας αυτής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνόπουλος Β., WANISIM-Μονοδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης της δυναμικής του νερού και του αζώτου στο έδαφος, Μονογραφία, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π. Θεσσαλονίκης, 1998, 82 σελ.
2. Antonopoulos V, Wyseure G. Modeling of water and nitrogen dynamics on an undisturbed soil and a restored soil after open-cast mining, *Agricultural Water Management*, 1998, 37, 21-40.
3. Αντωνόπουλος Β. Ποιότητα και ρύπανση των υπογείων νερών. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 1993, σελ. 175.
4. Antonopoulos V. Simulation of water and nitrogen dynamics in soils during wastewater applications by using a finite element model. *Water Resources Management*, 1993, 7, 237-251.
5. Belmans C, Wesseling J G, Feddes R A. Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE, *Journal of Hydrology*, 1983, 63, 271-286.
6. Bergstrom L, Jarvis N J. Prediction of nitrate leaching losses from arable and under different fertilization intensities using the SOIL-SOILN models, *Soil Use and Management*, 1991, 7, 79-85.
7. Breve M A, Skaggs R W, Parsons J E, Gilliam J W. DRAINMOD-N, A nitrogen model for artificially drained soils, *Transactions of ASAE*, 1997, 40, 1067-1075.
8. Hutson J L, Wagenet R J. Simulating nitrogen dynamics in soils using a deterministic model. *Soil Use and Management*, 1991, 7, 74-94.
9. Huwe B, Totsch K U. Deterministic and stochastic modelling of water, heat and nitrogen dynamics on different scales with WHNSIM, *Journal of Contaminant Hydrology*, 1995, 20, 265-284.
10. Jarvis N J. Simulation of soil water dynamics and herbicide persistence in a silt loam soil using the MACRO model, *Ecological Modelling*, 1995, 81, 97-109.
11. Johnsson H, Bergstrom H L, Jansson P E, Paustian K. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1987, 18, 333-356.
12. Vanclouster M, Viaene P, Diels J, Feyen J. A deterministic evaluation analysis applied to an integrated soil-crop model, *Ecological Modelling*, 1995, 81, 183-195.

ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΙΩΜΕΝΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ

Χ. Καβαλάρης¹, Θ.Α. Γέμιος², Χ. Γεωργίου³, Μ. Κουρκούτας³

¹Υποψήφιος διδάκτωρ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής,
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πεδίο Άρεως, Βόλος,

²Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής,
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Πεδίο Άρεως, Βόλος,

³Φοιτητές του Τμήματος Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με σκοπό την μείωση των εισροών σε καύσιμα και μηχανήματα για την εγκατάσταση μιας φυτείας καλαμποκιού, το 1996 στην περιοχή του Βελεστίνου, εγκαταστάθηκε ένα τριετές πείραμα όπου δοκιμάστηκαν πέντε διαφορετικές μέθοδοι προετοιμασίας του εδάφους: 1) Συμβατική μέθοδος με όργωμα, 2) μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή, 3) μειωμένη με περιστροφικό καλλιεργητή, 4) μειωμένη με δισσοσβάρνα και 5) ακαλλιέργεια. Τα 2 πρώτα έτη πειραματισμού έδειξαν ότι το έδαφος στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας και ιδίως στην ακαλλιέργεια, ήταν πιο συμπαγεμένο, γεγονός που είχε ως συνέπεια τα φυτά στις μεταχειρίσεις αυτές να εμφανίζουν περιορισμένη ανάπτυξη και μειωμένες αποδόσεις. Επιπλέον, η ύπαρξη φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους κατά την περίοδο της σποράς, δυσχέραινε την επικάλυψη του σπόρου, με συνέπεια τη σημαντική μείωση του φυτρώματος.

ABSTRACT

In order to reduce inputs in fuel and machinery for the establishment of a corn crop, in 1996 at the area of Velesтино, central Greece, a three year experiment was established where five methods of seedbed preparation were tested: 1) Conventional ploughing, 2) reduced tillage with heavy cultivator, 3) reduced with rotary cultivator, 4) reduced with disk harrow and 5) no-tillage. The results from the first two years indicated that the soil at the reduced methods of tillage and especially at no-tillage, where more compacted. As a consequence, the plants at these methods presented reduced growth and lower yields. Moreover, the existence of plant residue at the soil surface during planting, impeded the covering of the seed with consequence a significant reduced emergence.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις στον χώρο της γεωργίας σήμερα επιβάλλουν στην διάμρφωση ευέλκτων αγροτικών επιχειρήσεων οι οποίες θα επιβιώσουν μέσα από τη μείωση του κόστους σε όλα τα επίπεδα της παραγωγής ενώ παράλληλα θα εμφανίζουν ένα χαρακτήρα που να ανταποκρίνεται στις σύγχρονες απαιτήσεις για σεβασμό και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Η εφαρμογή μεθόδων μειωμένων εισροών για τη κατεργασία του εδάφους, μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας [11] ενώ παράλληλα περιορίζεται η καταπόνηση και συνεπώς η φθορά του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η χρήση περιστροφικού καλλιεργητή σε αντικατάσταση του αρότρου, μπορεί να επιφέρει μέχρι και 18,7% μείωση στη καταναλισκόμενη ενέργεια [5], ενώ με την εφαρμογή συστημάτων ακαλλιέργειας η εξοικονόμηση μπορεί να φθάσει μέχρι και 70% [10]. Εκτός αυτού, η μετάβαση σε λιγότερο εντατικές μορφές κατεργασίας προσφέρει μια σειρά από οφέλη που σχετίζονται με τη διατήρηση της ποιότητας του εδάφους. Έρευνες που κατά καιρούς έχουν γίνει, έχουν δείξει ότι η μείωση της εντατικότητας και ιδίως η εφαρμογή μεθόδων ακαλλιέργειας, συμβάλλουν στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους [6], στην βελτίωση της δομής του [7] και στην καλύτερη διαχείριση του νερού και της εδαφικής υγρασίας [2]. Επιπλέον, οι μέθοδοι αυτές διατηρούν την επιφάνεια του εδάφους καλυμμένη με φυτικά υπολείμματα, τα οποία το προστατεύουν από τη διάβρωση. Ωστόσο έχει παρατηρηθεί πολλές φορές, ιδίως στα συστήματα της ακαλλιέργειας όταν το καλαμπόκι ακολουθεί καλλιέργεια καλαμποκιού ή σιτηρών, η ύπαρξη της στρωμνής των φυτικών υπολειμμάτων να εμποδίζει τη σπορά και το φύτευμα της καλλιέργειας. [4], [9]. Πειραματικά δεδομένα έχουν δείξει ότι με την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας, η απόδοση του καλαμποκιού είναι παρόμοια ή και υψηλότερη σε περιόδους όπου η εδαφική υγρασία είναι χαμηλή, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο [1], [2], [8]. Ωστόσο με την μείωση της κατεργασίας πιθανώς να εμφανιστούν μια σειρά από προβλήματα τα κυριότερα από τα οποία σχετίζονται με την αύξηση των ζιζανίων. Το γεγονός αυτό επιβάλλει την αυξημένη χρήση τόσο προφυτρωτικών όσο και μεταφυτρωτικών χημικών σκευασμάτων [3].

Με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής μεθόδων μειωμένων εισροών κατά την εγκατάσταση τριών βασικών καλλιεργειών για το χώρο της Ελληνικής γεωργίας σήμερα, το 1996 στην περιοχή του Βελεστίνου εγκαταστάθηκε ένα τριετές πείραμα αμειψισπορών καλαμποκιού, βαμβάκιου και ζαχαρότευτλων όπου δοκιμάστηκαν εναλλακτικές μέθοδοι για την προετοιμασία του εδάφους. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δύο πρώτων ετών για τη καλλιέργεια του καλαμποκιού.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η μορφή του πειραματικού σχεδίου ήταν πλήρως τυχαιοποιημένες ομάδες με 5 τεμάχια και 4 επαναλήψεις σε δύο πειραματικούς αγρούς οι οποίοι κατά το προηγούμενο έτος είχαν καλλιεργηθεί με βαμβάκι (πίνακας 1). Τα τεμάχια είχαν διαστάσεις 6X10 m και περιελάμβαναν τις εξής 5 διαφορετικές μεθόδους προετοιμασίας του εδάφους:

- 1. Συμβατική κατεργασία:** Όργωμα σε βάθος 25-30 cm κατά τη περίοδο του φθινοπώρου και δύο περάσματα με δισκοσβάρνα την άνοιξη πριν τη σπορά.
- 2. Μειωμένη κατεργασία με χρήση βαρύ καλλιεργητή:** Ένα πέρασμα με βαρύ καλλιεργητή σε βάθος 20-25 cm το φθινόπωρο και δύο περάσματα με δισκοσβάρνα την άνοιξη πριν τη σπορά.
- 3. Μειωμένη με χρήση περιστροφικού καλλιεργητή:** Ένα πέρασμα με περιστροφικό καλλιεργητή σε βάθος 15 cm το φθινόπωρο και δύο με δισκοσβάρνα την άνοιξη.
- 4. Μειωμένη με χρήση δισκοσβάρνας:** Δύο περάσματα με δισκοσβάρνα σε βάθος 8 cm το φθινόπωρο και δύο την άνοιξη.
- 5. Ακαλλιέργεια:** Απ' ευθείας σπορά σε ακατέργαστο έδαφος και καταστροφή της υπάρχουσας βλάστησης με εφαρμογή glyphosate πριν το φύτευμα της καλλιέργειας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μηχανική σύσταση και οργανική ουσία του εδάφους των δύο πειραματικών αγρών.

	Τύπος εδάφους	μμος (%)	ιλύς (%)	αργίλος (%)	Οργανική Ουσία (%)
αγρός 1	<i>ιλο-αργιλώδες</i>	9,7	41,1	49,2	1,26
αγρός 2	<i>αργιλώδες</i>	20,1	32,7	47,1	1,08

Η πρωτογενής κατεργασία του εδάφους για την καλλιεργητική περίοδο του 1996-97, έγιναν μέσα στον Νοέμβριο του 96 ενώ η προετοιμασία της σποροκλίνης ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 97 με δύο περάσματα της δισκοσβάρνας σε όλα τα τεμάχια πλην αυτών της ακαλλιέργειας. Για την καταστροφή της βλάστησης, στα τεμάχια της ακαλλιέργειας, έγινε ψεκασμός στις 26/3/97 με 400 g/στρέμμα glyphosate. Επίσης για τον έλεγχο των ζιζανίων έγινε ψεκασμός στις 7/5, όλων των μεταχειρίσεων, με 430 g/στρέμμα alachlor+atrazine ενώ δύο σκαλίσματα με το χέρι πραγματοποιήθηκαν στις 28/5 και 29/6. Με βάση χημική ανάλυση του εδάφους, εφαρμόστηκαν 12-12-35 μονάδες N-P-K ως βασική λίπανση με ενσωμάτωση πριν τη σπορά, ενώ μέσα στον Ιούνιο προστέθηκαν άλλες 10 μονάδες N επιφανειακά. Η σπορά έγινε στις 9/4 σε γραμμές πλάτους 1 m με πνευματική μηχανή ρυθμισμένη να τοποθετεί 9 σπόρους/m γραμμής σε βάθος 4 cm. Χρησιμοποιήθηκε υβρίδιο της PIONEER. Για την άρδευση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν λάστιχα Φ20 με σταλάκτες παροχής 4 l/h σε αποστάσεις 1 m τα οποία τοποθετήθηκαν ανά δεύτερη γραμμή (πλάτος 2 m). Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού έγιναν έξι συνολικά ποτίσματα το κάθε ένα με 60 m³/στρέμμα. Η συγκομιδή του καλαμποκιού έγινε με το χέρι στις 15/9/97.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του 1997-98, οι πρωτογενείς κατεργασίες του εδάφους πραγματοποιήθηκαν στις 26/3/98 ενώ η προετοιμασία της σποροκλίνης ολοκληρώθηκε μια εβδομάδα αργότερα με δύο περάσματα της δισκοσβάρνας. Ο ψεκασμός της ακαλλιέργειας με glyphosate έγινε στις 8/4 αυτή τη φορά με εφαρμογή 800 g/στρέμμα. Όλες οι μεταχειρίσεις ψεκάστηκαν στις 21/4 με 450 g/στρέμμα alachlor+atrazine ενώ επιπλέον έγινε ένα σκάλισμα στις 15/5. Η λίπανση περιελάμβανε 12-12-8 μονάδες N-P-K ως βασική και 10 μονάδες N τον Ιούνιο ως επιφανειακή. Η σπορά έγινε στις 7/4 χρησιμοποιώντας υβρίδιο της MONDO, ενώ για τη άρδευση της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκαν και πάλι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού 6 ποτίσματα με σταγόνες. Η συγκομιδή έγινε με το χέρι στις 14/9/98.

Κατά τη διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων λήφθηκαν παρατηρήσεις που αφορούσαν φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους και χαρακτηριστικά ανάπτυξης της καλλιέργειας. Σχετικά με το έδαφος μετρήθηκαν:

Η υγρασία και το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους στην περιοχή της σποροκλίνης. Από κάθε πειραματικό τεμάχιο συλλέχθηκαν δύο δείγματα εδάφους από δύο βάθη, 0.5-3 cm και 7.5-10 cm. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια του φυτωριού της καλλιέργειας.

Η αντοχή του εδάφους στη διάτμηση, με χρήση μεταλλικού περυγίου και ηλεκτρονικού ρολοζακίδου. Από κάθε πειραματικό τεμάχιο λαμβάνονταν τρεις μετρήσεις σε διαστήματα των 5 cm και μέχρι τα 25 cm, από τις οποίες για κάθε βάθος προσέκυπτε ένας μέσος όρος. Το 1997 πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές μετρήσεων στις 23/5 και 20/6, ενώ το 1998 μία σειρά στις 20/5.

Η αντίσταση του εδάφους στη διεύδυση. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, σε βάθος μέχρι και 45 cm, χρησιμοποιώντας το 1997 ένα ηλεκτρονικό και το 1998 ένα μηχανικό κωνικό διευσδιάσιόμετρο.

Παρατηρήσεις τέλος που αφορούσαν την υπέργεια ξηρά βιομάζα των ζιζανίων λήφθηκαν από δύο τυχαίες επιφάνειες 0,25 m² σε κάθε τεμάχιο, το 1997 στις 18/1, 14/3 και 18/5 και το 1998 στις 22/4, 15/5 και 15/7.

Σχετικά με την ανάπτυξη της καλλιέργειας οι παρατηρήσεις αφορούσαν:

Το φυτόωμα του καλαμποκιού. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο ορίστηκε μια γραμμική παρατηρήσεων μήκους 6 m στην οποία περιοδικά και μέχρι την ολοκλήρωση του φυτώματος καταγραφόταν τα φυτά που είχαν φυτώσει.

Ο μέσος αριθμός των φύλλων και το ύψος ανά φυτό. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο σημαδεύτηκαν πέντε φυτά στα οποία καταγραφόταν μέχρι την τελική τους ανάπτυξη το ύψος και ο αριθμός των φύλλων. Ως σημείο αναφοράς για το ύψος ορίστηκε η βάση του ζολεού του τελευταίου εκπτυγμένου φύλλου.

Ο αριθμός των αρσενικών ταξιανθιών και των σπαδίκων. Κατά την διάρκεια του αναπαραγωγικού σταδίου, καταγραφόταν επί των γραμμών παρατηρήσεων το ποσοστό των φυτών που είχαν εκπτύξει την αρσενική τους ταξιανθία καθώς και ο συνολικός αριθμός σπαδικών επί της γραμμής.

Στη συγκομιδή συλλέχθηκαν οι σπάδιζες επί των γραμμών παρατηρήσεων, εκκοκίστηκαν και υπολογίστηκε το βάρος του σπόρου και η υγρασία του. Για τον υπολογισμό της απόδοσης το βάρος του σπόρου ανήχθη σε υγρασία 15,2%.

Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων δημιουργήθηκαν ειδικά βιβλία εργασίας στο MICROSOFT EXCEL ενώ έγινε επαλήθευση των αποτελεσμάτων με ανάλυση ορισμένων παραγόντων χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο MSTATC

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

A. Ζιζάνια

Με τη μετάβαση σε λιγότερο εντατικές μορφές κατεργασίας παρατηρείται γενικά μια σημαντική αύξηση των ζιζανίων (πίνακας 2). Στις 16/1 το 1997, δύο μήνες μετά τη πρωτογενή κατεργασία και στις 14/3, λίγο πριν την προετοιμασία της σποροκλίνης, η επιφάνεια στα τεμάχια της ακαλλιέργειας ήταν σχεδόν πλήρως καλυμμένη από ζιζάνια. Την ίδια περίοδο αυξημένο ποσοστό εμφάνιζαν τα τεμάχια του βαρύ καλλιεργητή ενώ σημαντικά μειωμένη ήταν η ποσότητα στα τεμάχια της συμβατικής μεθόδου αποδεικνύοντας ότι αποτελεί τον καταλληλότερο τρόπο κατεργασίας του εδάφους για τον έλεγχο των ζιζανίων. Στις 18/5, μετά την δευτερογενή κατεργασία και τον ψεκασμό του glyphosate, οι διαφορές μεταξύ των κατεργασιών μετριάστηκαν. Ωστόσο, ήταν σαφές και πάλι ένα αυξημένο ποσοστό ζιζανίων στην ακαλλιέργεια.

Κατά το 1998, ο βαρύς καλλιεργητής δεν εμφάνισε τα προβλήματα του προηγούμενου έτους εξαιτίας του περάσματος με δισκοσβάρνα αμέσως μετά την εφαρμογή του. Στις 22/4, ένα μήνα μετά την προετοιμασία της σποροκλίνης, τα τεμάχια της ακαλλιέργειας εμφάνιζαν ένα σημαντικά αυξημένο ποσοστό ζιζανίων ενώ στις 15/5, τρεις εβδομάδες αργότερα, το ποσοστό είχε σχεδόν μηδενιστεί εξαιτίας της δράσης του glyphosate. Ωστόσο στις 15/7, μετά από δύο μήνες, παρατηρήθηκε και πάλι μια σημαντική αύξηση των ζιζανίων στην ακαλλιέργεια. Αποτελεσματικότερη όλων των μεθόδων αποδείχτηκε και πάλι η συμβατική κατεργασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ξηρά βιομάζα των ζιζανίων (g/m²) στις πέντε μεταχειρίσεις του εδάφους. * = διαφορά στατιστικώς σημαντική για πιθανότητα 95%, ** = διαφορά στατιστικώς σημαντική για πιθανότητα 99%, ns = στατιστικώς μη σημαντική διαφορά.

	1997			1998		
	18/1	14/3	18/5	22/4	15/5	15/7
Συμβατική	10.27	19.72	7.72	4.74	28.82	30.01
Βαρύς καλλιεργητής	72.42	128.31	20.63	32.80	168.71	122.49
Περ. καλλιεργητής	36.25	67.03	26.23	84.19	423.59	253.26
Δισκοσβάρνα	40.00	62.27	30.14	50.74	320.73	224.47
Ακαλλιέργεια	112.45	310.83	65.06	291.47	40.47	303.88
Στατ. σημαντικότητα	**	**	**	**	**	**
Ε.Σ.Δ.	39.52	84.15	13.34	35.37	77.71	75.70
CV %	52.07	51.15	31.84	27.26	28.28	28.97

Β. Έδαφος

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας έδειξαν ότι οι μειωμένες μέθοδοι κατεργασίας έχουν μειωμένη απώλεια νερού από την επιφάνεια του εδάφους διατηρώντας με αυτό το τρόπο μια πιο υγρή σπορογλήνη (πίνακας 3). Από τη μέτρηση στις 25/3 του 1997 προκύπτει ότι το έδαφος στην ακαλλιέργεια διατηρεί ένα σαφώς χαμηλότερο επίπεδο υγρασίας σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Κατά τη περίοδο αυτή φαίνεται ότι τα ζιζάνια με τη λειτουργία της διαπνοής αντλούν τα εδαφικά αποθέματα υγρασίας. Από τις επόμενες μετρήσεις ωστόσο, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν μετά την καταστροφή των ζιζανίων, οι μεταχειρίσεις της ακαλλιέργειας παρουσιάζονται σημαντικά πιο υγρές. Το γεγονός αυτό προφανώς οφείλεται στην στρωμνή που έχουν σχηματίσει στην επιφάνεια του εδάφους τα νεκρά από την δράση του glyphosate φυτικά υπολείμματα των ζιζανίων και η οποία περιορίζει τις απώλειες από εξάτμιση. Παρόμοια, αλλά λιγότερο εμφανής ήταν η κατάσταση του εδάφους στις υπόλοιπες μειωμένες μεθόδους κατεργασίας, ενώ το οργωμένο έδαφος ήταν αυτό που έχανε ευκολότερα την υγρασία του. Το 1998, με σκοπό την καλύτερη διερεύνηση της επίδρασης του παράγοντα αυτού στο φύτρωμα της καλλιέργειας, λήφθηκε μεγαλύτερος αριθμός παρατηρήσεων οι οποίες όμως έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα. Μετά τις 5/5/98 ωστόσο, όπου η μέση εδαφική υγρασία ήταν υψηλή, φαίνεται ότι σε μεγαλύτερο βάθος (7,5-10 cm), το έδαφος στη συμβατική κατεργασία και τον βαρύ καλλιεργητή, έχει μεγαλύτερη υδατοϊκανότητα.

Οι μειωμένες μορφές κατεργασίας παρουσίαζαν, ιδίως στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους, υψηλότερες τιμές φαινομένου ειδικού βάρους (πίνακας 4), μεγαλύτερη αντοχή στη διάτμηση και μεγαλύτερη αντίσταση στη διείδυση. Στα σχήματα 1α και β παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις της διάτμησης στις 20/5/98 και της διείδυσης στις 7/6/97.

Γ. Καλαμπόκι

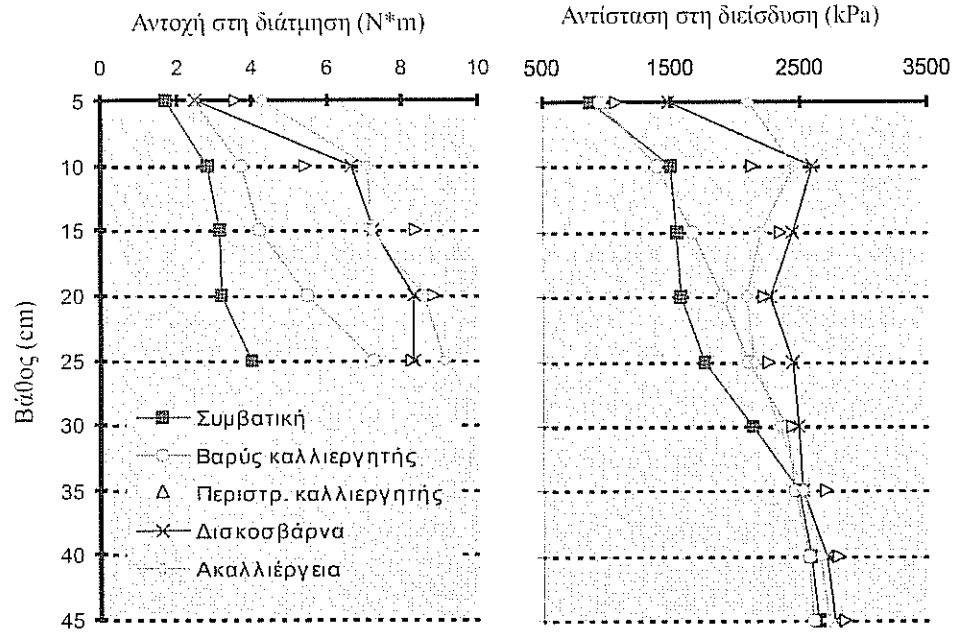
Την πρώτη χρονιά, το φύτρωμα του καλαμποκιού στις μειωμένες μεθόδους κατεργασίας του εδάφους ξεκίνησε καθυστερημένα ενώ τη δεύτερη τα φυτά στις μεθόδους αυτές φύτρωσαν νωρίτερα (σχήμα 2). Όπως φαίνεται και από τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας, το 1997 επικράτησαν σχετικά υγρές καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο του φυτώματος με αποτέλεσμα, αν και χαμηλότερη στη συμβατική μέθοδο, η υγρασία του εδάφους να μην αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την έναρξη του φυτώματος. Η μέση φυτρωτική ικανότητα για τη χρονιά αυτή ήταν 74%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Μέση % υγρασία για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους.

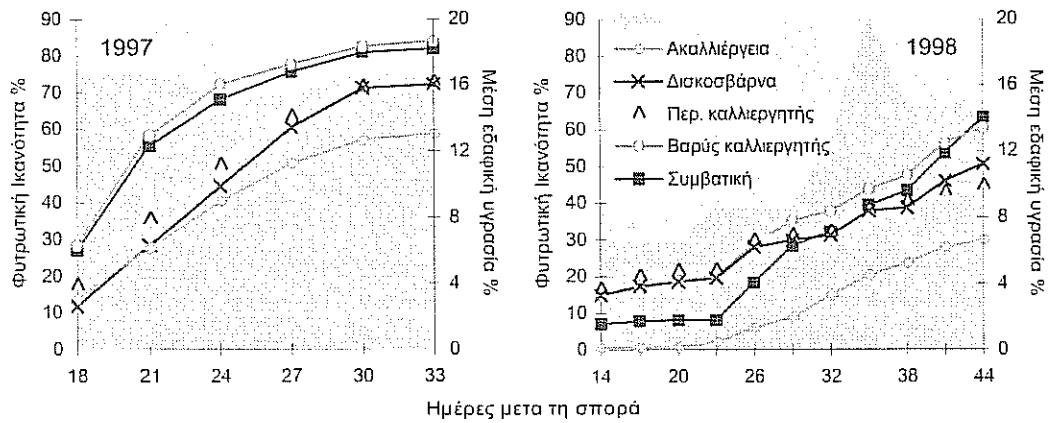
	0.5-3 cm									
	1997			1998						
	26/3	20/4	8/5	22/4	30/4	8/5	12/5	15/5	25/5	
Συμβατική	21.3	15.7	15.1	4.9	6.0	9.4	19.3	13.3	14.0	
Βαρύς καλλιεργητής	22.4	15.9	16.0	5.6	7.7	12.1	20.6	13.7	14.8	
Περ. καλλιεργητής	24.4	17.2	17.1	8.7	10.1	13.3	21.2	15.2	15.3	
Δισκοσβάρνα	23.4	16.7	16.5	6.8	9.0	14.0	21.2	15.3	15.8	
Ακαλλιέργεια	20.8	17.7	19.3	7.0	10.5	14.8	19.3	16.4	16.5	
Στατ. σημαντικότητα	**	*	**	**	**	**	ns	*	ns	
Ε.Σ.Δ.	2.4	1.3	2.3	1.0	1.5	1.9	-	2.0	-	
CV %	7.6	7.6	9.7	10.6	12.6	10.8	15.5	13.0	12.9	
	7.5-10 cm									
	1997			1998						
	26/3	20/4	8/5	22/4	30/4	8/5	12/5	15/5	25/5	
Συμβατική	24.0	19.9	19.5	11.3	13.1	15.8	18.9	17.8	17.4	
Βαρύς καλλιεργητής	24.0	19.7	19.3	10.9	12.7	16.6	18.9	17.1	17.1	
Περ. καλλιεργητής	24.0	18.8	19.3	13.2	13.4	15.0	17.7	16.0	16.1	
Δισκοσβάρνα	23.9	19.7	18.3	13.2	13.4	15.0	17.5	16.8	16.0	
Ακαλλιέργεια	21.8	18.7	18.6	12.0	14.0	15.0	17.2	16.2	16.1	
Στατ. σημαντικότητα	**	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	
Ε.Σ.Δ.	1.7	-	-	0.8	-	1.1	-	-	-	
CV %	5.0	5.0	5.1	5.0	6.6	7.0	7.7	7.5	7.6	

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Φαινόμενο ειδικό βάρος (g/cm³) για τις πέντε μεθόδους κατεργασίας του εδάφους.

	0.5-3 cm				7.5-10 cm			
	1997		1998		1997		1998	
	26/3	20/4	22/4	25/5	26/3	20/4	22/4	25/5
Συμβατική	1.11	1.04	1.16	1.27	1.27	1.28	1.45	1.46
Βαρύς καλλιεργητής	1.13	1.09	1.19	1.25	1.31	1.32	1.46	1.48
Περ. καλλιεργητής	1.16	1.16	1.32	1.33	1.40	1.38	1.56	1.58
Δισκοσβάρνα	1.17	1.18	1.27	1.32	1.43	1.44	1.57	1.59
Ακαλλιέργεια	1.32	1.31	1.49	1.48	1.51	1.52	1.60	1.63
Στατ. σημαντικότητα	*	**	**	*	**	**	ns	*
Ε.Σ.Δ.	0.12	0.16	0.18	0.14	0.13	0.13	-	0.13
CV %	9.98	10.01	9.83	9.89	6.65	6.75	7.79	7.91



ΣΧΗΜΑ 1. Μετρήσεις α) της αντοχής του εδάφους στη διάτμηση στις 20/5/98 και β) της αντίστασης στη διείδυση στις 7/6/97.



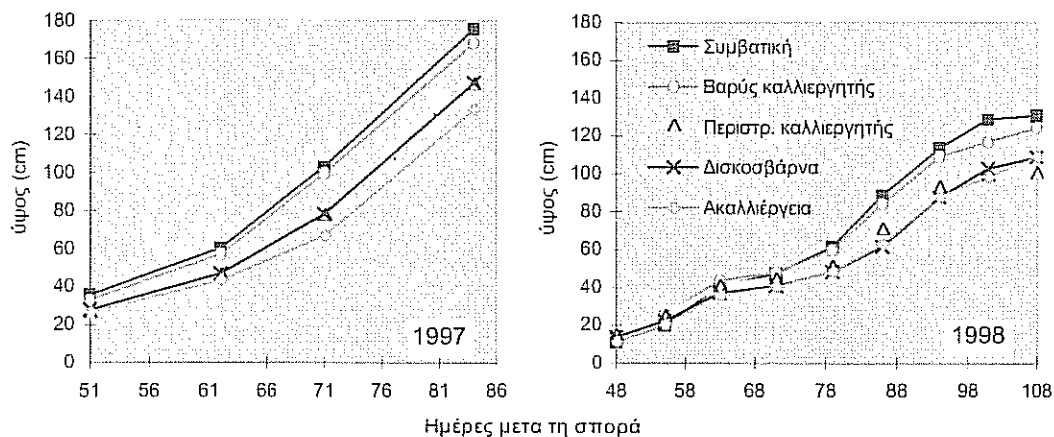
ΣΧΗΜΑ 2. Εξέλιξη του φυτρώματος του καλαμποκιού για τις 5 μεθόδους κατεργασίας του εδάφους.

Το 1998 αντίθετα, υπήρξε μια παρατεταμένη περίοδος μετά τη σπορά και μέχρι να γίνει το πρώτο πότισμα, όπου η υγρασία του εδάφους κυμαινόταν σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι μειωμένες μέθοδοι κατεργασίας πλην της ακαλλιέργειας, διατηρούσαν ένα μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας στην επιφάνειά τους που ευνόησε την προωμότερη έναρξη του φυτώματος. Στην ακαλλιέργεια, αν και το έδαφος διατηρούσε το υψηλότερο ποσοστό υγρασίας, εν' τούτοις και στις δύο χρονιές το φύτεωμα ήταν καθυστερημένο και σημαντικά μειωμένο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επίδραση ενός επιπρόσθετου παράγοντα που παρατηρήθηκε στις μεταχειρίσεις αυτές κατά τη σπορά όπου η ύπαρξη μεγάλου αριθμού ζιζανίων σε συνδυασμό με την έλλειψη θρυμματισμένου χώματος, εμπόδιζαν την κάλυψη του σπόρου με αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό αυτού να μένει εκτεθειμένο μέσα στην αιολική και τελικά να μην φυτρώσει. Το φαινόμενο αυτό ήταν ακόμη πιο εμφανές κατά τη δεύτερη χρονιά όπου η έκθεση του σπόρου μέχρι η υγρασία να ανέβει σε επίπεδο ώστε να ξεκινησει το φύτεωμα, διήρκαζε πολύ περισσότερο. Η μέση φυτρωτική ικανότητα για το 1998 ήταν σημαντικά μειωμένη φθάνοντας μόλις το 49,8%. Και τις δύο χρονιές ωστόσο, στις μεθόδους της συμβατικής κατεργασίας και του βαρύ καλλιεργητή, επιτεύχθηκε τελικά υψηλότερος πληθυσμός φυτών (πίνακας 5), ενδεικνύοντας ότι ένα πιο θρυμματισμένο έδαφος ευνοεί το φύτεωμα όταν η υγρασία δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης της καλλιέργειας.

	Τελικός πλυθυσμός		Τελικός μέσος αριθμός φύλλων		Τελικό ύψος	
	(φυτά/στρέμμα)		(φύλλα/φυτό)		(cm)	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Συμβατική	7380	5690	15	14.78	175.6	130.9
Βαρύς καλλιεργητής	7560	5440	14.88	13.93	167.9	124.5
Περ. καλλιεργητής	6590	4060	14.13	13.43	146.7	100.1
Δισκοσβάρνα	6500	4540	14.5	13.78	147.1	108.9
Ακαλλιέργεια	5280	2690	14	14.08	132.9	109.2
Στατ. σημαντικότητα	**	**	**	**	**	**
Ε.Σ.Δ.	1360	740	0.71	0.62	19.4	19.7
CV %	14.6	15.9	3.48	3.18	9.02	12.26

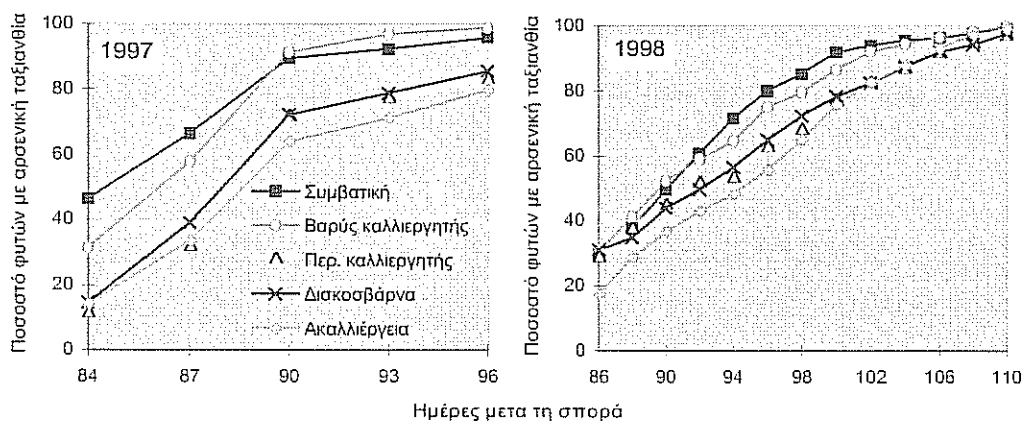
Με την ανάπτυξη της καλλιέργειας, τα φυτά στη συμβατική κατεργασία και τον βαρύ καλλιεργητή εμφάνιζαν μεγαλύτερο μέσο αριθμό φύλλων (πίνακας 5) και ήταν ψηλότερα (σχήμα 3). Όπως έδειξαν και οι μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων, το έδαφος στις μεθόδους αυτές ήταν σαφώς χαλαρότερο, γεγονός που ευνόησε την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών και κατ' επέκταση του υπέργειου μέρους. Στην ακαλλιέργεια αντίθετα, όπου το έδαφος ήταν σημαντικά πιο συνεκτικό, τα φυτά δυσκολεύτηκαν να αναπτύξουν το υπόγειο μέρος τους και τελικά παρέμειναν κοντά.



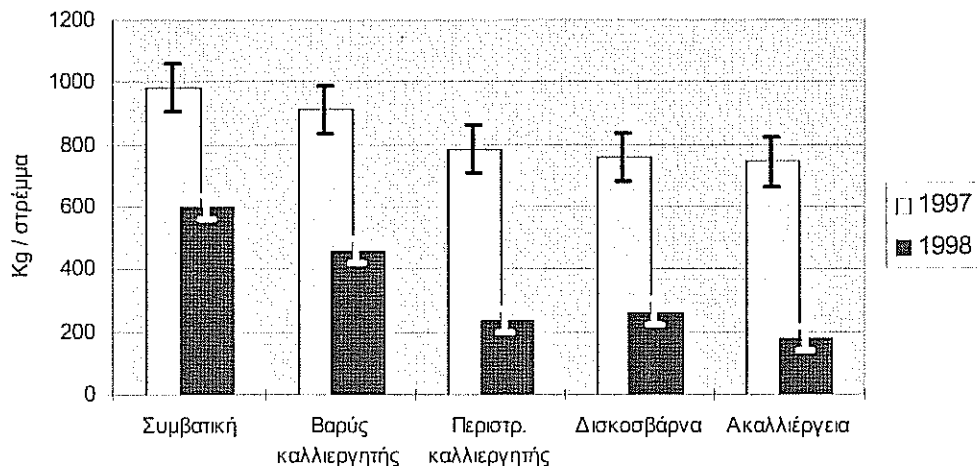
ΣΧΗΜΑ 3. Εξέλιξη του ύψους του καλαμποκιού για τις 5 μεθόδους κατεργασίας του εδάφους

Έχοντας συμπληρώσει ταχύτερα την ανάπτυξη, τα φυτά στην συμβατική κατεργασία και το βαρύ καλλιεργητή εισήλθαν πρώτα στο αναπαραγωγικό στάδιο. Ακολούθησαν τα φυτά στη δισκοσβάρνα και τον περιστροφικό καλλιεργητή, ενώ σημαντικά καθυστερημένα εισήλθαν τα φυτά της ακαλλιέργειας (σχήμα 4).

Κατά τη συγκομιδή, τις υψηλότερες αποδόσεις έδωσε η συμβατική μέθοδος ακολουθούμενη από το βαρύ καλλιεργητή (σχήμα 5). Με σημαντικά μειωμένη απόδοση ιδίως τη χρονιά του 1998, ακολούθησαν οι μέθοδοι του περιστροφικού καλλιεργητή και της δισκοσβάρνας, ενώ τις μικρότερες αποδόσεις έδωσε η ακαλλιέργεια. Το γεγονός αυτό κατά ένα σημαντικό ποσοστό οφείλεται στους μειωμένους πληθυσμούς στις μεταχειρίσεις αυτές. Η μέση απόδοση για το 1997 ήταν 837,1 kg/στρέμμα ενώ για το 1998, 347,5 kg/στρέμμα.



ΣΧΗΜΑ 4. Εξέλιξη του αναπαραγωγικού σταδίου για τα φυτά στις 5 μεθόδους κατεργασίας του εδάφους.



ΣΧΗΜΑ 5. Μέση απόδοση του καλαμποκιού (σπόρος υγρασίας 15,2%) για τις 5 μεθόδους κατεργασίας του εδάφους.

Με βάση ένα ποσοστό 100% για τη συμβατική μέθοδο, ο βαρύς καλλιεργητής εμφάνισε μειωμένη απόδοση κατά 7,4% το 1997 και κατά 23,2% το 1998, ο περιστροφικός καλλιεργητής μειωμένη κατά 20,1% το 1997 και 60,1% το 1998, η δισκοσβάρνα κατά 22,7% το 1997 και 55,8% το 1998 και η ακαλλιέργεια κατά 24,3% το 1997 και 70,3% το 1998. Στη συμβατική κατεργασία και τον βαρύ καλλιεργητή συγκομίστηκε μεγαλύτερος αριθμός σπαδικών που είχαν μεγαλύτερο μέσο βάρος ενώ ο σπόρος στις μειωμένες μεθόδους κατεργασίας και ιδίως στην ακαλλιέργεια, είχε αυξημένη υγρασία (πίνακας 6). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει την καθυστερημένη ανάπτυξη των φυτών στις μεταχειρίσεις αυτές οδηγώντας σε οψίμηση την καλλιέργεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Παράμετροι της απόδοσης του καλαμποκιού για τις 5 μεθόδους κατεργασίας του εδάφους.

	Αριθμός συγκομιζόμενων σπαδικών		Απόδοση (σπόρος υγρασίας 15.2%)		Μέσο βάρος σπόρου στο σπάδικα		Υγρασία σπόρου	
	(σπαδ./στρέμμα)		(kg/στρέμμα)		(g/σπάδικα)		(%)	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Συμβατική	7100	4960	984	598	139	120.8	15.76	13.62
Βαρύς καλλιεργητής	6390	4350	911.4	459.3	142.8	105.8	14.93	13.44
Περ. καλλιεργητής	5520	2710	785.7	238.3	141.8	88.6	19.6	13.63
Δισκοσβάρνα	5400	3150	759.8	264.4	139.9	84	17.85	14.5
Ακαλλιέργεια	5370	2080	744.6	177.3	139.7	85.1	21.64	15.96
Στατ. σημαντικότητα	**	**	*	**	ns	**	**	*
Ε.Σ.Δ.	1400	760	156.2	77.6		17.9	3.92	1.63
CV %	16.8	15.8	18.1	16	9.9	13.2	15.6	11.1

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το όργωμα αποτελεί την πιο σίγουρη μέθοδο διαχείρισης του εδάφους προσφέροντας ικανοποιητικό έλεγχο των ζιζανίων και βοηθώντας στην επίτευξη υψηλών αποδόσεων.
- Η κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή αποτελεί μια μέθοδο που θα μπορούσε να αντικαταστήσει το άροτρο με σκοπό την μείωση των εισροών. Ωστόσο ο βαρύς καλλιεργητής, αδυνατεί να καταστρέψει τα ζιζάνια. Ο συνδυασμός με μία δισκοσβάρνα πριν από τη χρήση του, πιθανώς να έδινε ευνοϊκότερα αποτελέσματα.
- Η χρήση περιστροφικού καλλιεργητή ή δισκοσβάρνας, για την πρωτογενή κατεργασία του εδάφους βοηθά στο φύτευμα και την αρχική ανάπτυξη των φυτών, επιφέρει όμως σημαντική μείωση των αποδόσεων.
- Η εισαγωγή της ακαλλιέργειας ως συστήματος διαχείρισης του εδάφους προϋποθέτει μια προσεκτική χημική ζιζανιοκτονία. Επιπλέον, οι κοινές σπαρτικές αδυνατούν να εργαστούν κάτω από συνθήκες συνεκτικού εδάφους και υψηλών φυτικών υπολειμμάτων με αποτέλεσμα να απαιτείται ο εφοδιασμός με σπαρτική μηχανή προσαρμοσμένη για εργασία σε ακαλλιεργητο έδαφος. Η απόδοση του καλαμιτοκού αναμένεται να είναι σαφώς περιορισμένη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amemiya M. Conservation tillage in the western Corn Belt. Journal of soil and water conservation. Vol 32. Jenuary-February 1977. 29-36.
2. Ghaffarzadeh M, Prechac F.G, Cruse M. Tillage effect on soil water content and corn yield in a strip intercropping system. Agromomy Journal 89. (1997) 893-899.
3. Griffith D.R, Mannering. J.V, Moldenhauer W.C. Conservation tillage in the eastern Corn Belt. Journal of soil and water conservation. Vol 32. Jen.-Feb. 1977. 20-26.
4. Janovicek K.J, Vyn T.J, Voroney R.P. No-Till corn response to crop rotation and in-row residue placement. Agromomy Journal 89. (1997) 588-596
5. Kosutic S, Filipovic D, Gospodaric Z. Two years experiment with various tillage systems in Maize (*Zea mays*) production in Croatia. International Congress of European Agricultural Engineers, Oslo 24-27 Aug. 1998.
6. Lopez-Bellido L, Lopez-Garrido F.L, Fuentes M, Castillo J.E, Fernandez E.J. Influence of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on soil organic matter and nitrogen under rain-fed Mediterranean conditions. Soil and Tillage Research 43. (1997) 277-293.
7. Mahboubi A.A, Lai R. Long term effects on changes in structural properties of two soils in central Ohio. Soil and Tillage Research 45 (1998) 107-118.
8. Negi, S.C, Raghavan G.S.V, McKyes E, Taylor F. The effect of compaction and minimum tillage on corn yields and soil properties. Transactions of the American Society of Agricultural Engineerings. Vol 33(3). May-June 1990. 744-748.
9. Opoku G., Vyn T.J, Swanton C.J. Modified No-Till systems for corn following wheat on clay soils. Agromomy Journal 89. (1997) 549-556
10. Smith J.A, Yonts C.D, Biere D.A, Rath M.D. Field operation energy use for Corn-Dry edible bean-Sugarbeet rotation. Applied Engineering in Agriculture. ASAE Vol 11(2).219-224.
11. Vilde A. Energy consumption for soil tillage and ways of their reduction. International Congress of European Agricultural Engineers, Oslo 24-27 Aug. 1998.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ν.Γ. Δαναλάτος¹, Κ. Κοσμάς², Στ. Γεροντίδης² και Μ. Μαραθιανού²

¹Πανεπ. Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής & Ζωικής Παραγωγής, Πεδίον Άρεως, Βόλος
²Γεωπονικό Πανεπ. Αθηνών, Εργ. Γεωργικής Χημείας & Εδαφολογίας, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρουσιάζονται συνοπτικά ετήσια αποτελέσματα επιφανειακής απορροής και διάβρωσης που μετρήθηκαν σε επικλινή εδάφη της Αττικής κατά την περίοδο 1991-1997, κάτω από τις εξής χρήσεις γης: α) εντατική καλλιέργεια αμπελιού με πλήρη έλεγχο ζιζανίων, β) ελιές με φυσικό υπόροφο, γ) γυμνό έδαφος, δ) γυμνό έδαφος με χαλίκια, ε) γυμνό έδαφος με λίθους, και στ) έδαφος σε αγρανάπαυση για μια σειρά ετών. Σημαντική επιφανειακή απορροή και υποβάθμιση παρατηρήθηκε στο γυμνό έδαφος με αδρομερή υλικά, ακολουθούμενο από το γυμνό έδαφος χωρίς χαλίκια. Ιδιαίτερα μεγάλη υποβάθμιση παρατηρήθηκε στο έδαφος κάτω από αμπέλι με απορροή που έφθασε το 12% της ετήσιας βροχοπτώσης και διάβρωση 2540 g m⁻²yr⁻¹. Η απορροή στο έδαφος κάτω από ελιές δεν ξεπέρασε τα 5.4 mm/yr, ενώ η υποβάθμισή του ήταν πολύ περιορισμένη (0-273 g m⁻²yr⁻¹) παρά τη μεγάλη του κλίση. Τέλος στα εδάφη που αφέθηκαν σε αγρανάπαυση μειώθηκε σημαντικά ο ρυθμός υποβάθμισης για να λάβει πρακτικά αμελητέες τιμές μετά πάροδο 4 ετών.

ABSTRACT

Annual data on runoff and sediment loss from sloping soils in Athens area, measured in the period 1991-97, are summarized for the following land uses: a) intensive vines cultivation with full weed control, b) olives under semi-natural conditions, c) bare soil, d) bare gravelly soil, e) bare soil rich in surface cobbles, and f) soil under fallow for a number of years. Considerable runoff and soil degradation was measured in the bare soil rich in gravel and cobbles followed by the stone-free soil. Particularly high degradation rates characterize the soil under vines, with runoff reaching 12% of the annual rainfall and soil erosion reaching 2,540 g m⁻²yr⁻¹. Despite its greater slope, the soil under olives was characterized by low runoff rates of runoff (< 5.4 mm/yr) and sediment loss (0-273 g m⁻²yr⁻¹). Finally, degradation rate was substantially reduced in the soils under fallow, reaching practically negligible values after a period of 4 years.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεγάλη μείωση της δασικής βλάστησης και η εντατική καλλιέργεια των επικλινών εδαφών από αρχαιοτάτων χρόνων επέφερε διάβρωση των εδαφών και υποβάθμιση των Μεσογειακών γαιών με την μειούμενη ικανότητα της φυσικής βλάστησης και του εδάφους για αναγέννηση [10].

Η διάβρωση του εδάφους που προκαλείται κυρίως από επιφανειακή απορροή του νερού οδηγεί σε ταχεία απώλεια του επιφανειακού εδαφικού οριζοντα, της πλέον γόνιμης εδαφικής στρώσης, και αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα υποβάθμισης [9, 15] και τον μεγαλύτερο κίνδυνο για αειφορική γεωργία σε παραδόσια κλίματα [1].

Ο ρυθμός υποβάθμισης του εδάφους εξαρτάται από τον ρυθμό υποβάθμισης της φυσικής βλάστησης [8] που με τη σειρά της εξαρτάται από τις αντίξοες κλιματικές συνθήκες και μη ορθολογική χρήση γης [2], ενώ η μείωση της αειθαλοῦς βλάστησης εκλαμβάνεται ως δείκτης έναρξης της ερημοποίησης [15].

Εκτός από τη βλάστηση, το μητρικό υλικό παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη διάβρωση και υποβάθμιση. Έτσι, ο ασβεστόλιθος που αποτελεί το υπόστρωμα εκτεταμένων λοφωδών και ημι-ορεινών γαιών παράγει εδάφη που χαρακτηρίζονται από μεγάλη διαβρωσιμότητα και αργή αναγέννηση της φυσικής βλάστησης [10]. Πολλές ασβεστολιθικές επιφάνειες της Μεσογείου είναι ήδη ερημοποιημένες, με το επιφανειακό στρώμα διαβρωμένο και πλήρη καταστροφή της φυσικής βλάστησης. Από την άλλη πλευρά, όξινά μητρικά πετρώματα παράγουν αβαθή εδάφη που χαρακτηρίζονται από μεγάλη διαβρωσιμότητα και κινδύνους ερημοποίησης [12], ενώ οι μάργες που επίσης καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις του Ελληνικού χώρου χαρακτηρίζονται από βαθύτερα εδάφη, αλλά λόγω μεγάλης αστάθειας του αναγλύφου (καθιζήσεις) και διαβρωσιμότητας του υλικού [6] παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο διαβρωσιμότητας ειδικά σε περιοχές με μεγάλες εντάσεις βροχής ή σε ξηρές χρονιές όπου τα εδάφη αυτά έχουν μειωμένη ικανότητα φυτοκάλυψης [11].

Στη χώρα μας, μεγάλες διαβρώσεις έχουν σημειωθεί, ειδικά στις καλλιεργούμενες επικλινείς εκτάσεις της ημι-ξηρικής ζώνης. Η εντατική καλλιέργεια, το κάπνιο της καλαμιάς και μεγάλα διαστήματα με ακάλυπτο έδαφος ευθύνονται για τη μεγάλη μείωση του οργανικού άνθρακα από >5% στις αρχές του αιώνα στα σημερινά επίπεδα κάτω του 1.5% σε εκτεταμένες καλλιεργούμενες περιοχές [5]. Όμως τα αρνητικά αποτελέσματα της μεγάλης υποβάθμισης των Ελληνικών εδαφών δεν είχαν γίνει ευρέως κατανοητά μέχρι πρόσφατα.

Η εκμηχάνιση της γεωργίας και η μεγάλη αύξηση των εισροών επέφεραν μεγάλη αύξηση των αποδόσεων των περισσότερων καλλιεργειών κατά τις τελευταίες δεκαετίες [3], παρά την αρνητική επίδραση της διάβρωσης και συνεχούς αποψίλωσης των εδαφών, αποζητώντας έτσι σε μεγάλο βαθμό τον επερχόμενο κίνδυνο ερημοποίησης. Και τούτο γιατί δεν έγινε έγκαιρος διαχωρισμός μεταξύ πραγματικής και δυναμικής παραγωγικότητας, ώστε να γίνει αντιληπτό ότι η πρώτη μπορεί να αυξάνεται ακόμα και όταν η δεύτερη μειώνεται, απλά γιατί οι αρνητικές επιδράσεις της διάβρωσης στη γονιμότητα μπορούν να αντισταθμιστούν για κάποιο χρονικό διάστημα από τις αυξημένες εισροές (εκμηχανισμένη καλλιέργεια, αυξημένες λιπάνσεις, αρδεύσεις, χρήση ανθεκτικότερων ποικιλιών, πυκνότερων φυτειών, καλύτερης φυτοπροστασίας, κλπ). Όμως, σε πολλές περιοχές, η πραγματική παραγωγικότητα έφθασε το (ήδη αρκετά μειωμένο) δυναμικό παραγωγής το οποίο συνεχίζει να μειώνεται όλο και περισσότερο. Η αναπόφευκτη μείωση της παραγωγικότητας προκαλεί με τη σειρά της αύξηση των εισροών που δεν μπορούν πλέον να αντισταθμίσουν την περαιτέρω δραματική πτώση της παραγωγικότητας, και τον κίνδυνο της ερημοποίησης να είναι ορατός για εκτεταμένες περιοχές της χώρας μας.

Ιδιαίτερα σοβαρούς κινδύνους διάβρωσης και ερημοποίησης παρουσιάζουν τα επικλινή, αβαθή εδάφη της ημι-ξηρικής ζώνης της Ελλάδας. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επιφανειακής απορροής και διάβρωσης ενός τέτοιου εδάφους που βρίσκεται κάτω από αντιπροσωπευτικές χρήσεις γης όπως καλλιέργεια αμπελιού και ελιάς επί μία σειρά ετών. Επίσης η μελέτη αποσκοπεί στον προσδιορισμό της επιφανειακής απορροής και διάβρωσης σε φρέσκο-οργανωμένο έδαφος πριν την έναρξη των χειμερινών βροχών, όπως στην περίπτωση καλλιέργειας χειμερινών σιτηρών, και σε έδαφος σε αγρανάπαιση για μια σειρά ετών.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η επιφανειακή απορροή και διάβρωση τριών εδαφών μελετήθηκαν σε πλαγιά λόφου μέσα στο πειραματικό αγρόκτημα του Γ.Π.Α. στη θέση Γυαλού-Σπάτων Αττικής κατά την περίοδο 1991-97. Το κλίμα της περιοχής είναι ημί-ξηρο Μεσογειακό με ετήσια θερμοκρασία 17.8oC και μέση ετήσια βροχόπτωση 496 mm, 71% από τα οποία πέφτουν στην περίοδο Νοεμβρίου-Απριλίου. Τα εδάφη σχηματίστηκαν σε Τριτογενείς αποθέσεις μαργαίτου ψαμμίτη, είναι μετρίου βάθους, καλώς αποστραγγιζόμενα, χαλικώδη, μετρώως λεπτόκοκκα και πολύ ασβεστούχα. Τα δύο πρώτα εδάφη καλλιεργούνται με αμπέλι και ελιές, είναι ελαφρώς διαβρωμένα και ταξινομούνται ως Calcixerollic Xerochrepts σύμφωνα με το Soil Taxonomy [14]. Το τρίτο έδαφος δεν έχει υποστει διάβρωση, ευρίσκεται κάτω από φυσική βλάστηση, έχει σκούρο επιφανειακό οριζόντιο με καλή δομή (μολλικό επίπεδο), και ταξινομείται ως Typic Calcixeroll. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των παραπάνω εδαφών συνοψίζονται στον Πιν. 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη εδαφών.

Χαρακτηριστικά	Έδαφος 1	Έδαφος 2	Έδαφος 3
Υψόμετρο (m)	139.2	133.5	145.0
Κλίση (%)	18.0	12.4	17.0
Άργιλος (%)	28.0	29.0	32.0
Ιλύς (%)	32.0	49.0	25.0
Άμμος (%)	40.0	22.0	43.0
Χαλύβια (%)	21.0	19.0	Βλ. Πιν. 2
CaCO ₃ (%)	36.9	33.2	17.3
Οργανικός C (%)	1.60	1.10	2.70
Ολικό N (%)	0.13	0.09	0.23
C / N	12.1	12.3	11.8
Μέγεθος συσσωμ/των (mm)	5.78	0.58	---
Ταξινόμηση	Xerochrept	Xerochrept	Calcixeroll
Καλλιέργεια	Ελιές	Αμπέλι	Βλ. Πιν. 2

Τέσσερα πειραματικά τεμάχια (3 m x 10 m = 30 m² έκαστο) σε δύο επαναλήψεις διαμορφώθηκαν για τη μέτρηση της επιφανειακής απορροής και διάβρωσης, τα δύο κάτω από ελιές με φυσικό υπόροφο που καλύπτει περί το 90% του εδάφους 1, και τα υπόλοιπα κάτω από εντατική καλλιέργεια αμπελιού (όργωμα, λίπανση) με πλήρη έλεγχο ζιζανίων (έδαφος 2). Τα τεμάχια απομονώθηκαν κατάλληλα (περιθώριο από κτιστό τούβλο περιβαλλόμενο από αυλάκι) και στραγγιζόνταν σε λεκάνη που τοποθετήθηκε στο κατώτερο μέρος της κλίσης. Το νερό απορροής μετρήθηκε σε αυτόματες συσκευές (tipping buckets), και τα στοιχεία αποθηκεύτηκαν σε μονάδα καταγραφής (data logger) που ήταν συνδεδεμένη σε αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που εγκαταστάθηκε στην περιοχή του πειράματος. Μέρος του νερού απορροής συλλέγονταν αυτόματα για τη μέτρηση της περιεκτικότητάς του σε άργιλο. Το βάρος του ιζήματος μετρήθηκε στις λεκά-

νες κατά τακτά χρονικά διαστήματα και μετά από κάθε επεισόδιο απορροής, και διορθώθηκε για το ποσοστό της αργίλου που περιείχε το νερό απορροής.

Επιπλέον, δέκα πέντε πειραματικά τεμάχια ($2 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 10 \text{ m}^2$ έκαστο) σε τρεις επαναλήψεις διαμορφώθηκαν στο τρίτο έδαφος (Typic Calcixeroll). Από την επιφανειακή στρώση 40 cm του εδάφους απομακρύνθηκαν τελείως τα αδρομερή υλικά (λίθοι και χαλίκια διαμέτρου $> 1.5 \text{ cm}$) και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν δύο κλάσεις μεγέθους που σύμφωνα με τους [13] ταξινομούνται ως μεγάλα χαλίκια (course gravel - μέση διάμετρος 4.4 cm) και κροκάλες (cobble - μέση διάμετρος 14.6 cm). Τα αδρομερή αυτά υλικά είτε τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους είτε ενσωματώθηκαν στον επιφανειακό ορίζοντα, ενώ μία μεταχείριση διατηρήθηκε χωρίς αδρομερή υλικά. Οι μεταχειρίσεις που τελικά μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία συνοψίζονται στον Πιν. 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Μέγεθος, όγκος και ποσοστός επιφανειακής κάλυψης με αδρομερή υλικά στις μεταχειρίσεις που μελετήθηκαν στο τρίτο έδαφος (Typic Calcixeroll).

Μεταχείριση (cm)	Σύμβολο	Διάμετρος (%)	Θέση Επιφ. %	Όγκος	Κάλυψη
Επιφανειακές κροκάλες	LS	14.6	Επιφάνεια	---	17.8
Ενσωματωμένες κροκάλες	LI	14.6	Ενσωμάτωση	4	---
Επιφανειακά χαλίκια	GS	4.4	Επιφάνεια	---	22.6
Ενσωματωμένα χαλίκια	GI	4.4	Ενσωμάτωση	4	---
Χωρίς χαλίκια	OB	---	---	---	---

Μετρήθηκε η συνολική επιφανειακή απορροή και διάβρωση που σημειώθηκαν μετά από πέντε βροχές που προκάλεσαν απορροή κατά τους τρεις χειμερινούς μήνες που ακολούθησαν την κατεργασία του εδάφους (άρωση), προσομοιώνοντας έτσι την κατάσταση του εδάφους μετά την κατεργασία και σπορά χειμερινών σιτηρών. Από το δεύτερο έτος πειραματισμού δεν έγινε καμία κατεργασία στα πειραματικά τεμάχια που αφέθηκαν σε αγρανάπαιση για 4.5 έτη.

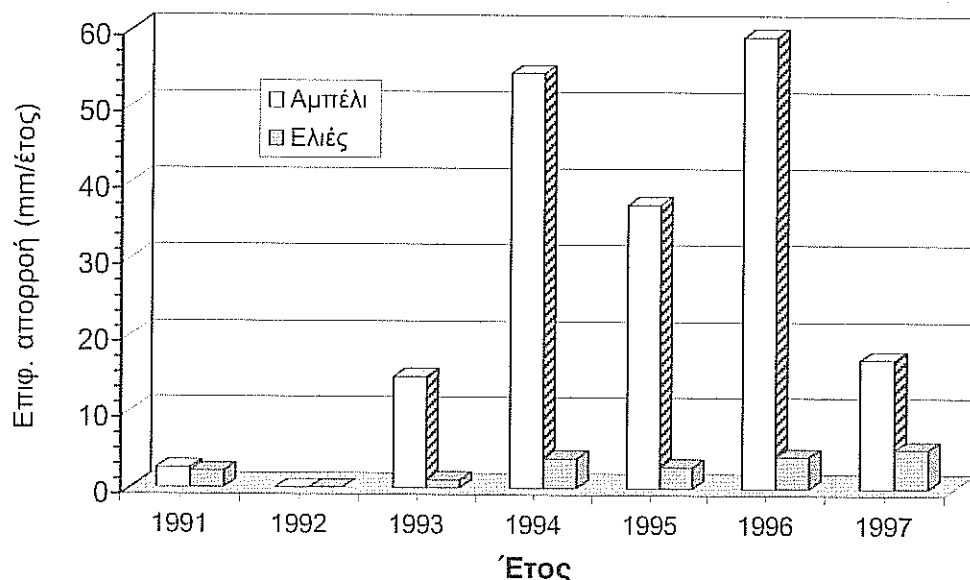
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η επιφανειακή απορροή και απώλεια ιζήματος που μετρήθηκαν κατά την περίοδο 1991-97 υπογραμμίζουν τον μεγάλο κίνδυνο διάβρωσης και ερημοποίησης των εδαφών που καλλιεργούνται εντατικά με αμπέλι.

Πραγματικά, τα εδάφη αυτά παραμένουν σχεδόν ακάλυπτα κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, του χειμώνα, και νωρίς την άνοιξη λόγω της καταστροφής της ετήσιας φυσικής βλάστησης με μια ή δύο αρόσεις που εφαρμόζονται, ενώ πραγματοποιείται και χημική ζιζανιοκτονία τουλάχιστον μια φορά ετησίως.

Έτσι η επιφανειακή απορροή στον αμπελώνα έφθασε το μέγιστο των 60 mm/έτος την ιδιαίτερα υγρή χρονιά 1996, ή ποσοστό 10.3% της ετήσιας βροχοπτώσης. Επίσης, ιδιαίτερα μεγάλη ήταν η απορροή τα έτη 1994 και 1995 που έφθασε τα 55 mm (12% της ετήσιας βροχοπτώσης) και 37 mm (7.3%), αντίστοιχα (Σχήμα 1). Πρέπει να σημειωθεί ότι παρόμοια εδάφη όπως το εξεταζόμενο είναι ευαίσθητα στη διασπορά, ενώ η ένταση βροχής στην ημι-ξηρική ζώνη της χώρας

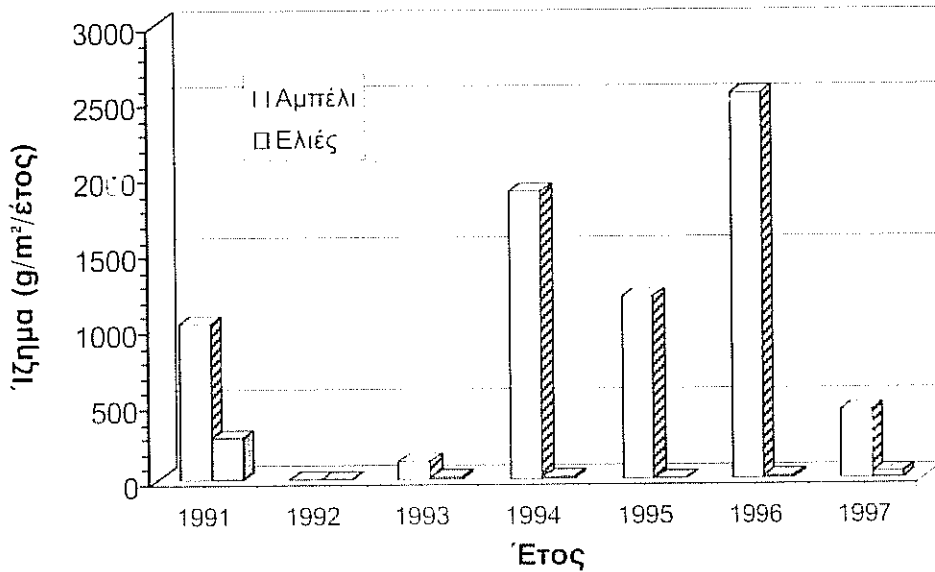
μπορεί να φθάσει σε μεγάλες τιμές (π. χ. στην περιοχή της μελέτης έφθασε τα 185 mm σε μία ημέρα με μέγιστη στιγμιαία ένταση 335 mm/h), με αποτέλεσμα να σχηματίζεται αμέσως μετά το όργωμα επιφανειακή κρούστα δημιουργώντας τις κατάλληλες συνθήκες για επιφανειακή απορροή και διάβρωση.



ΣΧΗΜΑ 1. Συνολική ετήσια επιφανειακή απορροή κάτω από καλλιέργειες αμπέλιου και ελιάς κατά την περίοδο 1991-97.

Παράλληλα με την κατανομή της επιφανειακής απορροής, και η απώλεια ιζήματος παρουσίασε μεγάλη διακύμανση, από μηδενική (το 1992) έως και 2450 g/m² το 1996, ή περί το 1.8 mm επιφανειακής στρώσης εδάφους, θεωρώντας το μέσο φαινόμενο ειδικό βάρος ίσο με 1.4 g/m². Ο μέσος όρος ετήσιας διάβρωσης στο έδαφος κάτω από αμπέλι ήταν 1.020 g/m², ενώ χάθηκαν συνολικά περί τα 5.1 mm επιφανειακού εδάφους κατά την επταετία που μελετήθηκε. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα πειραματικά τεμάχια κάτω από αμπέλι καλλιεργήθηκαν παράλληλα με τις ισόψεις καμπύλες. Έτσι, πολύ μεγαλύτερες διαβρώσεις θα πρέπει να αναμένονται όταν οι αμπελώνες καλλιεργούνται κάθετα με τις ισόψεις όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις ιδιαίτερα μεγάλων κλίσεων της επιφάνειας, ή μικρών αγροτεμαχίων που εκτείνονται κατά μήκος της κλίσης.

Αντίθετα με τα αμπέλια, η περιοχή της μελέτης που καλλιεργείται με ελιές καλύπτεται με ετήσια φυσική βλάστηση και φυτικά υπολείμματα σε ποσοστό 90%. Αυτή περίπου είναι η κατάσταση στους περισσότερους ελαιώνες που καλλιεργούνται κάτω από ημι-φυσικές συνθήκες (semi-natural conditions), ή είναι εγκαταλελειμμένοι όπως σε πολλές νησιωτικές ή ημιορεινές περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας.



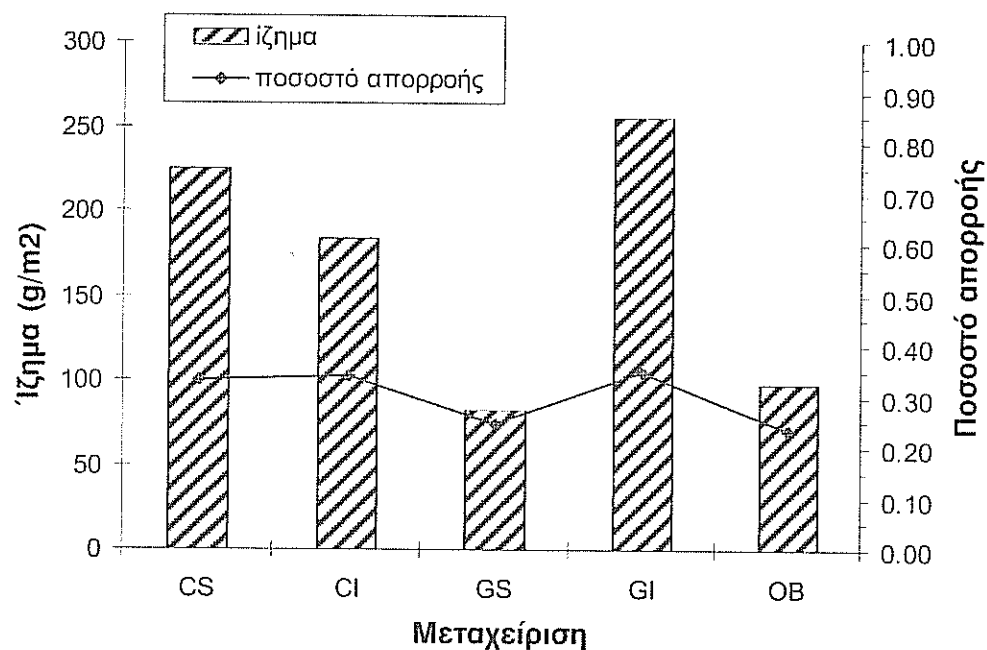
ΣΧΗΜΑ 2. Συνολική ετήσια απώλεια εδάφους ζάιτο από καλλιέργειες αμπελιού και ελιές κατά την περίοδο 1991-97.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, το σύνολο της ετήσιας επιφανειακής απορροής ζάιτο από ελιές αυμάνθηκε ζάιτο από 5,4 mm/έτος, ενώ η απώλεια ζήματος δεν ξεπέρασε τα 273 g m² (1991) με μέσον όρο επιφανείας ζάιτο από 40 g/m² (Σχήμα 2) που ισοδυναμεί με διάβρωση περί τα 2,9 mm επιφανειακού εδάφους ανά 100 έτη. Και τούτο παρά την αρκετά μεγαλύτερη γλίση του εδάφους αυτού σε σχέση με το έδαφος ζάιτο από αμπέλι (Πιν. 1). Εκτός από τη φυσική βλάστηση που καλύπτει το έδαφος και μειώνει στο ελάχιστο την απώλεια ζήματος, το έδαφος ζάιτο από ημι-φυσικές συνθήκες έχει μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ουσίας, καλύτερη δομή με μεγάλο μέγεθος σωματιοματόων, (Πιν. 1) και ως εκ τούτου μεγαλύτερη διαθηκτική ικανότητα και επομένως μεγάλο χρόνο έναρξης επιφανειακής απορροής ακόμα και ζάιτο από μεγαλύτερες εντάσεις βροχής [4].

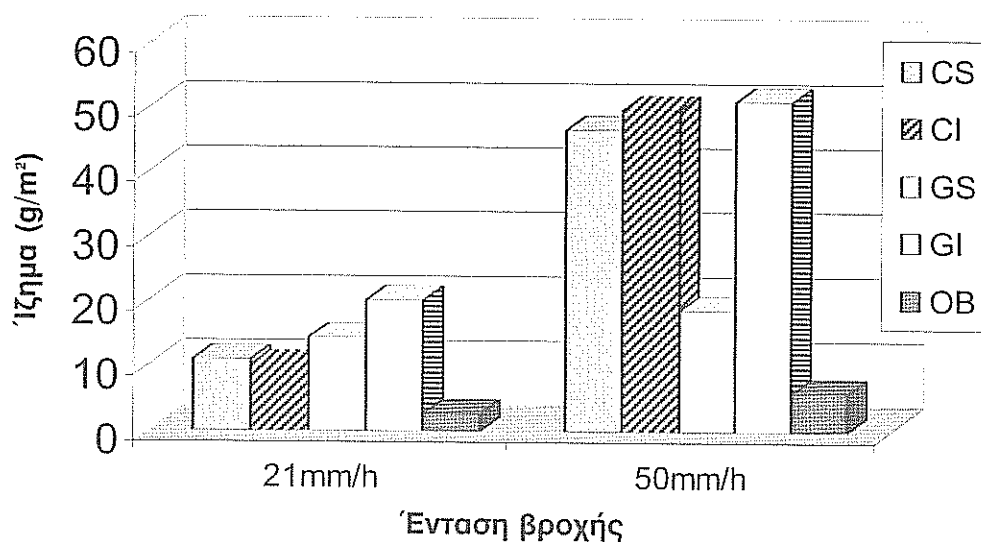
Σ' ένα πολύ μεγάλο ποσοστό τα εδάφη της χώρας μας είναι λοσιόδη-επιγλυνή, και καλλιεργούνται με χειμερινά σιτηρά. Τα εδάφη αυτά προετοιμάζονται και σπέρνονται μετά τις πρώτες βροχές του φθινοπώρου (Οκτώβριος-Νοέμβριος). Έτσι, για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, μέχρι την αρχική ανάπτυξη της καλλιέργειας, τα εδάφη αυτά παραμένουν ακάλυπτα και εκτεθειμένα στις πρώτες βροχές του χειμώνα που κατά κανόνα είναι μεγάλης έντασης και προκαλούν μεγάλες διαβρώσεις ιδιαίτερα κατά την περίοδο Νοεμβρίου- Ιανουαρίου.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το ποσοστό απορροής κατά το ίδιο διάστημα και μετά από 5 βροχές συνολικού ύψους 111 mm. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, η απορροή ήταν σημαντική και αυμάνθηκε από 18 έως 35% της συνολικής βροχής (20-38,1 mm), με τις μεγαλύτερες τιμές στα εδάφη με χροιάλες και ενσωματωμένα χυάλια, ενώ τα εδάφη χωρίς (OB) ή με επιφανειακά χυάλια (GS) έδωσαν τις μικρότερες απορροές.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η απώλεια ζήματος κατά την ίδια χρονική περίοδο, που έφθασε τα 180-250 g/m² στα εδάφη με λίθους και ενσωματωμένα χυάλια.



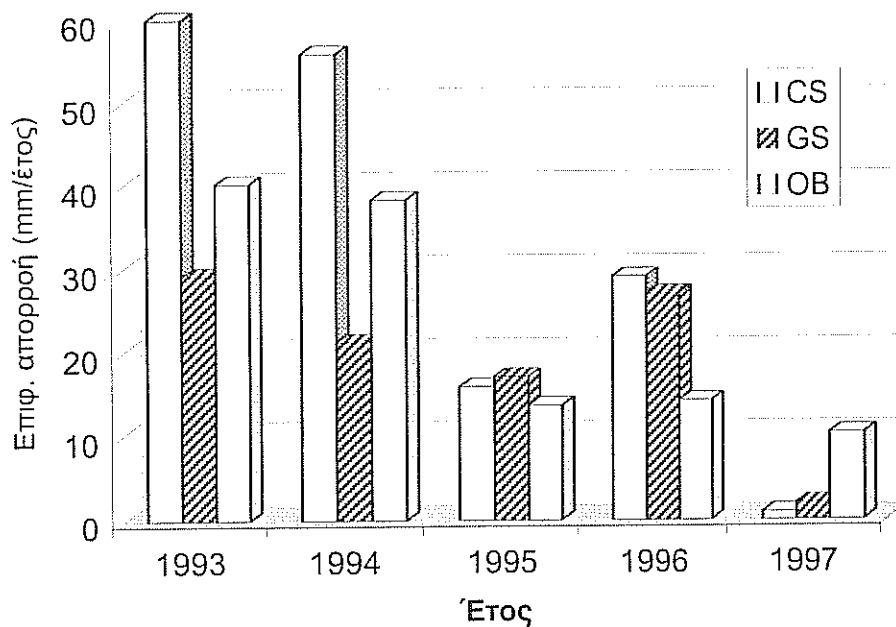
ΣΧΗΜΑ 3. Ποσοστό απορροής (mm συνολικής απορροής / mm συνολικής βροχής) και συνολικό ίζημα (g/m²) που μετρήθηκαν μετά από 5 βροχές συνολικού ύψους 111 mm που δέχθηκε οργωμένο έδαφος με διαφορετικά μεγέθη, ποσοστά και θέσεις αδρομερών υλικών (βλ. Πιν. 2).



ΣΧΗΜΑ 4. Απώλεια ιζήματος από έδαφη με διαφορετικά μεγέθη, ποσοστά και θέσεις αδρομερών υλικών (βλ. Πιν. 2) μετά από δύο βροχές διαφορετικής έντασης (21 και 50 mm/h) και συνολικού ύψους 27.5 και 18.2 mm, αντίστοιχα (Τα βέλη παριστούν την Ε.Σ.Δ. σε επίπεδο σημαντικότητας P=0.05).

Εξαιρέση αποτέλεσαν τα εδάφη με χαλίγια στην επιφάνεια που χαρακτηρίστηκαν από μικρότερη διάβρωση και περίπου ίση με αυτή που μετρήθηκε στα εδάφη χωρίς αδρομερή υλικά (82-98 g/m², Σχήμα 3).

Το ποσοστό απορροής και η απώλεια ιζήματος σχετίζονται προφανώς με την ένταση βροχής και λιγότερο με το συνολικό ύψος βροχής. Έτσι σύμφωνα και με προηγούμενα εργαστηριακά αποτελέσματα [16] και αποτελέσματα στον αγρό [7], τα μεγάλα χαλίγια στην επιφάνεια φαίνεται να ανακόπτουν σε μεγάλο βαθμό την διαβρωσιμότητα των ισχυρών βροχοπτώσεων και να μειώνουν δραστικά την επιφανειακή διάβρωση.



ΣΧΗΜΑ 5. Ετήσια ποσά επιφανειακής απορροής (mm/έτος) από εδάφη σε αγροανάπαυση για 4.5 έτη. Το ετήσιο ύψος βροχής ήταν 349, 453, 508, και 575 mm για τα έτη 1993 έως 1996, αντίστοιχα. (Για μεταχειρίσεις βλ. Πιν. 2).

Όπως φαίνεται στα Σχήματα 3 και 4, ισχυρή διάβρωση ακάλυπτων λιθωδών εδαφών μπορεί να προκληθεί από τις πρώτες χειμερινές βροχές που γενικά χαρακτηρίζονται από μεγάλες εντάσεις, έστω και αν έχουν μικρή διάρκεια. Τα εδάφη ελεύθερα αδρομερών υλικών παρουσιάζουν μικρότερη διάβρωση. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην πραγματικότητα αναμένονται πολύ μεγαλύτερες διαβρώσεις στα εδάφη που καλλιεργούνται με χειμερινά σιτηρά. Και αυτό γιατί τα εδάφη αυτά κατά κανόνα έχουν ασθενέστερη δομή και μικρότερη ικανότητα διήθησης και διαβρωσιμότητα από το έδαφος που μελετήθηκε στην εργασία αυτή, το οποίο ήταν καλλιεργητό επί σειρά ετών και περιέχει μολλικό επίπεδο (Mollisol, [14]).

Το Σχήμα 5 παρουσιάζει το συνολικό ετήσιο ποσό επιφανειακής απορροής που μετρήθηκε από το τρίτο έδαφος (Mollisol) που αφέθηκε σε αγρανάπωση για μια σειρά ετών. Τα πειραματικά τεμάχια που μελετήθηκαν ήταν α) χωρίς αδρομερή υλικά (OB), β) με μεγάλα χαλίκια (GS), και γ) με κροκάλες (CS) μερικώς ενσωματωμένα στην επιφάνεια. Όπως παρατηρείται, μεγάλα ποσά απορροής μετρήθηκαν τα δύο πρώτα έτη ιδιαίτερα στα τεμάχια με επιφανειακές κροκάλες. Η προστατευτική επίδραση των χαλιζιών φαίνεται καθαρά στα δύο πρώτα χρόνια όπου έδωσαν την μικρότερη απορροή, ακόμα και σε σχέση με το έδαφος χωρίς χαλίκια. Από την τρίτη χρονιά της αγρανάπωσης παρατηρείται δραστηριή μείωση της επιφανειακής απορροής παρά το μεγάλο σχετικά ύψος βροχής (Σχ. 5). Κατά την τελευταία χρονιά των παρατηρήσεων, η φυσική βλάστηση ήταν πολύ ανεπτυγμένη στα πειραματικά τεμάχια και μείωσε την επιφανειακή απορροή και διάβρωση στο ελάχιστο (<10.4 mm/έτος, Σχ. 5), και ειδικά στα εδάφη πλούσια σε χαλίκια και λίθους στα οποία φαίνεται ότι ο συνδυασμός φυσικής βλάστησης και αδρομερών υλικών είχε ως αποτέλεσμα την μεγάλη προστασία της επιφάνειας και έδωσε συνολική απορροή μεταξύ 0,9 και 2.0 mm ανά έτος, αντίστοιχα.

Παρά το γεγονός ότι η πραγματική διάβρωση επικλινέστερων ή/και πιο υποβαθμισμένων εδαφών από αυτά της μελέτης είναι δυνατόν να υπο-εκτιμάται σημαντικά, ειδικά όταν η καλλιέργεια γίνεται κάθετα με τις ισοϋψείς, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δίνουν μια συγκριτική εικόνα της υποβάθμισης του εδάφους κάτω από αμπέλι, ελιές και χειμερινά σιτηρά, που αποτελούν αντιπροσωπευτικές χρήσεις γης στην Ελλάδα. Πιστεύεται ότι τα αποτελέσματα αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό αλλαγής χρήσης γης και μάλιστα όταν πρόκειται να αντικατασταθούν ελιές με άλλες καλλιέργειες σε επικλινή εδάφη της ημξηρικής ζώνης, ενώ ενισχύουν τη σημασία της αγρανάπωσης καλλιεργούμενων εδαφών που βρίσκονται υπό τον κίνδυνο ταχείας υποβάθμισης και ερημοποίησης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία έγινε με χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια των Προγραμμάτων: MEDALUS I (EPOC-CT90-0014-(SMA)) και MEDALUS II (EV5V-CT92-012B). Η καθ. κα. Στ. Γαλανοπούλου έκανε χρήσιμες παρατηρήσεις στο τελικό κείμενο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Brandt, C.J. and J.B. Thornes, 1996. Mediterranean Desertification and Land Use. John Wiley & Sons, Chichester, N.Y., 554 pp.
2. Bryan, R.B. and I.A. Campbell, 1986. Runoff and sediment discharge in a semi-arid drainage basin. *Geomorphology*, 58: 121-143.
3. Γαλανοπούλου, Στ., 1995. Εντατική, εναλλακτική και οικολογική γεωργία.. ΒΗΜΑ (Εφημερίδα της Ένωσης Γεωπόνων Ν. Λάρισας) 17: 1-5.
4. Δαναλάτος, Ν., Κ. Κοσμάς, Σ. Αγγελίδης και Ν. Γιάσογλου, 1996. Ανάπτυξη βελτιωμένης μεθόδου υπολογισμού και αξιολόγησης υδραυλικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Ναύπλιο 19/5-1/6/1996. Θεσσαλονίκη, σελ. 455-471.
5. Danalatos, N.G., 1993. Quantified Analysis for Selected Land Use Systems in the Larissa Region, Greece. Ph.D. Thesis, Agricultural Univ. of Wageningen, 370 pp.
6. Danalatos, N.G., 1995. Soil Survey of the Aravonitsa (Egion) area. Agric. Univ. of Athens - University of Athens, Department of Geology - EEC Project. No. EV5V-CT94-0452. Athens, 55 pp.

7. Danalatos, N.G., C. Kosmas, B. van Wesemael and J. Poesen, 1996. The effect of rock fragments on erosion, soil-water conservation and desertification. International Conference on Mediterranean Desertification held in Crete, 29/10-1/11/1996 under the auspices of the European Commission DGXII and NAGREF.
8. Francis, C.F. and J.B. Thornes, 1990. Runoff hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types. In: J.B. Thornes (Ed.), *Vegetation and Erosion, Processes and Environments*. Wiley, Chichester, pp. 363-384.
9. Grove, A.T., 1996 The historical context: Before 1850. In: Brandt, C.J. and J.B. Thornes (Eds.), *Mediterranean Desertification and Land Use*. Wiley, Chichester, N.Y., pp. 14-28
10. Kosmas, C. and N.G. Danalatos, 1994. Climate change, desertification and the Mediterranean region. In: Rounsevell, M.D.A. & P.J. Loveland (Eds.), *Soil Response to Climate Change, NATO ASI Series, Vol. I-23*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 25-38.
11. Kosmas, C.S., N.G. Danalatos, N. Moustakas, B. Tsatiris, Ch. Kallianou and N. Yassoglou, 1993. The impacts of parent material and landscape position on biomass production of wheat under semi-arid conditions. *Soil Technology*, Vol. 6, p. 337-349.
12. Kosmas, C., N.G. Danalatos and St. Gerontidis, 1998. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions (under publication in *Catena*).
13. Miller, F.T. and R.L. Guthrie, 1984. Classification and distribution of soils containing rock fragments in the United States. In: *Erosion and Productivity of soil containing rock fragments* (Eds. J.D. Nichols, P.L. Brown & W.J. Grant), Soil Science society of America, Madison, Wisconsin, pp. 1-6.
14. Soil Survey Staff, 1975. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. USDA-SCS Agric. Handbook 436. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
15. Thornes, J.B., 1996. Desertification in the Mediterranean. In: Brandt, C.J. and J.B. Thornes (Eds.), *Mediterranean Desertification and Land Use*. Wiley, Chichester, N.Y., pp. 1-11
16. Van Wesemael, B., J. Poesen, C.S. Kosmas, N. G. Danalatos and J. Nachtergaele, 1996. Evaporation from cultivated soils containing rock fragments. *Journal of Hydrology* 182: 65-82.

