

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ
(Ε.Γ.Μ.Ε.)

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

3^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Επιμέλεια Έκδοσης

Β. Αντωνόπουλος,
Κ. Ακριτίδης και Κ. Τσατσαρέλης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

29-31 Μαΐου 2003

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (Ε.Γ.Μ.Ε.) ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1993 με έδρα την Αθήνα και είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωργικών Μηχανικών (EurAgEng). Η επωνυμία της αποδίδεται στην αγγλική ως "Hellenic Society of Agricultural Engineers" (HelAgEng). Τα μέλη της σήμερα φθάνουν τα 140.

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

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

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

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

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2003

Καθηγητής, Κων/νος Β. Ακριτίδης
Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή Συνεδρίου

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

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Γεωργίου Π., Γεωπόνος Α.Π.Θ.

Γιαννόπουλος Σ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μήτσιου Κ., Γεωπόνος Δημ. Υπ.

Μπαλουκτσής Σ., Πρόεδρος Ε.Κ.Γ.Μ.Β.Ε.

Παυλάτου-Βε Α., Επ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Σακελλαρίου Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.

Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., ΔΣ ΕΓΜΕ

Κωνσταντινίδου Μ. γραμματέας συνεδρίου

Επιστημονική Επιτροπή

Ακριτίδης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.

Γιαννόπουλος Στ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Ζήσης Θ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Καραμούζης Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.

Κυρίτσης Σ., Ομ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μισοπολινός Ν., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.

Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Παναγιωτόπουλος Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Παπαδάκης Γ., Επ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Παπαμιχαήλ Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Παρισόπουλος Γ., ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.

Παυλάτου-Βε Α., Επ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.

Συγριμής Ν., Καθηγητής Γ.Π.Α.

Τερζίδης Γ., Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.

Τζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κριτές Επιστημονικών Εργασιών

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

Επικοινωνία - αλληλογραφία – πληροφορίες

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

ΧΟΡΗΓΟΙ

(Μέχρι 15 Απριλίου 2003)

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

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Υδατικοί Πόροι - Υδρολογία

	Σελ
«Η πλήρης ανάκτηση κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος στην οδηγία 2000/60 για τα νερά» Σ. Γιαννόπουλος, Χ. Τζιμόπουλος	3
«Συγκριτική ανάλυση των εκτιμήσεων των αιχμών απορροής με συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα και με εμπειρικές σχέσεις» Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Δ. Ν. Καραμούζης	11
«Εκτίμηση καμπυλών διάρκειας παροχών στον ποταμό Αλιάκμονα» Ε.Α. Μπαλτάς	20
«Εμπειρίες από την ανάλυση τεσσάρων ισχυρών επεισοδίων βροχής στην Αττική την περίοδο Μαΐου-Νοεμβρίου 2002» Ε.Α. Μπαλτάς,	29
«Μοντέλο Νευρωνικού Δικτύου για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδος» Α. Σπυρίδης, Β. Κουτάλου, Ν. Γκιτσάκης	36
«Δυνατότητες εκμετάλλευσης του καρστικού υδροφορέα Κρασιάς Ελασσόνας, Θεσσαλία» Α. Κ. Μανάκος, Γ. Χ. Δημόπουλος	43

Υδατικοί Πόροι - Αρδεύσεις

«Εκτίμηση της ειδικής παροχής άρδευσης σε ένα προτεινόμενο σχέδιο διαχείρισης των ταμιευτήρων Ολυνθίου, Χαβρία και Πετρένια Χαλκιδικής» Δ. Μ. Παπαμιχαήλ, Π. Ε. Γεωργίου, Δ. Ν. Καραμούζης	53
«Επίδραση της συχνότητας άρδευσης με σταγόνες στην απόδοση βιομάζας αραβοσίτου» Θ. Λέλλης, Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Γ. Μαρτζόπουλος	61
«Παραγωγικότητα καλλιέργειας αραβοσίτου συναρτήσει του εύρους άρδευσης με σύστημα στάγδην» Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Θ. Λέλλης, Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη	69
«Σχέσεις νερού και ποιοτικών χαρακτηριστικών βαμβακιού» Δ. Καλφούντζος, Ι. Αλεξίου, Π. Βύρλας, Σ. Κωτσόπουλος, Γ. Ζέρβα	77

Γεωργικά Μηχανήματα

«Ανάπτυξη βαμβακιού κάτω από κατεργασία υπεδαφοκαλλιεργητή με αβαθή στελέχη» Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Δ. Παπαμιχαήλ, Θ. Γέμτος	87
«Ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας υπεδαφοκαλλιεργητή με προσθήκη υνίων για αβαθή κατεργασία» Ι. Παπαθανασίου, Χρ. Καραμούτης, Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος	95
«Αυτοκινούμενα οχήματα στη γεωργία» Σ. Φουντάς, Θ.Γέμτος, S. Blackmore	103
«Πειραματική μελέτη του μηχανικού εξοπλισμού για σπορά βαμβακιού υπό κάλυψη» Θ. Σταθάκος και Θ. Γέμτος	111
«Επίδραση καλλιεργητικών τεχνικών στην απόδοση και το ενεργειακό κόστος επίσπορου αραβοσίτου» Α.Σ. Λιθουργίδης, Κ.Α. Τσατσαρέλης	119
«Ελκυστήρες με σύγχρονο εξοπλισμό σε εργασίες κατασκευής δασικών δρόμων και μετατόπισης ξύλου» Πλ. Καραρίζος, Ε. Καραγιάννης, Π. Εσκίογλου	127
«Μελέτη των φθορών δασικών δρόμων που προκαλούνται από μέσα μεταφοράς» Π. Εσκίογλου, Ε. Καραγιάννης, Πλ. Καραρίζος	136
«Αριστος χρόνος αντικατάστασης βαμβακοσυλλεκτικών μηχανών» Ε. Μυγδάκος, Γ. Κιτσοπανίδης, Θ.Α. Γέμτος	144

Επεξεργασία Γεωργικών Προϊόντων

«Μέτρηση της αναπνοής οπωροκηπευτικών συντηρουμένων με τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Εφαρμογή στο μανιτάρι» Δ. Γεωργακοπούλου, Π. Δημαρέλη, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος	153
«Επίδραση της θερμοκρασίας και της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην ποιότητα της πιπεριάς» Σ. Χαρίτση, Ι. Μαρίτσα, Ν. Παυλίκου, Ε. Μανωλοπούλου	159
«Επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στο ρυθμό και στη θερμότητα αναπνοής καλλιεργουμένων μανιταριών» Π. Δημαρέλη, Γ. Βαρζακάκος, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου	167

«Μεταβολή του ρυθμού και της θερμότητας αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης δύο ποικιλιών μήλων» Μ. Κανάκη, Γ. Λαμπρινός, Δ. Μητρόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου	174
«Επίδραση της τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην αναπνευστική δραστηριότητα μήλων Pilafa Delicious» Ι. Καμβύση, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Δ. Μητρόπουλος	180
«Συγκριτική διερεύνηση της παραγωγικότητας καλλιέργειας τρανταφυλλιάς σε ανοικτό και κλειστό υδροπονικό σύστημα» Α. Μπιμπή, Χ. Λύκας, Γ. Νάνος, Κ. Κίττας	188

Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργία

«Σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης με ανεμογεννήτρια και Φωτοβολταϊκά» Ε. Mohamed, Γ. Παπαδάκης	199
«Τεχνική εισαγωγής λάθους στο λογισμικό ελέγχου του ρυθμιστή στροφών των γεωργικών ελκυστήρων Ι. Γράβαλος	207
«Ανάπτυξη ενός φωτοβολταϊκού αντλητικού συγκροτήματος με κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς συσσωρευτές» Μ. Predescu, Α. Cracinescu, Α. Καλλιβρούσης, Γ. Παπαδάκης	214
«Γεωργία ακριβείας στο βαμβάκι: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας» Αθ. Μαρκινός, Θ. Γέμτος, Α. Τούλιος, Δ. Πατέρας, Γ. Ζέρβα, Μ. Παπαοικονόμου	222
«Γεωργία ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στην Νότια Ευρώπη» Θ.Α. Γέμτος, Σπ. Φουντάς, Α. Μαρκινός, S. Blackmore	230
«Τράπεζα δοκιμών για τον καθορισμό της ευστάθειας γεωργικών μηχανημάτων» Θ. Γιαλαμάς, Ζ. Κουτσοφίτης, Αγ. Φιλίντας	238

Γεωργία και Περιβάλλον

- «Σύγκριση της απόδοσης δεξαμενών σταθεροποίησης και συμβατικής δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων»
Α. Παπαδόπουλος, Γ. Παρισσόπουλος, Φ. Παπαδόπουλος 249
- «Ορισμένα στοιχεία της λειτουργίας του συστήματος Remos στο Δέλτα του Νέστου για τον ποσοτικό και ποιοτικό έλεγχο των υδατικών πόρων μετά τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών έργων»
Α. Ψιλοβίκος, Κ. Αλμπανάκης, Σ. Μαργώνη, Αρ. Ψιλοβίκος, Χ. Μακρυγιώργος 257
- «Αρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα»
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Ι. Τέντας, Α. Κολιού, Δ. Καλφούντζος, Ν. Παπανίκος. 265
- «Παράμετροι ποιότητας νερού των υδροτόπων Ν. Φώκαιας Χαλκιδικής»
Σ. Καλπάκης, Σ.Ε. Τσιούρης 273
- «Η επίδραση κομπόστας (φυτικής προέλευσης) στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος καλαμποκιού (*Zea mays* L)»
Β. Ντούπη, Α. Παυλάτου-Βε, Σ. Σακελλαριάδης 282
- «Επίδραση τρόπου – χρόνου κατεργασίας του εδάφους και εφαρμογής ζιζανιοκτόνων στην εμφάνιση των ζιζανίων»
Σ. Δ. Σουΐπας, Π. Χ. Λόλας, Θ. Α. Γέμτος 290

Μαθηματικά μοντέλα στη Γεωργία

- «Προσομοίωση του νερού και της θερμοκρασίας με το μοντέλο WANISIM, σε έδαφος με φυτά»
Β.Ζ. Αντωνόπουλος, Δ.Δ. Μιχαηλίδου 301
- «Μελέτη ενός εκθετικού μοντέλου πρόσληψης νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών»
Χ. Γεωργούσης, Χ. Μπαμπατζιμόπουλος 309
- «Συμπεριφορά φυτοφαρμάκων μετά την εφαρμογή τους στο έδαφος»
Π. Κερκίδης, Ι. Αργυροκαστρίτης, W.O. Ochola 318
- «Διακοπτικός ελεγκτής εδαφικής υγρασίας»
Ι. Γράβαλος 327

Αγροτικές κατασκευές

«Η χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους ευρωκώδικες» Μ. Θεοχάρης	337
«Μελέτη ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης θερμοκηπίων» Θ. Κωτσόπουλος, Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου	345
«Επίδραση δύο νέων φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων στο περιβάλλον και στην καλλιέργεια τομάτας» Χ. Παπαϊωάννου, D. Obeid, Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας	354
«Επίδραση φύλλων κάλυψης θερμοκηπίου απορροφητικών στη UV ακτινοβολία στη δραστηριότητα εντόμων σε καλλιέργεια τομάτας» Α. Βατσανίδου, Ι. Μαργαριτόπουλος, Χ. Παπαϊωάννου, Ι.Α. Τσιτσιπής, Κ. Κίττας	362
«Αριθμητική και πειραματική διερεύνηση του φυσικού αερισμού θερμοκηπίου» Θ. Μπαρτζάνας, Κ.Κίττας.	370
«Διερεύνηση της κατανομής θερμοκρασίας και υγρασίας σε μερικά σκιασμένο θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς» Κ.Κίττας, Α. Κοντές, Θ. Μπαρτζάνας	379
«Επίδραση διάφορων τεχνικών ελέγχου των υπερθερμάνσεων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου» Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας.	387
«Συγκριτική μελέτη της επίδρασης του αερισμού, της σκίασης και του δροσισμού των θερμοκηπίων σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς» Ν. Κατσούλας, Κ. Κίττας	395
«Θέρμανση θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια: Επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης» Ι. Χοτζακιάνης, Γ. Μαρτζόπουλος, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου	403
«Εμπλουτισμός θερμοκηπίων με CO ₂ σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών για εξοικονόμηση ενέργειας» Δ. Βαφειάδης, Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου, Γ. Μαρτζόπουλος	413
«Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της αντλίας θερμότητας στο χοιροστάσιο» Ν. Οικονόμου, Γ. Λαμπρινός	421

Ενέργεια στη Γεωργία

«Δυναμικό μοντέλο και έλεγχος συστήματος ανάκτησης ενέργειας σε διεργασίες ξήρανσης» Σ. Βουγιούκας, Α. Δημητριάδης, Κ. Ακριτίδης	431
«Υπολείμματα καλλιέργειας βαμβάκος και παραγωγή βιομάζας στο Νομό Καρδίτσας» Θ. Λέλλης, Γ. Μαρτζόπουλος, Π. Ντιούδης, Αγ. Φιλίντας, Αν. Μπλούκα, Μ. Λιναρδοπούλου	441
«Ενεργειακό και θρεπτικό δυναμικό των Ζωϊκών Αποβλήτων στην Ελλάδα» Μ. Μαρδίκης	449
«Δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων για παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα» Α. Νικολάου, Ι. Παπαμιχαήλ, Β. Λυχνάρας, Κ. Πανούτσου	457
«Ενεργειακό ισοζύγιο συμβατικής και ολοκληρωμένης διαχείρισης της μηλοκαλλιέργειας» Α. Στραπάτσα, Γ.Δ. Νάνος, Ν. Σκρέτα, Ι. Πέτκου, Η. Παπακωνσταντίνου, Ε.Μ. Σφακιωτάκης, Κ.Α. Τσατσαρέλης	465
«Προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους στο σιτάρι» Χρ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Ι. Παπαθανασίου, Θ.Α. Γέμτος	473
«Υπολογισμός συνολικών εισροών και εκροών ενέργειας στα ζαχαρότευτλα για 5 μεθόδους κατεργασίας εδάφους» Χρ. Καβαλάρης, Θ.Α. Γέμτος	481
«Ελαιοκράμβη (Brassica sp.) μία υποσχόμενη καλλιέργεια για την παραγωγή βιοντήζελ στην Ελλάδα» Ε.Νάματοβ, Α. Νικολάου, Μ. Μαρδίκης, Κ. Πανούτσου	489
«Τα πολυμέσα Η/Υ ως εργαλείο ενίσχυσης της εκπαιδευτικής διαδικασίας στη γεωργική μηχανική» Αγ. Φιλίντας, Κ. Δούκας, Θ. Γιαλαμάς, Β. Στανιός	497
«Απλή και ακριβής μέθοδος σταθερής στράγγισης διαστρωμένων εδαφών» Γ.Τερζίδης	505
Ευρετήριο συγγραφέων	515

Αγροτικές Κατασκευές ||

Η ΧΙΟΝΟΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

Μενέλαος Θεοχάρης

Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, ΤΕΙ Ηπείρου, 47100 Άρτα, theochar@teiep.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χιονοφόρτιση είναι μία από τις κύριες καταπονήσεις των θερμοκηπιακών κατασκευών και αποτελεί, μετά τον άνεμο, το σοβαρότερο παράγοντα αστοχίας των κατασκευών αυτών. Μέχρι σήμερα αντιμετωπιζόταν σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς (DIN1055), ή τους Ελληνικούς κανονισμούς (1946). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τυποποίησης (CEN) δημιούργησε α) την Τεχνική Επιτροπή TC250 η οποία συνέταξε τον Ευρωκώδικα 1 (EC1), στο μέρος 2-3 του οποίου δίνονται αρχές και κανόνες για τον υπολογισμό των δράσεων λόγω χιονόπτωσης, και β) την TC284 η οποία το Μάιο 1999 συνέταξε το σχέδιο κανονισμών το prEN 13031-1: 1999, βασισμένο στον EC1 με ειδικές προσαρμογές για τα θερμοκήπια. Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται η χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών για την Ελληνική πραγματικότητα.

Λέξεις κλειδιά : χιόνι, φορτίο, δράση, θερμοκήπιο, Ευρωκώδικας, Ελλάδα.

Snow loads on greenhouse structures according to the Eurocodes

Menelaos Theocharis

Dep. of Plant Production, Tech. Educ. Inst. of Epirus, 47100 Arta theochar@teiep.gr

ABSTRACT

Snow loads, one of the most important action on greenhouse structures, is after the wind loads, the designating reason for failure of these structures. Up to date, snow loads were calculated in accordance with the German (DIN1055) or the Greek regulations (1946). The European Committee for Standardization (CEN) created a) the Technical Committee TC250, which drew up the EC1, in the part 2-3 of which the snow loads on building structures are examined, and b) the technical Committee TC284, which in 1999 drew up the regulation plan prEN 13031-1: 1999, based on EC1 with modifications for the greenhouses. This study examines the snow loads on greenhouse structures under the Greek conditions.

Keywords: snow, load, action, greenhouse, Eurocode, Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το χιόνι μπορεί να εναποτεθεί πάνω στην οροφή του θερμοκηπίου κατά πολλούς διαφορετικούς τρόπους, οι οποίοι εξαρτώνται από το σχήμα της οροφής, τις θερμικές της ιδιότητες, την τραχύτητα της επιφάνειάς της, το ποσό της θερμότητας που παράγεται κάτω από την οροφή, την απόσταση των παρακείμενων κτιρίων, το περιβάλλον έδαφος και τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες. Ιδιαίτερη σημασία έχει το κατά πόσον είναι εκτεθειμένη η οροφή στον άνεμο, οι μεταβολές της θερμοκρασίας καθώς και η πιθανότητα συγκέντρωσης λόγω κατακρήμνισης ή βροχόπτωσης.

Τα φορτία χιονιού κατατάσσονται στις μεταβλητές ελεύθερες δράσεις (όπως αυτές ορίζονται στο Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 1). Είναι δηλαδή φορτίσεις οι οποίες δεν αναμένεται να δράσουν μόνιμα κατά τη διάρκεια ζωής του έργου, η διακύμανση του μεγέθους τους με το χρόνο δεν είναι ούτε αμελητέα, σε σχέση με τη μέση τιμή, ούτε μονότονη και οι οποίες μπορεί να έχουν οποιαδήποτε χωρική κατανομή πάνω στο δόμημα, εντός ορισμένων ορίων.

Σε ειδικές περιπτώσεις, όταν οι καταγραφές της χιονόπτωσης δίνουν ακραίες τιμές οι οποίες δεν μπορούν να αξιοποιηθούν μέσω των συνήθων στατιστικών μεθόδων για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου χιονιού, οι ακραίες αυτές τιμές μπορεί να θεωρούνται ως τυχηματικές δράσεις.

Για τον υπολογισμό του φορτίου χιονιού είναι σύνηθες να μελετάται αρχικά το ομοιόμορφο χιόνι που έχει συσσωρευτεί κάτω από καιρικές συνθήκες νηνεμίας, ενώ η τελική μορφή προκύπτει από το σχήμα της οροφής και της χιονοστιβάδας που έχουν δημιουργηθεί υπό συνθήκες ανέμου.

Τα φορτία αυτά αναφέρεται σε περιοχές με υψόμετρα κάτω των 1500 m. Για περιοχές με ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες (π.χ. υψηλές ταχύτητες ανέμου και λιώσιμο του χιονιού) μπορεί να εφαρμοστεί το παράρτημα Β του μέρους 2-3 του EC1 στο οποίο δίνονται ειδικές μορφές συγκέντρωσης χιονιού, καθώς και αντίστοιχοι συντελεστές μορφής.

2. ΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΤΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ

Το ειδικό βάρος του χιονιού αυξάνεται με τη χρονική διάρκεια που μεσολαβεί από τη διάστρωσή του. Ενδεικτικές τιμές του ειδικού βάρους του χιονιού στο έδαφος, σύμφωνα με το παράρτημα D του μέρους 2-3 του EC1, δίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Το ειδικό βάρος του χιονιού .

Τύπος χιονιού	Ειδικό βάρος (KN/m ³)
Φρέσκο	1,00
Στρωμένο (αρκετές ώρες ή μέρες μετά τη χιονόπτωση)	2,00
Παλαιό	2,50 έως 3,50
Βρεγμένο	4,00

3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ

Το φορτίο χιονιού θεωρείται ότι επενεργεί κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της επιφάνειας της οροφής.

$$\text{Υπολογίζεται από τη σχέση : } S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \quad \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \quad (1)$$

όπου:

μ_i είναι ο συντελεστής μορφής του φορτίου του χιονιού.

S_k είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος σε KN/m^2 .

C_e είναι ο συντελεστής έκθεσης στις καιρικές επιδράσεις που συνήθως παίρνει την τιμή 1,0. Ο συντελεστής μπορεί να πάρει τιμές μικρότερες από 1,0 αν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των ποικιλόμορφων συνθηκών ανέμου.

C_t είναι ο θερμικός συντελεστής, που παίρνει τις τιμές του πίνακα 2, σύμφωνα με το παράρτημα Ε του prEN 13031-1:1999.

Πίνακας 2. Θερμικός συντελεστής, C_t , ανάλογα με τον τύπο της επικάλυψης.

Υλικό κάλυψης	Θερμικός συντελεστής C_t	
	Θερμαινόμενα θερμοκήπια	Μη θερμαινόμενα θερμοκήπια
Απλά φύλλα γυαλιού	0,6	1,0
Διπλά φύλλα γυαλιού	0,7	1,0
Απλά πλαστικά φύλλα	0,6	1,0
Κυματοειδή πλαστικά φύλλα	0,7	1,0
Τοξωτές οροφές με απλά πλαστικά φύλλα	0,6	1,0
Διπλά πλαστικά φύλλα (φουσκωμένα)	0,9	1,0
Τα θερμοκήπια θεωρούνται θερμαινόμενα μόνο στις περιπτώσεις που υπάρχει εξοπλισμός θέρμανσης συνδεδεμένος με αυτόματο μηχανισμό ανοιγοκλεισίματος. Στις άλλες περιπτώσεις τα θερμοκήπια θεωρούνται μη θερμαινόμενα.		

4. Η ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ S_k

Το φορτίο χιονιού στο έδαφος εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση και το υψόμετρο της περιοχής. Οι χαρακτηριστικές τιμές του φορτίου χιονιού στο έδαφος που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των κατασκευών, δίνονται στο παράρτημα Α του μέρους 2-3 του EC1. Σύμφωνα με το παράρτημα αυτό, η Ελλάδα χωρίζεται στις ακόλουθες δύο εθνικές ζώνες χιονιού, οι οποίες φαίνονται και στο σχήμα 1.

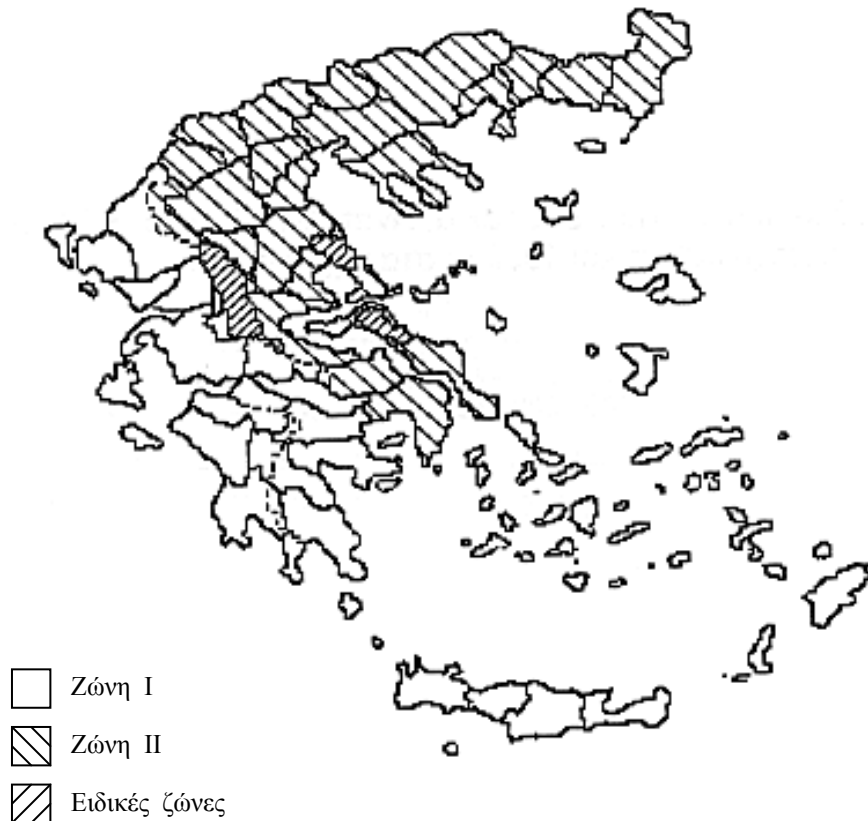
Εθνική Ζώνη Ι : Περιλαμβάνει τις περιοχές : Πελοπόννησο, Δυτική Στερεά, Ήπειρο και Νησιά (εκτός από τις περιοχές της Κρήτης και της Εύβοιας με υψόμετρο > 600 m).

Εθνική Ζώνη II : Περιλαμβάνει τις περιοχές: Θράκη, Μακεδονία, Θεσσαλία, Ανατολική Στερεά, Κρήτη και Εύβοια (για υψόμετρα > 600 m και < 1000 m στα νησιά αυτά).

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος εκτιμάται για περίοδο επανεμφάνισης 50 ετών (ετήσια πιθανότητα υπέρβασής της $p = 2 \%$). Στον πίνακα 3 δίνονται για τις παραπάνω Εθνικές Ζώνες οι τιμές του φορτίου χιονιού στο έδαφος, S_k , σε KN/m^2 .

Πίνακας 3. Χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού, S_k , στο έδαφος σε KN/m^2

Υψόμετρο (m) →	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	έως 100	έως 200	έως 300	έως 400	έως 500	έως 600	έως 700	έως 800	έως 900	έως 1000
Εθνική Ζώνη I	0,22	0,27	0,33	0,39	0,47	0,57	0,68	0,82	0,98	1,19
Εθνική Ζώνη II	0,44	0,52	0,62	0,73	0,86	1,01	1,19	1,41	1,67	1,97



Σχήμα 1. Εθνικές ζώνες χιονιού στην Ελλάδα, σύμφωνα με τον EC1.

Για τις ειδικές Ζώνες (Πίνδος, Βόρεια ορεινή Εύβοια, Πήλιο, καθώς και για τις υπόλοιπες ορεινές περιοχές της χώρας με υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000 m) η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού στο έδαφος S_k , προκύπτει από στατιστική ανάλυση καταγραφών του φορτίου χιονιού για περιόδους μεγαλύτερες των 20 ετών, η οποία θα πρέπει να καταλήγει σε ένα χαρακτηριστικό φορτίο προσαρμοσμένο στον πίνακα 3.

Το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος, S_n , για πιθανότητα υπέρβασης, p , διάφορη του 2 %, υπολογίζεται σύμφωνα με το παράρτημα Ε του μέρους 2-3 του EC1, από τη σχέση :

$$S_n = S_k [0,3375 - 0,1698 \cdot \ln[-\ln(1-p)]] \quad (2)$$

όπου S_k είναι το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος για ετήσια πιθανότητα υπέρβασης ίση με 2 %. Για παράδειγμα πιθανότητα $p = 7 \%$ (υπέρβαση μία φορά στα 15 χρόνια), συνεπάγεται $S_n = 0,78 \cdot S_k$.

5. Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ μ_i

Για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων συντελεστών μορφής, λαμβάνονται υπόψη τρεις μορφές κατανομής φορτίου :

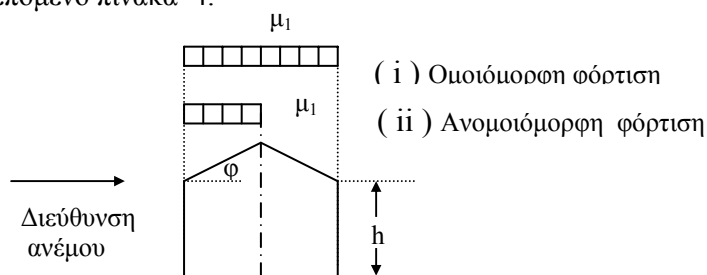
α) Η πρώτη προκύπτει από μία ομοιόμορφη κατανομή του χιονιού πάνω σε ολόκληρη την οροφή, και ισχύει όταν το χιόνι πέφτει με μικρή πνοή ανέμου.

β) Η δεύτερη μορφή προκύπτει από μία αρχική ασύμμετρη κατανομή, ή από ανακατανομή του χιονιού που επηρεάζει την κατανομή του φορτίου στο σύνολο της οροφής. (π.χ. χιόνι που μεταφέρεται από την προσήνεμη στην υπήνεμη πλευρά της οροφής).

γ) Η τρίτη μορφή προκύπτει από ανακατανομή του χιονιού στα υψηλότερα τμήματα της οροφής, λόγω ολίσθησης.

5.1. Απλά αμφικλινή θερμοκήπια

Για τις αμφικλινείς οροφές εξετάζονται δύο διατάξεις του συντελεστή μορφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Για το σχεδιασμό θα λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη από αυτές. Οι τιμές του συντελεστή μορφής, μ_1 , παίρνονται από τον επόμενο πίνακα 4.



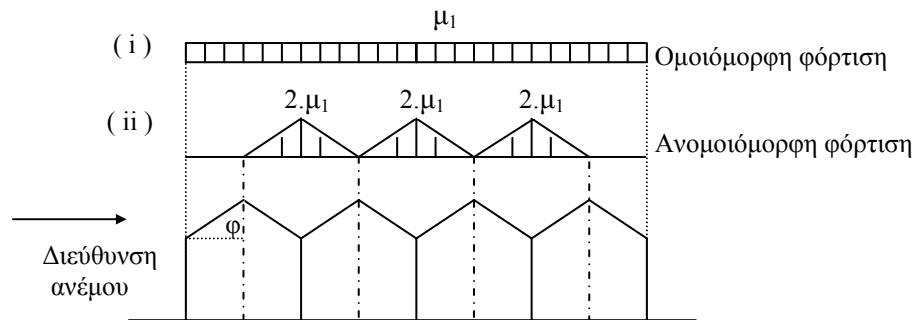
Σχήμα 2 . Συντελεστής μορφής απλών αμφικλινών θερμοκηπίων .

Πίνακας 4. Συντελεστής μορφής απλών αμφικλινών θερμοκηπίων.

Συντελεστής μορφής μ_1	Γωνία κλίσεως της οροφής		
	$0^\circ \leq \varphi \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$	$\varphi \geq 60^\circ$
	0,8	$0,8 (60-\varphi) / 30$	0,0

5.2. Πολλαπλά αμφικλινή θερμοκήπια

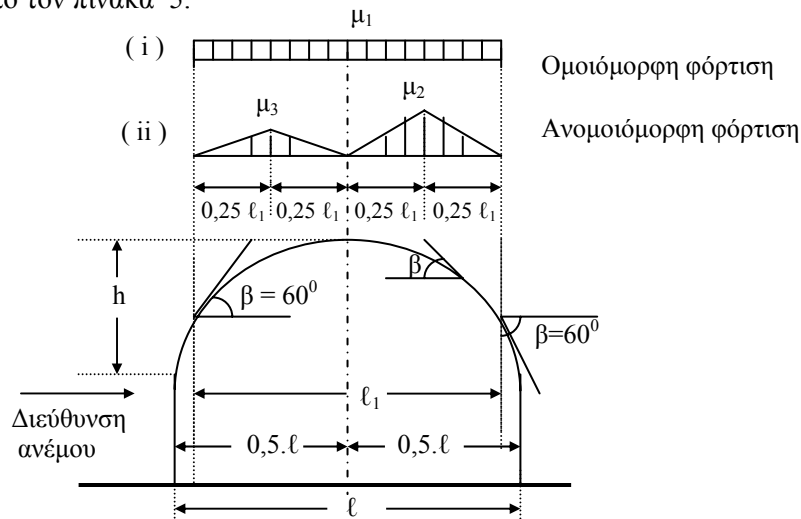
Εξετάζονται οι επόμενες δύο διατάξεις του συντελεστή μορφής και λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη. Η τιμή του συντελεστή μορφής είναι $\mu_1 = 0,8$.



Σχήμα 3. Συντελεστής μορφής πολλαπλών αμφικλινών θερμοκηπίων.

5.3. Απλά τοξωτά θερμοκήπια

Εξετάζονται οι επόμενες δύο διατάξεις του συντελεστή μορφής και λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη. Οι τιμές των συντελεστών μορφής παίρνονται από τον πίνακα 5.



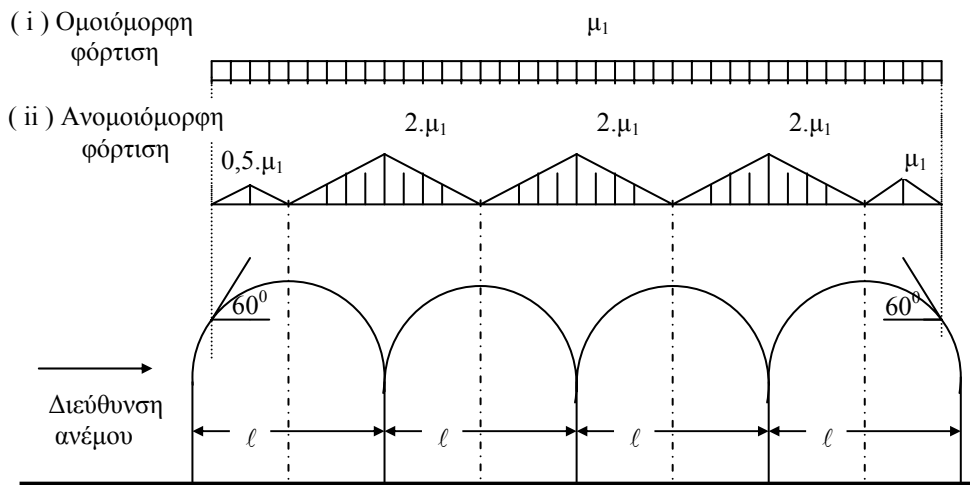
Σχήμα 4. Συντελεστής μορφής απλών τοξωτών θερμοκηπίων.

Πίνακας 5. Συντελεστές μορφής απλών τοξωτών θερμοκηπίων.

Συντελεστής μορφής	Γωνία κλίσεως β	
	$0^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$\beta > 60^\circ$
μ_1	0,8	0
μ_2	$0,2 + 10 \cdot h/\ell \leq 1$	0
μ_3	$0,5 \cdot \mu_2$	0

5.4. Πολλαπλά τοξωτά θερμοκήπια

Εξετάζονται οι επόμενες δύο διατάξεις και κατά το σχεδιασμό λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη. Η τιμή του συντελεστή μορφής είναι $\mu_1 = 0,8$.



Σχήμα 5. Συντελεστής μορφής πολλαπλών τοξωτών θερμοκηπίων

6. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στις περιοχές με ειδικές κλιματικές συνθήκες εντάσσονται οι περιοχές όπου, μεταξύ ανεξάρτητων κλιματικών καταστάσεων, όλο το χιόνι λιώνει και απομακρύνεται και όπου οι ταχύτητες των ανέμων είναι υψηλές. Οι συντελεστές μορφής που εφαρμόζονται στις περιοχές αυτές, δίνονται στο παράρτημα Β του μέρους 2-3 του EC1. Κάθε περίπτωση φόρτισης χιονιού θεωρείται ότι δρα ανεξάρτητα και δεν πρέπει να επαλληλίζεται με καμία άλλη φόρτιση χιονιού.

6.1 Απλά αμφικλινή θερμοκήπια - Τοξωτά θερμοκήπια

Ισχύουν όσα περιέχονται στις παραγράφους 5.1, 5.3 και 5.4, εκτός αν ορίζεται κάτι άλλο από την Αρμόδια Εθνική Αρχή.

6.2 Πολλαπλά αμφικλινή θερμοκήπια

Ισχύουν όσα περιγράφονται στην παράγραφο 5.2 , με τη διαφορά ότι η τιμή του συντελεστή μορφής για την ανομοιόμορφη φόρτιση αντί για $2.\mu_1$, είναι $\mu_3 = 2.h / S_k$ τον περιορισμό ότι $0,8 \leq \mu_3 \leq 3$.

7. ΤΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ A_{k1}

Τα συμπτωματικά φορτία χιονιού, A_{k1} , είναι φορτία τα οποία επιβάλλονται από ακραίες τιμές χιονιού οι οποίες δεν είναι δυνατό να διαχειριστούν από τις συνήθεις στατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της χαρακτηριστικής τιμής . Σε αυτή την περίπτωση οι ακραίες τιμές επιτρέπεται να θεωρούνται συμπτωματικά φορτία. Το συμπτωματικό φορτίο χιονιού μπορεί να εφαρμόζεται για περίοδο επαναφοράς που προκύπτει με τον ίδιο τρόπο που ισχύει για το φορτίο χιονιού που επιβάλλεται στο έδαφος.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών αντιμετωπίζεται συστηματικά σύμφωνα με το μέρος 2-3 του EC1, και το σχέδιο κανονισμών prEN 13031-1: 1999 της TC284.
- Το φορτίο χιονιού θεωρείται ότι επενεργεί κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της επιφάνειας της οροφής.
- Κάθε περίπτωση φόρτισης χιονιού θεωρείται ότι δρα ανεξάρτητα και δεν πρέπει να επαλληλίζεται με καμία άλλη φόρτιση χιονιού.
- Η Ελλάδα χωρίζεται σε δύο εθνικές ζώνες χιονιού, ενώ για περιοχές με ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες πρέπει να εφαρμόζονται ειδικές μορφές συγκέντρωσης χιονιού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. American National Standard A58.1. Building Code requirements for minimum design loads in buildings and other structures, *American National Standards Institute, New York, 1982*.
2. Draft prEN 13031-1 . Greenhouses : Design and construction - Part 1: Commercial production Greenhouses. *CEN, 1997*.
3. Ερμόπουλος Ι., Ευρωκώδικας 1, Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών. *Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 1997*.
4. Eurocode 1- Part 1 , Basis of design and actions on structures, Basis of design. *CEN, ENV 1991-1, September 1994*.
5. Eurocode 1 - Part 2-3: Actions on structures - Snow loads. *CEN, ENV 1991-2-3, February 1995*.
6. Μαυρογιαννόπουλος Γ. Ν., Θερμοκήπια. *Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα 1994*.
7. Standards for design loads in greenhouse structures. *National Greenhouse manufactures association (NGMA), 1997*.

ΜΕΛΕΤΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Κωτσόπουλος, Θ., Μαρτζόπουλος, Γ., Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Χ.

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,

Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ.,

54006 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη μελέτη που αφορά την ανάπτυξη και λειτουργία ενός πρότυπου συστήματος διαχείρισης θερμοκηπίων στην περιοχή Αγ. Γεωργίου του Δήμου Δοβρά που ανήκει στο Νομό Ημαθίας. Στη μελέτη αυτή λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη η βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου σε επάρκεια ενεργειακού πόρου της περιοχής που είναι η βιομάζα. Επίσης περιλαμβάνονται η καταγραφή και εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης και οι τρόποι βελτίωσης της. Τέλος με την παρούσα μελέτη εξασφαλίζεται μια ολοκληρωμένη, βιώσιμη και σύγχρονη λύση για την περαιτέρω ανάπτυξη της περιοχής του Αγ.Γεωργίου δεδομένου ότι η κύρια ασχολία των κατοίκων στο συγκεκριμένο Δήμο είναι η γεωργία.

Λέξεις κλειδιά: Θερμοκήπια, Βιομάζα, Δοβρά

STUDY OF A COMPLETED PROGRAM OF GREENHOUSES MANAGEMENT

Kotsopoulos, T., Martzopoulos, G., Nikita – Martzopoulou, Ch.

Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering

School of Agriculture, Aristotle University,

54124 Thessalonici, Greece.

ABSTRACT

In this work a completed study concerning the development and operation of a model system of greenhouses management in the region Ag. George of Dovra Municipality-Prefecture Imathia, is presented. In this study the most optimal exploitation, available in sufficiency, of energy source in the region that is the biomass is taken into consideration. It also includes the recording and estimate of existing situation and ways of its improvement. Finally with the present study a completed, viable and modern solution for her further development of Ag. George region is ensured, since the main occupation of residents in the particular Municipality is the agriculture.

Keywords: Greenhouses, Biomas, Dobra

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην περιοχή Αγ.Γεωργίου του Δήμου Δοβρά η κύρια ασχολία των κατοίκων είναι η γεωργία η οποία εστιάζεται στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην παρουσίαση ενός ολοκληρωμένου προγράμματος διαχείρισης της συγκεκριμένης περιοχής. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται στην καταγραφή και εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης, ώστε μέσα από αυτήν να αναδειχθούν οι τρόποι αναδιοργάνωσης, εκμετάλλευσης και διαχείρισης των θερμοκηπίων και θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Επιπλέον προτείνονται σχέδια βελτίωσης των υπάρχοντων θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων, κατασκευή νέων θερμοκηπίων και θερμοσπορείων, κατασκευή εκθετηρίου, διοικητηρίου, μονάδων διατήρησης, τυποποίησης και μεταποίησης. Υποδεικνύονται οι προδιαγραφές πιστοποίησης της ταυτότητας των παραγομένων προϊόντων που θέτει ο Οργανισμός Πιστοποίησης και Επίβλεψης Γεωργικών Προϊόντων (Ο.Π.Ε.ΓΕ.Π.). Γίνεται συστηματική αναφορά στον τρόπο βελτίωσης της απόδοσης, της μείωσης του κόστους παραγωγής και της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων.

Στην παρούσα εργασία δίδεται επίσης ιδιαίτερη βαρύτητα στον τρόπο εκμετάλλευσης της υπάρχουσας βιομάζας της περιοχής, παρέχοντας την τεχνογνωσία για τη λειτουργία ενός καυστήρα βιομάζας, αξιοποιώντας έτσι τον εγχώριο-τοπικό ενεργειακό πόρο (πυρήνες ροδακίνων και ξυλεύματα).

2. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

2.1 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης έγινε με τη διανομή ερωτηματολογίων στους παραγωγούς καθώς και με επιτόπια έρευνα.

Με την επιτόπια έρευνα καταγράφηκε ο αριθμός και η τοποθεσία των θερμοκηπίων, όπως και στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία τους.

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην περιοχή του Αγ. Γεωργίου διαπιστώθηκε ότι καταλαμβάνουν μια έκταση 1200 στρεμμάτων περίπου. Οι θερμοκηπιακές κατασκευές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή αποτελούνται στην πλειονότητα τους από μεταλλικό σκελετό τύπου τροποποιημένου τοξωτού και χρησιμοποιούν σαν υλικό κάλυψης φύλλα πολυαιθυλενίου. Σε πολύ μικρό ποσοστό υπάρχουν και θερμοκήπια χωρικού τύπου.

Από την επεξεργασία των ερωτηματολογίων προέκυψε ότι στην περιοχή του Αγ.Γεωργίου η κύρια καλλιέργεια που χαρακτηρίζει την αγροτική δραστηριότητα των κατοίκων είναι η θερμοκηπιακή καλλιέργεια της πιπεριάς που καταλαμβάνει το 90% της συνολικής έκτασης των θερμοκηπίων.

Ακολουθούν η μελιτζάνα με ποσοστό 4%, τα φασολάκια με επίσης 4% το αγγουράκι με 2% και η τομάτα με ένα πολύ μικρό ποσοστό μόλις 0.2%.

2.2 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η πλειοψηφία των θερμοκηπίων που καταγράφηκαν στα ερωτηματολόγια και μάλιστα σε ποσοστό 63% φαίνεται ότι δεν διαθέτουν συστήματα θέρμανσης για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διάθεση των προϊόντων τους στην αγορά σε περιόδους που οι τιμές δεν είναι οι υψηλότερες του έτους. Οι περιοριστικοί παράγοντες για τη χρήση θέρμανσης, όπως οι ίδιοι οι παραγωγοί δηλώνουν, είναι το αρχικό κόστος εγκατάστασης ενός αποτελεσματικού συστήματος και η μετέπειτα δαπανηρή λειτουργία του λόγω της τιμής του πετρελαίου.

Τελικά προκύπτει ότι μόνον το 37% των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην περιοχή διαθέτει σύστημα θέρμανσης. Από τα θερμοκήπια το 24% χρησιμοποιούν σαν μέσο θέρμανσης τη βιομάζα, 9% το πετρέλαιο και 4% το υγραέριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περιοχή υπάρχει ποσότητα βιομάζας (κουκούτσι-ξύλεμα) η οποία προέρχεται από την καλλιέργεια της ροδακινιάς και θεωρείται επαρκής (μόνο στο Δήμο Δοβρά ο αριθμός δένδρων ροδακινιάς ανέρχεται σε 908000, χωρίς να ληφθεί υπόψη ο αριθμός δένδρων στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Ημαθίας, πηγή ΕΣΥΕ (2000)) για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των υπαρχόντων θερμοκηπίων.

Η βιομάζα σαν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι ιδιαίτερα φθηνή συγκρινόμενη κυρίως με τα συμβατικά καύσιμα. Από τη στιγμή που αποδεδειγμένα αποτελεί τοπικό φυσικό πόρο θα μπορούσε να χρησιμοποιείται σε ευρύτερη κλίμακα από τους παραγωγούς όχι μόνο στον γεωργικό τομέα αλλά και σε άλλους τομείς δραστηριότητας των κατοίκων. Το ότι μόνον το 24% των θερμοκηπίων θερμαίνεται με βιομάζα οφείλεται στην επιφυλακτικότητα των παραγωγών απέναντι σε αυτήν την μορφή ενέργειας, στη μη σωστή διαχείριση της βιομάζας (έλλειψη κατάλληλων αποθηκευτικών χώρων βιομάζας με αποτέλεσμα πρόσληψη υγρασίας από αυτήν και έτσι μείωση της θερμαντικής της αξίας), στο υψηλό κόστος εγκατάστασης της θέρμανσης για τους παραγωγούς σε αντίθεση με ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης, όπου το κόστος αυτό επιμερίζεται και έτσι το κόστος ανά παραγωγό είναι κατά πολύ χαμηλότερη.

2.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

2.3.1 Θερμοσπορεία

Όπως ήδη αναφέρθηκε η κύρια θερμοκηπιακή καλλιέργεια στην περιοχή είναι η πιπεριά. Με βάση το ερωτηματολόγιο το 96% των παραγωγών διαθέτουν δικό τους θερμοσπορείο. Από το αποτέλεσμα προκύπτει ότι υπάρχει μεγάλη

διακύμανση τόσο στην ποιότητα όσο και στην ποσότητα της παραγωγής της πιπεριάς από παραγωγό σε παραγωγό.

2.3.2 Προμήθεια πρώτων υλών

Σε σχετική ερώτηση για την πηγή προμήθειας των πρώτων υλών (φάρμακα, λιπάσματα, σπόρους) το 96% των παραγωγών δηλώνουν ότι τα προμηθεύονται από ιδιώτη και μόνο το 4% από συνεταιρισμό.

2.3.3 Διακίνηση προϊόντων

Στην ερώτηση σχετικά με το πώς διακινούν το προϊόν τους οι παραγωγοί απάντησαν σε ποσοστό 38% ότι το διακινούν μέσω ομάδας, το 36% από αυτούς ατομικά και τέλος το 26% μέσω συνεταιρισμού.

Οι κύριοι στόχοι της εμπορίας των αγροτικών προϊόντων πρέπει να είναι η αύξηση της ποσότητας διάθεσης τους, καθώς και η επίτευξη ικανοποιητικών τιμών διάθεσης, ώστε να διασφαλίζεται ένα υψηλό επίπεδο ευημερίας για τους παραγωγούς. Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι σημαντικό ρόλο παίζει η διαπραγματευτική ισχύς των παραγωγών. Όπως προκύπτει όμως από τις σχετικές τους απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο, η διακίνηση των προϊόντων τους γίνεται είτε μεμονωμένα είτε από μικρές ομάδες, πράγμα που δυσκολεύει την επίτευξη των παραπάνω στόχων.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι για την επίτευξη υψηλότερων τιμών διάθεσης των προϊόντων τους θα πρέπει να υπάρξει καλύτερη και ορθολογικότερη οργάνωση στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η διακίνηση και η εμπορία τους.

2.3.4 Τυποποίηση προϊόντος

Τυποποίηση ενός γεωργικού προϊόντος ονομάζεται ο διαχωρισμός της όλης διακινούμενης ποσότητας του σε διάφορες ποιότητες καθεμιά από τις οποίες έχει διαφορετική τιμή. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τυποποίηση είναι ότι αυξάνει την ποσότητα πώλησης των γεωργικών προϊόντων διότι συντελεί στην αύξηση της ζήτησης τους από πλευράς καταναλωτών, μειώνει την ανάγκη διαφήμισης γιατί η τυποποίηση είναι ένα είδος ενημέρωσης σχετικά με την ποιότητα του προϊόντος, και συντελεί στην αύξηση του εισοδήματος του παραγωγού. Παρόλα τα πλεονεκτήματα της τυποποίησης μόνο το 28% των παραγωγών του Αγ. Γεωργίου τυποποιούν τα προϊόντα τους.

2.3.5 Εγκαταστάσεις συντήρησης, αποθήκευσης

Στην ερώτηση αν διαθέτουν εγκαταστάσεις συντήρησης, αποθήκευσης και συσκευασίας του προϊόντος, το 48% των παραγωγών απάντησε θετικά, ενώ το 52% των παραγωγών δεν διαθέτει εγκαταστάσεις. Από τις εγκαταστάσεις που υπάρχουν το 11% είναι ιδιόκτητες και το 89% είναι συνεταιριστικές.

2.2.6 Επιθυμία ένταξης σε ένα σύστημα διαχείρισης με στόχο τη μείωση του κόστους παραγωγής και την πιστοποίηση των προϊόντων.

Το 95% των παραγωγών απάντησαν θετικά στο ενδεχόμενο της ένταξης τους σε ένα σύστημα διαχείρισης με στόχο τη μείωση του κόστους παραγωγής και την πιστοποίηση των προϊόντων τους. Το 3% επιθυμεί και αυτό την ένταξη του υπό προϋποθέσεις, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω, και τέλος το 2% δεν επιθυμεί την ένταξη του σε αυτό.

Οι προϋποθέσεις που θέτουν ορισμένοι παραγωγοί είναι οι παρακάτω:

- Να ενταχθούν ως ομάδα παραγωγών
- Να εξασφαλισθεί η διάθεση των προϊόντων τους
- Η τιμή διάθεσης των προϊόντων τους να είναι συμφέρουσα
- Η οργανωτική επιτροπή του συστήματος να έχει ικανότητες, να είναι κοινής αποδοχής, και να έχει τις απαραίτητες γνώσεις

3. ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΝΑΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΔΟΒΡΑ – ΜΕΙΩΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

3.1. Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις

Από την επιτόπια έρευνα προέκυψε ότι η πλειονότητα των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων, σε ό,τι αφορά το στατικό σχεδιασμό τους, είναι σύμφωνη με τις υφιστάμενες προδιαγραφές. Παρόλα αυτά, προβλήματα σχετικά με τα ποσοστά αερισμού και το σύστημα θέρμανσης είναι εμφανή. Για το λόγο αυτό προτείνεται ένα σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης σύμφωνα με το οποίο, ομάδα ειδικών θα διαπιστώσει τις αδυναμίες κάθε θερμοκηπιακής μονάδας που θα ενταχθεί σε αυτό και θα προτείνει λύσεις τεχνικά και οικονομικά (3^ο Κ.Π.Σ.) εφικτές.

Πέραν τούτου προτείνεται η εγκατάσταση ενός θερμοκηπιακού πάρκου στη διαθέσιμη από το Δήμο Δοβρά περιοχή όπου θα λειτουργήσουν θερμοκηπιακές μονάδες 4 στρεμμάτων η κάθε μία. Ο χώρος εγκατάστασης θα παραχωρείται για χρονικό διάστημα 15 ετών τουλάχιστον (χρόνος απόσβεσης) από το Δήμο σε ενδιαφερόμενους παραγωγούς που θα ενταχθούν στο ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης . Οι όροι παραχώρησης θα καθοριστούν από το Δήμο. Οι θερμοκηπιακές κατασκευές που θα εγκατασταθούν στο χώρο αυτό θα είναι σύμφωνες με τον τύπο και τις προδιαγραφές που αναφέρονται στις παράλληλες επενδύσεις.

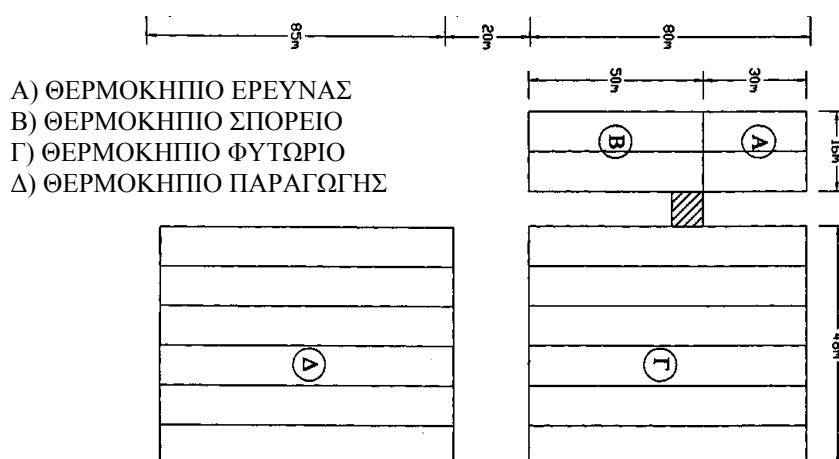
Το σύνολο των θερμοκηπιακών αυτών μονάδων σε πρώτη φάση δε θα υπερβαίνει τις 10. Το κόστος εγκατάστασης θα βαρύνει τους ενδιαφερόμενους, οι οποίοι θα μπορούν να ενισχυθούν μέσω των επιδοτήσεων που προβλέπονται από το Τρίτο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης (3^ο Κ.Π.Σ.) καθώς και μεσο-μακροπρόθεσμων χαμηλότοκων αγροτικών ή βιοτεχνικών δανείων.

Η επιλογή των υποψηφίων επενδυτών (1-2 άτομα ανά θερμοκηπιακή μονάδα) θα γίνεται από το δημοτικό φορέα διαχείρισης που θα συγκροτήσει ειδική ανεξάρτητη επιτροπή ειδικών ως εξής: 1 μέλος (γεωτεχνικός) από την Γ.Γ. Κεντρικής Μακεδονίας , 1 μέλος (γεωτεχνικός) από τη Νομαρχία Ημαθίας, 1 μέλος του Δήμου Δοβρά και 2 μέλη καθηγητές του Τμήματος Γεωπονίας ειδικοί στο αντικείμενο, ώστε να είναι πιο αντικειμενική η επιλογή των υποψηφίων επενδυτών.

3.2 Παράλληλες επενδύσεις

Για την αύξηση της παραγωγής, τη βελτίωση της ποιότητας, τη μείωση του κόστους παραγωγής και την τυποποίηση για την αύξηση της τιμής διάθεσης απαιτούνται συγκεκριμένες εγκαταστάσεις οι οποίες θα εξυπηρετούν τόσο τις νέες θερμοκηπιακές μονάδες που θα εγκατασταθούν στο θερμοκηπιακό πάρκο του δήμου, όσο και τις υφιστάμενες που θα ενταχθούν στο σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης.

Οι απαιτούμενες παράλληλες επενδύσεις όπως προέκυψε από την τεχνική μελέτη περιλαμβάνουν τις ακόλουθες εγκαταστάσεις: Α) ένα πρότυπο θερμοκήπιο παραγωγής (4 στρέμματα) Β) ένα θερμοκήπιο-σπορείο για παραγωγή φυτωρίων με ξεχωριστή μονάδα έρευνας-σπορείου (5 στρέμματα).

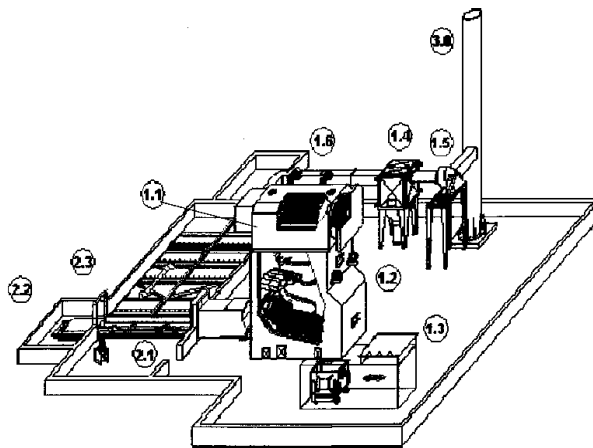


Σχήμα 2. Διαστάσεις θερμοκηπιακών μονάδων

Γ) Με σκοπό την τυποποίηση, μεταποίηση και διατήρηση των προϊόντων προβλέπεται η κατασκευή ενός βιοτεχνικού κτιρίου επιφάνειας 1.275 m .Στο κτίριο θα ενσωματωθεί κατάλληλος χώρος γραφείων για την εξυπηρέτηση μιας κεντρικής διοίκησης, οργάνωσης, ελέγχου και προγραμματισμού της παραγωγής των θερμοκηπιακών προϊόντων αλλά και της λειτουργίας των θερμοκηπιακών μονάδων. Στο κτίριο θα υπάρχει μία πλήρης αυτόματη ηλεκτρονική γραμμή επεξεργασίας – διαλογής - συσκευασίας των βασικών προϊόντων (πιπεριά , αγγουράκι, ντομάτα) δυναμικότητας 35-40 τόνων / 8ωρο,

καθώς επίσης όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός αποθήκευσης των προϊόντων σε θαλάμους ψυγείων.

Δ) Σχεδιάζεται επίσης μία κεντρική μονάδα θέρμανσης ισχύος 5000 kW με καύσιμο ύλη βιομάζα (πυρήνες φρούτων, φλούδες, κλαδιά από τα κλαδέματα των δένδρων, άχυρο κλπ.) η οποία θα εξυπηρετεί θερμοκηπιακή έκταση εντός του οικοπέδου (λεπτομέρειες της κεντρικής μονάδας θέρμανσης εμφανίζονται στο σχήμα 3). Η επιφάνεια των θερμοκηπίων που θα υποστηρίζεται από την κεντρική μονάδα θέρμανσης σε πρώτη φάση θα είναι περίπου 30 στρέμματα όπως προκύπτει από σχετική μελέτη και σύμφωνα με την προαναφερόμενη θερμογόνο ισχύ. Θα υπάρχει όμως η πρόβλεψη και η υποδομή για μελλοντική επέκταση της μονάδας θέρμανσης, έτσι ώστε να υποστηριχθεί η υπόλοιπη επιφάνεια εντός του οικοπέδου αλλά και τα υφιστάμενα θερμοκήπια της περιοχής.



1.1 Λέβητας, 1.2 καυστήρας, 1.3 μηχανική απομάκρυνση στάχτης, 1.4 φίλτρο καθαρισμού καυσαερίων, 1.5 απορροφητήρας καυσαερίων, 1.6 αγωγοί καυσαερίων, 2.1 μηχανισμός τροφοδοσίας του καυστήρα με βιομάζα, 2.2 χώρος τροφοδοσίας βιομάζας προς το μηχανισμό μεταφοράς, 2.3 υδραυλικός μηχανισμός μεταφοράς βιομάζας, 3.0 καμινάδα.

Σχήμα 3. Κεντρική μονάδα θέρμανσης

Στη μονάδα κεντρικής θέρμανσης συμπεριλαμβάνεται η κτιριακή υποδομή στέγασης των θαλάμων καύσης και του λέβητα με όλο τον παρελκόμενο απαραίτητο εξοπλισμό. Η τροφοδοσία του καυστήρα με βιομάζα θα γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού που θα στεγάζεται σε ξεχωριστό χώρο εντός του κτιρίου, στο οποίο θα γίνεται και η αποθήκευση της καύσιμης ύλης.

Ε) Προτείνεται και σχεδιάζεται επίσης μία κεντρική μονάδα τροφοδοσίας νερού προς άρδευση των θερμοκηπίων εντός του οικοπέδου. Ο σκοπός της μονάδας αυτής θα είναι η αυτόματη αλλά και ελεγχόμενη παροχή νερού προς άρδευση. Στην μονάδα περιλαμβάνονται οι δεξαμενές νερού, το κτίριο στέγασης του

κεντρικού αντλιοστασίου άρδευσης, καθώς επίσης και το κεντρικό δίκτυο σωληνώσεων παροχής του νερού.

Στ) Κτίριο ηλεκτρικού υποσταθμού και εφεδρικό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ισχύος 164kW για κάλυψη αναγκών σε περιόδους διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος από διάφορες αιτίες.

3.3. Οργάνωση και διοίκηση του συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης των θερμοκηπίων του δήμου Δοβρά.

Το σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης των θερμοκηπίων του δήμου Δοβρά αποβλέπει στην αναδιοργάνωση και βελτίωση του τρόπου και των μεθόδων αξιοποίησης των συντελεστών παραγωγής θερμοκηπιακών προϊόντων καθώς και στην αξιοποίηση των εγχώριων ενεργειακών πόρων και στην πιστοποίηση των προϊόντων αυτών.

Η πρόταση που υποβλήθηκε από το δήμο Δοβρά στοχεύει στη δημιουργία ενός ρεαλιστικού και αποδοτικού σχήματος διαχείρισης το οποίο α) θα στηρίζεται σε ιδιωτικό – οικονομικά κριτήρια β) θα αποβλέπει στη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων π.χ. παραγωγών, εμπόρων κ.λ.π., γ) θα διοικείται από ανεξάρτητο φορέα ειδικών, δ) θα ελέγχεται από το σύνολο των παραγωγών που θα ενταχθούν στο σύστημα και ε) θα αυτοχρηματοδοτείται. Ένα τέτοιο σχήμα με τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά θα πρέπει να έχει τη νομική μορφή Ανώνυμης Εταιρείας και να λειτουργεί ως δημοτική επιχείρηση.

Τα μέλη της εταιρείας θα αποτελούν α) υποχρεωτικά όλοι όσοι επιλεγούν για εγκατάσταση νέων θερμοκηπιακών μονάδων στο χώρο του θερμοκηπιακού πάρκου του δήμου Δοβρά, β) όσοι από τους παραγωγούς θερμοκηπιακών προϊόντων επιλέξουν εθελοντικά να συμμετάσχουν στο σύστημα της ολοκληρωμένης διαχείρισης γ) ο δήμος Δοβρά δια των εκπροσώπων του, καθώς αυτός είναι ο ιδιοκτήτης του χώρου και των κοινωφελών εγκαταστάσεων του πάρκου.

Η εταιρεία θα διοικείται από επταμελές Διοικητικό Συμβούλιο που θα εκλέγεται από το σύνολο των μελών του με υποχρεωτική συμμετοχή σε αυτό ενός εκπροσώπου της Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Τα μέλη του Δ.Σ. θα είναι άμισθα. Εσωτερικός κανονισμός θα ορίζει τυχόν αποζημιώσεις που θα απαιτούνται για συγκεκριμένες δραστηριότητες των μελών του Δ.Σ.

Η εταιρεία θα διευθύνεται από ένα διευθύνοντα σύμβουλο γεωτεχνικό ,κατά προτίμηση γεωπόνο απόφοιτο του Α.Π.Θ. και εξειδικευμένο στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η εξειδίκευση του διευθυντή θα αποδεικνύεται από την κατοχή μεταπτυχιακού διπλώματος (MSc ή ισότιμο αντίστοιχο δίπλωμα ή διδακτορικό). Ο Διευθύνων Σύμβουλος θα συμμετέχει σαν εισηγητής στις συνεδριάσεις του Δ.Σ. και θα είναι αμειβόμενος.

Το διευθυντικό σχήμα της εταιρείας θα πλαισιώνεται από έναν οικονομικό διευθυντή, έναν τεχνικό διευθυντή και έναν ακόμη γεωπόνο υπεύθυνο

παραγωγής. Όλοι οι προαναφερόμενοι θα είναι αμειβόμενοι. Το ύψος των αμοιβών των διευθυντικών στελεχών θα καθορισθεί από το Δ.Σ. της εταιρείας.

Τέλος, η εταιρεία θα έχει μόνιμο και ανεξάρτητο 5 μελές Τεχνικό Συμβούλιο που θα αποτελείται από εξειδικευμένους με το αντικείμενο επιστήμονες.

Η εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης των θερμοκηπίων του δήμου Δοβρά , θα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής κατά 20% , που θα προκύπτει από τη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας (βιομάζα) και την οργανωμένη διακίνηση των πρώτων υλών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καταγραφή και η εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης σχετικά με τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην περιοχή Αγ. Γεωργίου του Δήμου Δοβρά Ημαθίας συνετέλεσε καθοριστικά στη σύνταξη πρότασης ενός ολοκληρωμένου προγράμματος για τη διαχείριση των θερμοκηπίων της συγκεκριμένης περιοχής. Η περαιτέρω εφαρμογή αυτού του προγράμματος θα έχει αποτελέσματα τα οποία θα προκύπτουν από τη χρήση της βιομάζας και από το γεγονός ότι ένα τέτοιο πρόγραμμα θα μπορούσε να αποτελέσει μια πιλοτική εφαρμογή για παρόμοια θερμοκηπιακά πάρκα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Χ.,κ.α., 1994, «Θερμοκήπια», Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
2. Hanan, J., 1998, “GREENHOUSES. Advanced Technology for Protected Horticulture”, CRC.
3. Kitani, O., Hall, C., 1989, “ BIOMASS HANDBOOK”, OPA, Amsterdam.
4. “BIOMASS for ENERGY and INDUSTRY”, 4th E.C.Conference, Elsevier, France, 1987.
5. “Energy & Biomass Engineering”, Handbook of Agricultural Engineering, Volume V, CIGR, 1999

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΥΟ ΝΕΩΝ ΦΩΤΟΕΚΛΕΚΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ

X. Παπαϊωάννου, D. G. Obeid, N. Κατσούλας, Κ. Κίττας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία, Μαγνησία, chpapa@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε τρία όμοια θερμοκήπια, καλλιεργήθηκε τομάτα σε ανοικτό υδροπονικό σύστημα με υπόστρωμα περλίτη. Ο μάρτυρας καλύφθηκε με κοινό πλαστικό φύλλο ενώ τα άλλα δύο θερμοκήπια με φωτοεκλεκτικά υλικά απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας. Κατά τη διάρκεια του 2002 μετρήθηκαν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία, η υγρασία μέσα και έξω από τα θερμοκήπια και η ανάπτυξη της καλλιέργειας η οποία βρέθηκε ότι επηρεάστηκε ελαφρά με τη μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, υλικά κάλυψης, φωτοεκλεκτικά υλικά, τομάτα.

EFFECT OF TWO NEW GREENHOUSE COVERING MATERIALS ON THE GREENHOUSE MICROCLIMATE AND TOMATO CROP

X. Papaioannou, D. G. Obeid, N. Katsoulas, C. Kittas

University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Agricultural
Environment, Fytokou St., N. Ionia, GR-38446, Magnisia, Greece, chpapa@uth.gr

ABSTRACT

A tomato soilless crop was cultivated in three similar arch shaped greenhouses. A common plastic film covered one of the greenhouses, while photoselective materials of higher absorption in ultraviolet radiation covered the other two greenhouses. Measurements of solar radiation, temperature and humidity inside and outside the greenhouses, as well as, the growth rate of the tomato crop were taken out during spring and summer period of 2002. The results showed that the tomato growth rate was higher under the photoselective materials.

Keywords: greenhouse, covering materials, UV-absorbing, tomato.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι προσπάθειες για περαιτέρω βελτίωση των θερμοκηπίων και των συνθηκών υπό κάλυψη οδήγησαν τα τελευταία χρόνια στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών στα θερμοκήπια όπως τα νέα υλικά κάλυψης. Τα πλαστικά τρίτης γενεάς όπως αποκαλούνται, αφορούν σε μεγάλο βαθμό τα φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης. Οι κυριότερες τροποποιήσεις που εφαρμόζονται σήμερα στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο στοχεύουν: α) στην αύξηση της περατότητας στην περιοχή του φάσματος μεταξύ 400-700 nm (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία PAR) και στη μείωση της υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας. Ο έλεγχος της ακτινοβολίας στην περιοχή της PAR στοχεύει στον έλεγχο της παραγωγής, ενώ στην περιοχή της UV, στον έλεγχο των εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών.

Τα απορροφητικά υλικά της UV-B (290-315 nm) και UV-A (315- 380 nm) ακτινοβολίας διαδόθηκαν τελευταία στο Ισραήλ ύστερα από τη διαπίστωση ότι η χρήση τους προκαλεί μείωση των εντόμων σε θερμοκήπια καλυμμένα με τέτοια υλικά.

Έτσι, πολλοί ερευνητές αναφέρουν ότι τα UV-απορροφητικά υλικά έχουν θετική επίδραση στη μείωση των προσβολών των καλλιεργειών από έντομα [1, 2, 3], ενώ επιπλέον σημειώνουν ότι υπό συνθήκες μειωμένης UV ακτινοβολίας παρουσιάζεται μείωση των ιώσεων των καλλιεργειών [2, 3].

Επιπλέον, σε θερμοκήπια που χρησιμοποιούν υλικά κάλυψης απορροφητικά της UV ακτινοβολίας, έχει παρατηρηθεί ότι επιτυγχάνεται μείωση των σπορίων και των προσβολών του μύκητα *Botrytis cinerea* [4, 5]. Άλλοι ερευνητές αναφέρουν ότι για το χαρακτηρισμό της επίδρασης τέτοιων υλικών στην καλλιέργεια είναι απαραίτητη η χρήση παραμέτρων που έχουν σχέση με τη φυσιολογία και τη φυτοπροστασία των καλλιεργειών [6].

Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι με τη χρήση τέτοιων υλικών σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια τριανταφυλλιάς επιτεύχθηκε μείωση του μαυρίσματος των πετάλων των τριαντάφυλλων, μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, βελτίωση της ποιότητας και παραγωγή ευθυτενέστερων βλαστών [7, 8]. Παράλληλα, άλλοι ερευνητές [9, 10, 11, 12, 13] μελέτησαν την επίδραση της UV ακτινοβολίας στην ανάπτυξη και φωτομορφογένεση διαφόρων φυτών. Παρόλα αυτά και παρά την ολοένα και μεγαλύτερη χρήση των UV-απορροφητικών υλικών για την κάλυψη των θερμοκηπίων, δεν υπάρχουν ακόμη επαρκή στοιχεία σχετικά με την επίδραση των υλικών αυτών στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της μείωσης της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο UV-ακτινοβολίας, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη καλλιέργειας τομάτας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 3 υλικά κάλυψης με διαφορετική διαπερατότητα στην UV-ακτινοβολία ήτοι διαπερατότητα: α) 5% (κοινό πλαστικό), β) 3% και γ) 0%.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα έγιναν κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού του 2002, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε τρία όμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια έκτασης 160 m² το καθένα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θερμοκηπίων ήταν: μήκος 20 m, πλάτος 8 m, ύψος ορθοστάτη 2.9 m, ύψος κορφιά 4.1 m. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό. Το ένα από τα τρία θερμοκήπια χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας και καλύφθηκε με κοινό πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου, με διαπερατότητα στην UV ακτινοβολία 5% (θερμοκήπιο UV_{5%}). Τα άλλα δύο θερμοκήπια καλύφθηκαν με πλαστικά φύλλα απορροφητικά της UV ακτινοβολίας με διαπερατότητα στην UV ακτινοβολία 3% (θερμοκήπιο UV_{3%}) και 0% (θερμοκήπιο UV_{0%}). Το πάχος των φύλλων ήταν 0.18 mm της βιομηχανίας «Πλαστικά Κρήτης».

Η θέρμανση των θερμοκηπίων γινόταν με αερόθερμα (θερμοκρασία θερμοστάτη 16°C κατά τη διάρκεια της νύχτας και 19°C κατά τη διάρκεια της ημέρας). Ο αερισμός των θερμοκηπίων γινόταν με τη βοήθεια παραθύρων τοποθετημένων στα πλάγια και την οροφή του θερμοκηπίου τα οποία άνοιγαν αυτόματα όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 23°C.

Στο θερμοκήπιο υπήρχε εγκατεστημένη, από το Φεβρουάριο του 2002, υδροπονική καλλιέργεια τομάτας (cv. Belladonna) σε υπόστρωμα περλίτη. Η καλλιέργεια είχε εγκατασταθεί σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0.33 m επί της γραμμής και 0.75 m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, με πυκνότητα 2.4 φυτά/m². Η άρδευση και λίπανση της καλλιέργειας γινόταν αυτόματα με σύστημα ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το κλάδεμα και η διαμόρφωση της καλλιέργειας γινόταν σύμφωνα με την τεχνική που ακολουθείται από τους παραγωγούς. Για την υποβοήθηση της γονιμοποίησης των ανθέων έγινε εισαγωγή, με την έναρξη εμφάνισης των ανθέων, του *Bombus terrestris* (L.), (Hymenoptera: Apidae) σε μορφή αποικίας μέσα σε ειδική κυψέλη, μία για κάθε θερμοκήπιο.

2.2 Οι μετρήσεις

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν:

- Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία του ξηρού και υγρού αέρα (από τις τιμές των οποίων υπολογιζόταν η σχετική υγρασία), η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η UV-A (315- 380 nm) και η UV-B (290-315 nm) ακτινοβολία.
- Μέσα στα θερμοκήπια: η θερμοκρασία του ξηρού και υγρού αέρα (από τις τιμές των οποίων υπολογιζόταν η σχετική υγρασία), η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η UV-A και η UV-B ακτινοβολία.

Επιπλέον, κάθε εβδομάδα, από συνολικό αριθμό 25 φυτών (επιλεγμένων τυχαία) ανά θερμοκήπιο, καταγραφόταν το ύψος των φυτών, ο αριθμός των κόμβων, το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, η φυλλική επιφάνεια καθώς

επίσης και το βάρος της ξηρής ουσίας των βλαστών, των φύλλων και των καρπών. Παράλληλα, γινόταν καταγραφή του αριθμού των ανθέων που εξελίσσονταν σε καρπούς σε σύνολο 15 φυτών (επιλεγμένων τυχαία) ανά θερμοκήπιο.

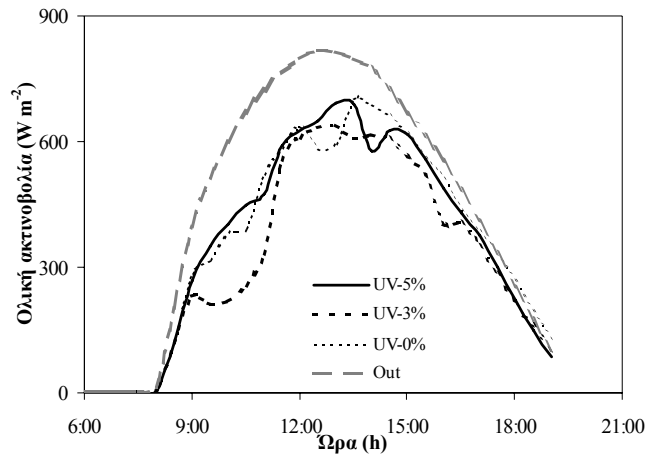
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι μετρήσεις που έγιναν κατά το διάστημα της άνοιξης και του καλοκαιριού του 2002 επέτρεψαν τη μελέτη και το χαρακτηρισμό των τριών θερμοκηπίων από πλευράς συνθηκών ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς επίσης και τη μελέτη της επίδρασης της UV ακτινοβολίας στην ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας τομάτας.

3.1 Επίδραση στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια αφορούν μία ηλιόλουστη, χαρακτηριστική ημέρα της περιόδου (2 Μαΐου 2002).

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της τιμής της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια.

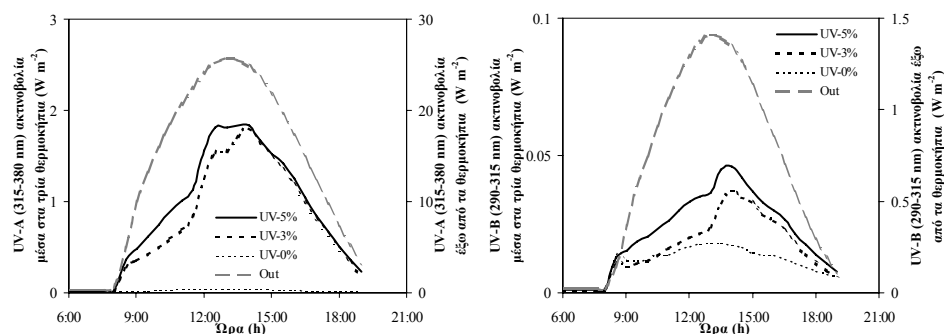


Σχήμα 1. Ολική ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια.

Φαίνεται ότι τα επίπεδα της ολικής ακτινοβολίας ήταν παρόμοια και στα τρία θερμοκήπια, με μικρές διαφορές που οφείλονταν στην περιοδική σκίαση του αισθητήρα μέτρησης της ακτινοβολίας (πυρανόμετρο) από το σκελετό του θερμοκηπίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μέγιστες τιμές της ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο την περίοδο αυτή άγγιζαν τα 700 W m^{-2} .

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της α) UV-A και β) UV-B ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια. Μπορούμε να δούμε ότι τα επίπεδα της UV-A ακτινοβολίας ήταν παρόμοια στα θερμοκήπια με 5% και 3% διαπερατότητα, ενώ φαίνεται ότι η

τιμή της UV-A ακτινοβολίας ήταν κοντά στο 0 στο θερμοκήπιο με 0% διαπερατότητα.



(α) (β)
Σχήμα 2. (α) UV-A και (β) UV-B ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ακτινοβολίας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια επέτρεψαν τον υπολογισμό της πραγματικής διαπερατότητας των θερμοκηπίων στην ολική, τη UV-A και τη UV-B ακτινοβολία. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η μέση τιμή της διαπερατότητας των θερμοκηπίων στην ολική και τις UV ακτινοβολίες κατά την περίοδο των μετρήσεων. Οι τιμές υπολογίστηκαν για το διάστημα από 08:00 έως 19:00.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές της διαπερατότητας των τριών θερμοκηπίων στην ολική, τη UV-A και UV-B ακτινοβολία.

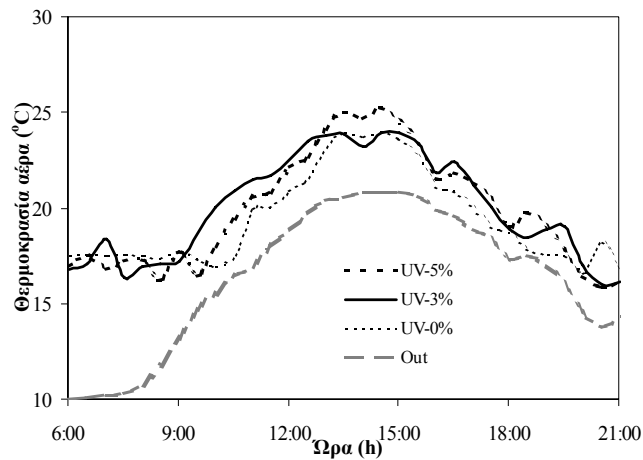
	Ολική ακτινοβολία	UV-A	UV-B
	%	%	%
Θερμοκήπιο UV _{5%}	78.0	6.8	2.9
Θερμοκήπιο UV _{3%}	78.0	5.9	2.0
Θερμοκήπιο UV _{0%}	78.0	0.6	1.5

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της τιμής της θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια. Φαίνεται ότι η τιμή της θερμοκρασίας του αέρα δεν επηρεάστηκε από τον τύπο του υλικού κάλυψης και ότι η θερμοκρασία του αέρα βρίσκονταν σε παρόμοια επίπεδα και στα τρία θερμοκήπια. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας του αέρα των τριών θερμοκηπίων (κατά το διάστημα 08:00 έως 19:00) ήταν 20.9°C, ενώ η μέση τιμή της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα ήταν 18.1°C. Η υγρασία του αέρα των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της ημέρας κυμαίνονταν σε παρόμοια επίπεδα (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).

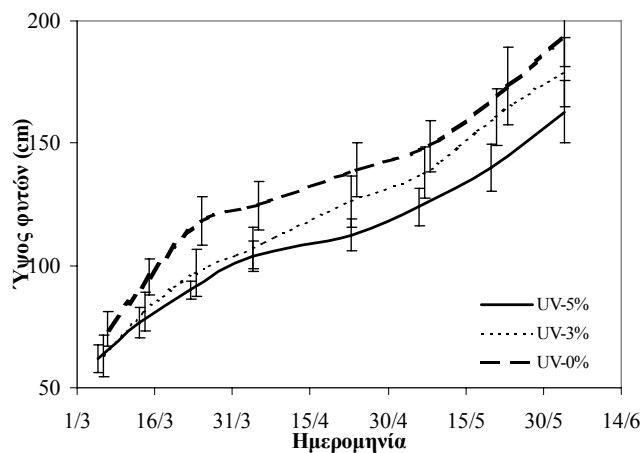
3.2 Επίδραση στην καλλιέργεια

Η πορεία της τιμής του συνολικού ύψους των φυτών παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Φαίνεται ότι υπάρχει μια θετική επίδραση της μείωσης της

εισερχόμενης UV ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών. Παρατηρήθηκε ότι η μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας οδήγησε τόσο σε αύξηση του μήκους των μεσογονατίων διαστημάτων όσο και σε αύξηση του αριθμού των κόμβων των φυτών του $UV_{0\%}$ θερμοκηπίου.



Σχήμα 3. Θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα και έξω από τα τρία θερμοκήπια.



Σχήμα 4. Ύψος φυτών τομάτας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου στα τρία θερμοκήπια.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συνολική παραγόμενη ξηρή ουσία των φυτών μεταξύ των τριών θερμοκηπίων. Παρόλα αυτά και παρά το γεγονός ότι και η παραγόμενη από τους καρπούς ξηρή ουσία, δεν διέφερε στατιστικά σημαντικά στα τρία θερμοκήπια, η φυλλική επιφάνεια και κατά συνέπεια και η παραγόμενη ξηρή ουσία ήταν μεγαλύτερη στα $UV_{3\%}$ και $UV_{0\%}$ θερμοκήπια από ότι στο $UV_{5\%}$ θερμοκήπιο (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Μέσες τιμές της συνολικής ξηρής ουσίας που παράχθηκε από τους καρπούς και τα φύλλα των φυτών τομάτας στα τρία θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

	Ξηρή ουσία καρπών $kg\ m^{-2}$	Ξηρή ουσία φύλλων $kg\ m^{-2}$
Θερμοκήπιο $UV_{5\%}$	1.69	0.44
Θερμοκήπιο $UV_{3\%}$	1.63	0.59
Θερμοκήπιο $UV_{0\%}$	1.66	0.58

Επανάληψη των μετρήσεων και περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων, αναμένεται να βοηθήσει στη λεπτομερέστερη μελέτη της επίδρασης της UV ακτινοβολίας στην παραγωγή, στο ύψος των φυτών, στον αριθμό και το μήκος των μεσογονατίων, στη φυλλική επιφάνεια, στην κατανομή της ξηράς ουσίας σε βλαστούς, καρπούς, φύλλα κ.α.

Τέλος, η χρησιμοποίηση διαφορετικού τύπου πλαστικού κάλυψης δεν επηρέασε το ποσοστό γονιμοποίησης που βρέθηκε 86%, 87% και 85% στο $UV_{5\%}$, στο $UV_{3\%}$ και στο $UV_{0\%}$ θερμοκήπιο, αντίστοιχα. Αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών [3], οι οποίοι αναφέρουν ότι η κίνηση των βομβύνων δεν επηρεάζεται από τη μείωση της UV ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η επίδραση τριών νέων, απορροφητικών της υπεριώδους ακτινοβολίας, υλικών κάλυψης θερμοκηπίων, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και την ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι:

- η διαφορετική διαπερατότητα (5%, 3% και 0%) των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας δεν επηρέασε σημαντικά τη διαπερατότητα των θερμοκηπίων στην ολική ακτινοβολία αφού η ακτινοβολία ήταν σε παρόμοια επίπεδα και στα τρία θερμοκήπια.
- Η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα των θερμοκηπίων δεν επηρεάστηκαν στατιστικώς σημαντικά από τον τύπο του υλικού κάλυψης.
- Παρά το γεγονός ότι η μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο προκάλεσε αύξηση του ύψους των φυτών και της συνολικά παραγόμενης ξηρής ουσίας, οι διαφορές μεταξύ των μεγεθών αυτών στα τρία θερμοκήπια δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές.
- Παρόλα αυτά φάνηκε ότι η μείωση της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο υπεριώδους ακτινοβολίας προκάλεσε αύξηση της φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας.
- Τέλος, η μείωση της εισερχόμενης υπεριώδους ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο δεν επηρέασε την κίνηση των βομβύνων, καθώς το ποσοστό

γονιμοποίησης των ανθέων βρέθηκε να έχει παρόμοιες τιμές και στα τρία θερμοκήπια.

Περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων και επανάληψη των μετρήσεων για μία ακόμη τουλάχιστον καλλιεργητική περίοδο, αναμένεται να βοηθήσουν στην καλύτερη μελέτη της επίδρασης της υπερϊώδους ακτινοβολίας στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Halevy, A., 1997. Is there an ideal cover for protected cultivation *Proc. of Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Tel Aviv, Israel- March 1997, 3-7
2. Antiguis, Y., Lapidot, M., Mor, N., Masika, Y., Cohen, S., 1997. The use of UV-absorbing plastic sheets to protect crops against insects and spread of virus diseases. *Proc. of Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Tel Aviv, Israel- March 1997, 23-33.
3. Secker-Esquivra, I., 2000. Effect of UV absorbing plastic covers on bumblebees in tomato greenhouses. *Proc. of 15th Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Pennsylvania, USA - September 2000, 150.
4. Reuveni, R., Raviv, M., 1997. Manipulation of light for the management of foliar pathogens of greenhouse crops. The story of the establishment of a new discipline *Proc. of Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Tel Aviv, Israel- March 1997, 269-281.
5. Steinberg, I., 1997. The effect of ultraviolet-absorbing plastic sheets on pollination of greenhouse tomatoes by bumblebees. *Proc. of Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Tel Aviv, Israel- March 1997.
6. Kittas, C., Baille, A., 1998. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials. Evaluation of specific parameters related to plant response. *J. Agr. Eng. Res.* 71, 193-202.
7. Glaser, A., Daponte, T., Krokkel, F., 2000. Behavior of Photo-selective greenhouse films in world-wide tests on different crop. *Proc. of 15th Int. Congr. for Plastic in Agriculture*, Pennsylvania, USA - September 2000, 101-109.
8. Jafrin, A., 2002. Rose blackening under various types of greenhouse covers. *Plasticulture*. 121. 12-21.
9. Bertram, L., Lercari, B., 1996. The use of UV radiation to control the architecture of *Salvia splendens* plants. II Relationships between PAR levels and UV radiation in the photoregulation of stem elongation. *Photochem. Photobiol.* 64. 131-136.
10. Ballare, C. L., Barnes, P. W., Flint, D. S., 1995. Inhibition of hypocotyl elongation by ultraviolet-B radiation in de-etiolating tomato seedlings. I. The photoreceptor. *Physiol. Plant.* 93. 584-592.
11. Del Corso, G., Lercari, B., 1997. Use of UV radiation for control of height and conditioning of tomato transplants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scient. Hort.* 71. 27-34.
12. Bertram, L., Lercari, B., 2002. Time-dependent effectiveness of UV-treatment on the control of the elongation growth of tomato transplants. *Acta Hort.* 580. 157-162.
13. Lercari, B., Bertram, L., Nieri, A., Bigonciari, M., 2002. Use of UV radiation for control of height and conditioning of greenhouse transplants. *Act Hort.* 580. 113-116.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΣΤΗ UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΕΝΤΟΜΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ.

**Α. Βατσανίδου,¹ Ι.Τ. Μαργαριτόπουλος², Χ. Παπαϊωάννου¹, Ι.Α.
Τσιτσιπής² και Κ. Κίττας¹**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος,¹ Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος,
²Εργαστήριο Εντομολογίας και Γεωργικής Ζωολογίας, Οδός Φυτόκου, 384 46, Ν. Ιωνία
Μαγνησίας,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε τρία όμοια θερμοκήπια με υδροπονική καλλιέργεια τομάτας στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο Μαγνησίας, μελετήθηκε η επίδραση πλαστικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων, με διαφορετική διαπερατότητα (7%, 3% και 0%) στην υπεριώδη ακτινοβολία, στη δραστηριότητα επιζήμιων εντόμων κατά το έτος 2002. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων που απορροφούν πλήρως την UV ακτινοβολία αποτρέπουν την είσοδο των θριπών και σε μικρότερο βαθμό των αφίδων στο θερμοκήπιο. Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμος επιπλέον πειραματισμός για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Λέξεις κλειδιά: θερμοκήπιο, υλικά κάλυψης, UV ακτινοβολία, αφίδες, θρίπες

EFFECTS OF UV-ABSORBING PLASTIC FILMS ON INSECT BEHAVIOR IN GREENHOUSE TOMATO CROPS

**A. Vatsanidou,¹ J.T. Margaritopoulos², C. Papaioanou¹, J.A.
Tsitsipis² and C. Kittas¹**

University of Thessaly, Department of Crop Production and Agricultural Environment,
¹Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control,
²Laboratory of Entomology and Agricultural Zoology, Fytokou Str., 384 46, N. Ionia,
Magnesia

ABSTRACT

The effects of different UV-absorbing plastic films on aphid and thrip populations were evaluated in three greenhouses with tomato crops at Velestino, central eastern Greece during 2002. The results revealed that the films absorbing totally the UV radiation reduced the number of thrips and at a less extent of aphids invading into the greenhouse. It is worth mentioning, however, that additional experimentation both in greenhouse and in laboratory is needed for a better understanding of this phenomenon.

Keywords: greenhouse, covering materials, UV-absorbing, aphids, thrips

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χημική καταπολέμηση των εντόμων αποτέλεσε για πολλά χρόνια την κύρια μέθοδο αντιμετώπισης των εντόμων εχθρών των καλλιεργειών. Ωστόσο, η συχνή και συνεχής εφαρμογή εντομοκτόνων οδήγησε σε ανάπτυξη ανθεκτικότητας των εντόμων και ταυτόχρονα επιβάρυνε το περιβάλλον με χημικές τοξικές ουσίες [1]. Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Εχθρών (Ο.Δ.Ε.) αποτελεί σήμερα την καλύτερη εναλλακτική λύση για τον έλεγχο των εντόμων, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που προσβάλουν θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η Ο.Δ.Ε περιλαμβάνει συνδυασμό πολλών μεθόδων αντιμετώπισης, όπως βιολογικών, καλλιεργητικών, φυσικών και χρήση εκλεκτικών εντομοκτόνων για τον περιορισμό των πληθυσμών των επιζήμιων εντόμων σε επίπεδα κατώτερα της οικονομικής ζημίας [2].

Την τελευταία δεκαετία υιοθετήθηκε η χρήση των διχτύων εντομοστεγανότητας στα ανοίγματα αερισμού των θερμοκηπίων για την αποτροπή της εισόδου των εντόμων στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες [3]. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς όπως είναι η τροποποίηση του μικροκλίματος, καθώς ο περιορισμός των ανανεώσεων του αέρα αυξάνει τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου [4]. Τα τελευταία έτη έχει αναπτυχθεί μία νέα φυσική μέθοδος που αφορά στη χρήση φωτοεκλεκτικών πλαστικών κάλυψης (UV filters) θερμοκηπίων, που απορροφούν όλη ή μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, για την παρεμπόδιση εισόδου εντομολογικών εχθρών στα θερμοκήπια [5, 6, 7].

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση της επίδρασης των πλαστικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων, απορροφητικών στο υπεριώδες φως, στους πληθυσμούς των θριπών και των αφίδων σε θερμοκηπιακή υδροπονική καλλιέργεια τομάτας, στις κλιματικές συνθήκες της Κεντρικής Ελλάδας και συγκεκριμένα του Νομού Μαγνησίας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο Μαγνησίας μελετήθηκε σε θερμοκηπιακή υδροπονική καλλιέργεια τομάτας της ποικιλίας BELLADONA η επίδραση πλαστικών κάλυψης θερμοκηπίων που απορροφούν την UV ακτινοβολία ($<400\text{nm}$) στη δραστηριότητα επιζήμιων εντόμων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο Μαρτίου-Ιουνίου 2002 σε τρία θερμοκήπια τύπου απλού τροποποιημένου τοξωτού με διαστάσεις $20 \times 8 \times 4\text{m}$ και με δύο πλαϊνά ανοίγματα διαστάσεων $0,90 \times 15\text{m}$. Τα τρία θερμοκήπια ήταν καλυμμένα ως ακολούθως: το πρώτο με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (μάρτυρας, UV_7), το δεύτερο και τρίτο με φύλλα διαπερατότητας στην UV ακτινοβολία 3% (UV_3) και 0% (UV_0), αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκαν 56 κίτρινες και μπλε κολλητικές παγίδες διαστάσεων $25 \times 10\text{cm}$ της εταιρείας HORIVER® για την παρακολούθηση των

θριπών. Οι πληθυσμοί των αφίδων καταγράφηκαν με τη χρήση 17 κίτρινων παγίδων τύπου Moericke. Συγκεκριμένα, στο εσωτερικό κάθε θερμοκηπίου τοποθετήθηκαν έξι κίτρινες και έξι μπλε κολλητικές παγίδες, εναλλάξ, σε τρεις σειρές των τεσσάρων παγίδων και τρεις παγίδες Moericke στον μεσαίο διάδρομο. Εξωτερικά των θερμοκηπίων τοποθετήθηκαν δύο κίτρινες και δύο μπλε κολλητικές παγίδες σε ένα μέτρο απόσταση από τα παράθυρα και στο μέσο του ύψους των ανοιγμάτων των παραθύρων και από δύο παγίδες Moericke σε τρία μέτρα απόσταση από τα πλαϊνά ανοίγματα των θερμοκηπίων και τέσσερα μέτρα απόσταση μεταξύ τους. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες φυτών για την καταγραφή θριπών και αφίδων. Επιλέχθηκαν τυχαία έξι φυτά σε κάθε γραμμή φύτευσης. Η φύτευση των φυτών έγινε σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0,33m επί της γραμμής και 0,75m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς. Ο συνολικός αριθμός των φυτών στο κάθε θερμοκήπιο ήταν 384 με πυκνότητα φύτευσης 2,4 φυτά/m².

Η παρακολούθηση του θρίπα και των αφίδων με παγίδες άρχισε στις 21 Μαρτίου 2002 (12^η εβδομάδα του έτους) και συνεχίστηκε ως τις 13 Ιουνίου 2002 (24^η εβδομάδα του έτους), ενώ η καταγραφή των εντόμων στα φυτά διάρκεσε από τις 8 Απριλίου 2002 (15^η εβδομάδα του έτους) ως τις 3 Ιουνίου 2002 (23^η εβδομάδα του έτους). Για την υποβοήθηση της γονιμοποίησης των ανθέων έγινε εισαγωγή του *Bombus terrestris* (L.), (Hymenoptera: Apidae) σε μορφή αποικίας μέσα σε ειδική κυνέλη, μία και για τα τρία θερμοκήπια. Η εγκατάστασή της έγινε με την έναρξη εμφάνισης των ανθέων στις 22 Φεβρουαρίου 2002. Στο διάστημα από τις 8 Μαρτίου 2002 ως και τις 12 Μαΐου 2002, γινόταν καταγραφή του αριθμού των ανθέων που εξελίσσονταν σε καρπούς σε σύνολο 15 φυτών ανά θερμοκήπιο.

Η ανάλυση των δεδομένων των συλλήψεων θριπών και αφίδων στις παγίδες και των δειγματοληψιών στα φυτά έγινε με τη χρήση της Ανάλυσης Παραλλακτικότητας με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS. Η σύγκριση των ποσοστών έγινε με το X² κριτήριο.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παραλλακτικότητας έδειξαν σημαντικές διαφορές στις συλλήψεις των θριπών στις κολλητικές παγίδες μεταξύ των διαφόρων μεταχειρίσεων. Σημαντικά μικρότερος αριθμός θριπών συλλήφθηκε στις παγίδες που τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο με πλαστικό που απορροφά εξολοκλήρου την UV ακτινοβολία (Πίνακας 1). Συνολικά παρατηρήθηκε μεγαλύτερος αριθμός θριπών στις κίτρινες (1167,6 ±226,5) από τις μπλε παγίδες (884,7 ±154,4). Ωστόσο, οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές (df=1,44, F=0,21, P<0,65). Επίσης, η αλληλεπίδραση των παραγόντων «μεταχείριση» και «τύπος παγίδας» δεν ήταν στατιστικώς σημαντική (df=3,44, F=0,33, P=0,804). Οι συλλήψεις στις αφίδες ήταν σημαντικά μεγαλύτερες στον εξωτερικό χώρο από ότι στο εσωτερικό των τριών θερμοκηπίων (Πίνακας 1). Ωστόσο, δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκηπίων αν και ο μικρότερος αριθμός συλληφθέντων αφίδων

παρατηρήθηκε στο θερμοκήπιο με το πλαστικό κάλυψης που αποτρέπει την διέλευση της UV ακτινοβολίας. Στην περίπτωση που αφαιρεθούν από την ανάλυση οι συλλήψεις των αφίδων στο εξωτερικό χώρο αναδεικνύονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών θερμοκηπίων ($P<0,05$). Στο Σχήμα 1 φαίνεται η πορεία που ακολούθησαν οι μετρήσεις των θριπών και των αφίδων αντίστοιχα εσωτερικά και εξωτερικά των θερμοκηπίων. Όσο αναφορά το θρίπα υπάρχει μία σταδιακή αύξηση των συλλήψεων στις παγίδες και το μέγιστο των συλλήψεων τόσο στον εξωτερικό χώρο όσο και στο εσωτερικό των θερμοκηπίων παρατηρείται τις τελευταίες εβδομάδες των παρατηρήσεων (μέσα Ιουνίου). Το μέγιστο των συλλήψεων στις αφίδες παρατηρήθηκε την 20^η-23^η εβδομάδα του έτους, ανάλογα με τη μεταχείριση. Στο θερμοκήπιο με πλαστικό κάλυψης με διαπερατότητα 3% στη UV ακτινοβολία παρουσιάστηκε και δεύτερο μέγιστο την 17^η εβδομάδα του έτους.

Ο αριθμός των ατόμων του θρίπα που παρατηρήθηκαν στα φυτά δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκηπίων ($P<0,184$) (Πίνακας 2). Επίσης, ο αριθμός αφίδων που παρατηρήθηκε στα φυτά στο θερμοκήπιο με το πλαστικό κάλυψης που αποτρέπει την διέλευση της UV ακτινοβολίας ήταν σημαντικά μικρότερος από ότι στα θερμοκήπια με πλαστικά κάλυψης που επιτρέπουν τη διέλευση 3% ή 7% της ακτινοβολίας (Πίνακας 2). Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται ο αριθμός των θριπών και των αφίδων αντίστοιχα που παρατηρήθηκαν στα φυτά. Γενικά σε όλα τα θερμοκήπια ο αριθμός των θριπών και των αφίδων στα φυτά ακολούθησε την εξέλιξη των εντόμων που καταγράφηκε με τη χρήση παγίδων.

Πίνακας 1. Μέσος αριθμός ($\pm$ SE) συλληφθέντων θριπών και αφίδων σε χρωματικές κολλητικές παγίδες και παγίδες τύπου Moericke, αντίστοιχα στο εξωτερικό και εσωτερικό χώρο τριών θερμοκηπίων καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (Μάρτυρας-UV₇) και φύλλα διαπερατότητας 3% (UV₃) και 0% στην UV ακτινοβολία (UV₀).

Μεταχείριση	N	Μέσος αριθμός θριπών	N	Μέσος αριθμός αφίδων
Εξωτερικός χώρος	16	1568,5 ($\pm$ 119,5) a ¹	8	415,9 ($\pm$ 21,9) a ²
Μάρτυρας-UV ₇	12	1033,8 ($\pm$ 327,6) b	3	25,3 ($\pm$ 2,1) b
UV ₃	12	967,9 ($\pm$ 406,5) bc	3	53,3 ($\pm$ 14,5) b
UV ₀	12	353,8 ($\pm$ 49,7) c	3	6,6 ($\pm$ 1,7) b

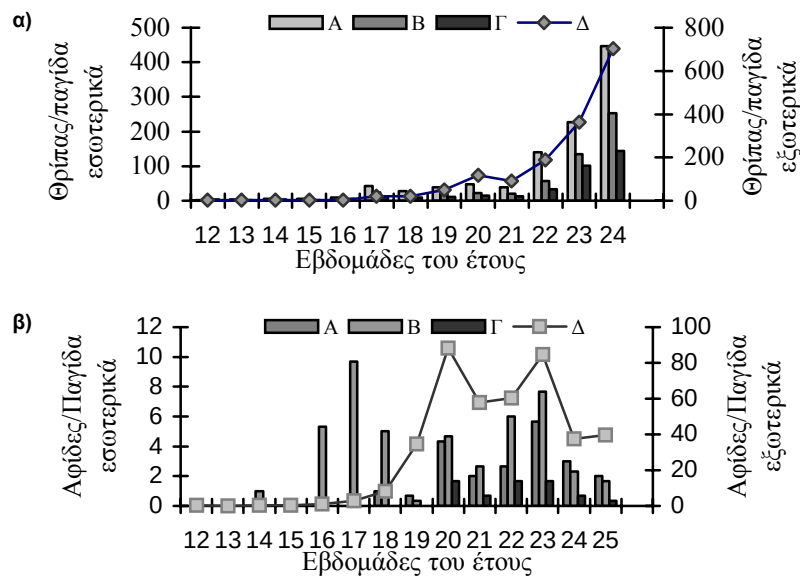
N=αριθμός παγίδων. Οι αριθμοί που ακολουθούνται από διαφορετικό λατινικό γράμμα διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με το κριτήριο της Ε.Σ.Δ.. ¹ $P<0,001$, $df=3,44$, $F=13,8$. ² $P<0,001$, $df=3,13$, $F=97,9$.

Τέλος, η χρησιμοποίηση διαφορετικών τύπων πλαστικού κάλυψης δεν επηρέασε την γονιμοποίηση από τους βομβύνους καθώς το ποσοστό γονιμοποίησης που βρέθηκε στο μάρτυρα (UV₇), στο UV₃ και στο UV₀ ήταν 86%, 87% και 85% αντίστοιχα τα οποία όμως δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά ($P<0,93$, $X^2=0,15$).

Πίνακας 2. Μέσος αριθμός ($\pm$ SE) θριπών και αφίδων που καταγράφηκαν σε φυτά τομάτα σε θερμοκήπια καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (Μάρτυρας-UV₇) και φύλλα διαπερατότητας 3% (UV₃) και 0% στην UV ακτινοβολία (UV₀).

Μεταχείριση	N	Μέσος αριθμός θριπών	N	Μέσος αριθμός αφίδων
Μάρτυρας-UV ₇	48	40,3 ($\pm$ 10,1) a ¹	48	5,4 ($\pm$ 1,2) a ²
UV ₃	48	16,3 ($\pm$ 3,7) a	48	5,2 ($\pm$ 1,4) a
UV ₀	48	22,0 ($\pm$ 6,4) a	48	2,1 ($\pm$ 0,6) b

N=αριθμός φυτών. Οι αριθμοί που ακολουθούνται από το ίδιο λατινικό γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά με το κριτήριο της Ε.Σ.Δ.. ¹P<0,184, df=2,141, F=1,714. ²P<0,007, df=2,141 και F=5,119.



Σχήμα 1. Αριθμός συλληφθέντων θριπών σε χρωματικές κολλητικές παγίδες (α) και αφίδων (β) σε παγίδες Moericke σε τρία θερμοκήπια απλού καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (Α), με φύλλα διαπερατότητας 3% (Β) και 0% στην UV ακτινοβολία (Γ) και στο εξωτερικό περιβάλλον πλησίον των θερμοκηπίων (Δ).

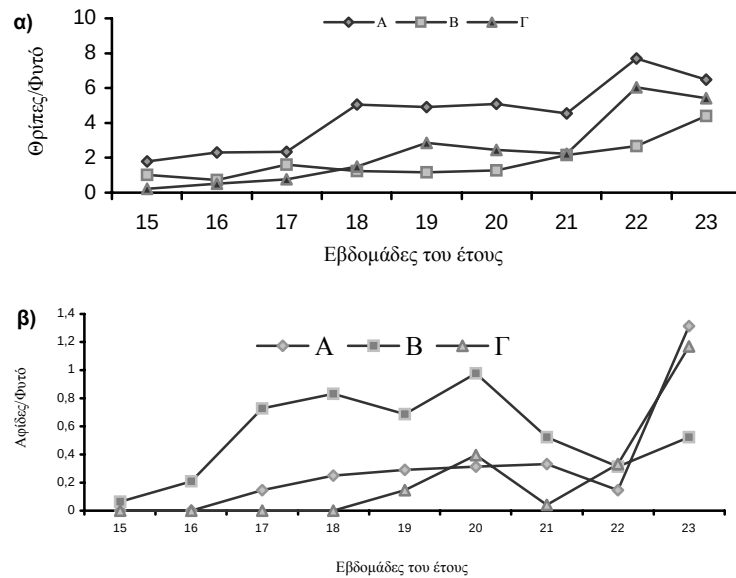
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι τα φωτοεκλεκτικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων επηρεάζουν την δραστηριότητα επιζήμιων εντόμων. Ο αριθμός των συλληφθέντων θριπών σε χρωματικές κολλητικές παγίδες ήταν σημαντικά μικρότερος στο θερμοκήπιο με το πλαστικό που απορροφούσε πλήρως την UV ακτινοβολία σε σχέση με αυτά που επέτρεπαν

την διέλευση ενός ποσοστού της (3% και 7%). Σύμφωνα με τους Matteson et al. [8] υπάρχουν δύο περιοχές του φάσματος στις οποίες παρουσιάζουν μέγιστη απορρόφηση οι σύνθετοι οφθαλμοί των θριπών, η UV (365nm) και η πράσινη-κίτρινη (540nm) ακτινοβολία. Οι θρίπες χρησιμοποιούν την πράσινη-κίτρινη ακτινοβολία για τον προσανατολισμό τους προς τα φυτά από μακριά και έπειτα με τη βοήθεια της ανακλώμενης UV ακτινοβολίας από αυτά βρίσκουν άνθη ή άλλα μέρη του φυτού. Τα φωτοεκλεκτικά φύλλα κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν αποτρέπουν την διέλευση της UV ακτινοβολίας <380nm με συνέπεια οι θρίπες να αντιμετωπίζουν δυσκολία στον εντοπισμό των φυτών. Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν με προηγούμενες έρευνες που διεξήχθησαν από τους Costa [6, 7] και Antignus [5] οι οποίοι βρήκαν μικρότερο αριθμό συλληφθέντων θριπών και αφίδων σε θερμοκήπια που ήταν καλυμμένα με πλαστικά που απορροφούσαν μέρος ή όλη την UV ακτινοβολία. Οι παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα φυτά δεν ανέδειξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στον αριθμό των θριπών μεταξύ των τριών θερμοκηπίων πιθανώς γιατί ο μεγάλος αριθμός των παγίδων που χρησιμοποιήθηκε οδήγησε σε μαζική παγίδευσή τους με αποτέλεσμα μικρός αριθμός ενηλίκων να εγκαταστάθηκαν στα φυτά.

Ο αριθμός των συλληφθέντων περωτών αφίδων ήταν σημαντικά μεγαλύτερος στον εξωτερικό χώρο των θερμοκηπίων σε σχέση με τον αριθμό που βρέθηκε στο εσωτερικό σε κάθε θερμοκήπιο. Στο θερμοκήπιο με το πλαστικό κάλυψης που αποτρέπει πλήρως τη διέλευση της UV ακτινοβολίας συλλήφθηκε μικρότερος αριθμός περωτών αφίδων από ότι στα άλλα δύο, αλλά οι διαφορές δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές. Ο αριθμός των παρατηρούμενων αφίδων στα φυτά ήταν σχετικά μικρός σε όλες τις μεταχειρίσεις, που πιθανώς οφείλεται στον μικρό αριθμό θηλυκών περωτών που εισήλθε στα θερμοκήπια. Ωστόσο, ο μικρότερος αριθμός αφίδων παρατηρήθηκε στο θερμοκήπιο με πλαστικό κάλυψης που εμποδίζει πλήρως τη διέλευση της UV ακτινοβολίας. Το ανώτερο εξηγείται από το γεγονός ότι στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο εισήλθαν λιγότερα περωτά και επομένως ο αρχικός πληθυσμός που εγκαταστάθηκε ήταν μικρότερος.

Η συμπεριφορά των περωτών αφίδων κατά την επιλογή ενός ξενιστή χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα στάδια. Όταν οι αφίδες απογειώνονται από τον ξενιστή τους (στάδιο πτήσης, flight mood), ελκύονται από μπλε-υπεριώδη ακτινοβολία του ουρανού. Η πτήση αυτή είναι απαραίτητη για να εισέλθει η αφίδα στην φάση αναζήτησης τροφής (attack mood) και διαρκεί για αρκετό διάστημα μέχρι να καταναλώσει το πλείστο των ενεργειακών της αποθεμάτων. Στη φάση αναζήτησης τροφής αυξάνει η ευαισθησία των αφίδων στις μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίες (κίτρινη, πορτοκαλί, κίτρινη-πράσινη) που αντανακλώνται από το έδαφος και τα φυτά [9, 10]. Επομένως η UV ακτινοβολία δε φαίνεται ότι εμπλέκεται στον εντοπισμό του φυτού-ξενιστή από τις αφίδες. Τίθεται λοιπόν το ερώτημα κατά πόσο τα πλαστικά κάλυψης που αποτρέπουν τη διέλευση της UV ακτινοβολίας μπορούν να παρεμποδίσουν ικανοποιητικά τις αφίδες κατά την επιλογή του ξενιστή.



Σχήμα 2. Αριθμός θριπών (α) και αφίδων (β) σε φυτά τομάτας σε τρία θερμοκήπια καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου διαπερατότητας 7% στην UV ακτινοβολία (A) και με φύλλα διαπερατότητας 3% (B) και 0% στην UV ακτινοβολία (Γ).

Σε άλλες εργασίες [5, 7] που εξετάστηκε η επίδραση των πλαστικών που απορροφούν μέρος της UV ακτινοβολίας σε πληθυσμούς επιζήμιων εντόμων, βρέθηκε ότι υπήρχαν σημαντικές διαφορές στον αριθμό των αφίδων μεταξύ θερμοκηπίων που χρησιμοποιούσαν τα συγκεκριμένα πλαστικά σε σχέση με τα εμπορικά πλαστικά. Ωστόσο, δεν εξηγείται από τους ανωτέρω συγγραφείς πώς τα συγκεκριμένα πλαστικά επιδρούν στην όραση των αφίδων ή αν εμπλέκεται κάποιος άλλος παράγοντας. Κρίνεται επομένως απαραίτητη η επανάληψη του πειράματος, αλλά και η μελέτη της επίδρασης των πλαστικών που απορροφούν την UV ακτινοβολία στη συμπεριφορά των αφίδων σε συνθήκες εργαστηρίου για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

Από τις παρατηρήσεις που έγιναν και αφορούσαν την δραστηριότητα των βομβύνων, βρέθηκε ότι τα πλαστικά που απορροφούν το φάσμα της UV ακτινοβολίας δεν επηρέασαν την επικονίαση. Οι σύνθετοι οφθαλμοί των βομβύνων παρουσιάζουν τρία μέγιστα απορρόφησης, στα 320nm (UV ακτινοβολία), στα 440nm (μπλε) και στα 540nm (πράσινο). Πιθανόν ο τύπος του θερμοκηπίου που επέτρεπε τη διέλευση αφιльтράριστου φωτός από τα ανοίγματα των θερμοκηπίων να βοήθησε τους βομβύνους να εντοπίσουν τους "οδηγούς νέκταρος και γύρης" ακόμα και στο θερμοκήπιο που το πλαστικό κάλυψης απορροφούσε εξολοκλήρου την UV ακτινοβολία. Στη εκδοχή αυτή μπορεί να

συμβάλει το γεγονός ότι η UV ακτινοβολία είναι δραστική ακόμη και σε μικρή ποσότητα ενέργειας σε σχέση με την ακτινοβολία σε άλλα μήκη κύματος [11].

Συμπερασματικά φαίνεται ότι τα απορροφητικά της υπεριώδους ακτινοβολίας πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων επηρεάζουν την είσοδο των θριπών και σε μικρότερο βαθμό των αφίδων σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Ωστόσο για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων κρίνεται σκόπιμη η συνέχιση των πειραματικών εργασιών τόσο στο περιβάλλον θερμοκηπίου όσο και στο εργαστήριο.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Dent, R.D., 1995. Introduction In "Integrated Pest Management" (D. Dent, eds.), pp. 1-8. Chapman and Hall, London.
2. Baker, J.R., Bethke, J.A. and Shearin, E.A., 1996. Insect Screening. In W. Banner and M. Klopmeier (eds). New Guinea Impatiens.
3. Berlinger, M.J., Lebiush-Mordechi, S. and Rosenfeild, J., 1996. State of the art and the future of IPM in greenhouse vegetables in Israel. IOBC/WPRS Bull. 19, 11-14.
4. Kittas, C., Boulard, T., Bartzanas, Th., Katsoulas, N. and Mermier, M., 2002. Influence of an insect screen on greenhouse ventilation. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1083-1090.
5. Antigonus, Y., Mor, N., Ben-Joseph, R., Lapitop, M. and Cohen, S., 1996. UV-absorbing plastic sheets protect crops from insects and from virus diseases vectored by insects. *Environ. Entomol.* 25, 919-924.
6. Costa, H.S. and Robb, K.L., 1999. Effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on flight behavior of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) and *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Triptidae). *J. Econ. Entomol.* 92, 557-562.
7. Costa, H.S., Robb, K.L. and Wilen, C.A., 2002. Field trials measuring the effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on insect populations. *J. Econ. Entomol.* 95, 113-120.
8. Matteson, N., Terry, I., Ascoli, C.A. and Gilbert, C., 1992. Spectral efficiency of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *J. Insect Physiol.* 38, 453-459.
9. Moericke, V. (1955) Über die Lebensgewohnheiten der geflügelten Blattläuse (Aphidina) unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens beim Landen. *Z. Angew. Entomol.* 37, 29-91.
10. Kring, J.B., 1967. Attraction of aphids on coloured cards in flight chamber. *J. Econ. Entomol.* 60, 1207-1210.
11. Seliger, H.H., Lal, A.B. and Biggley, W.H., 1994. Blue through UV polarization sensitivities in insects. Optimizations for the range of atmospheric polarization conditions. *J. Comp. Physiol.* 175, 475-486.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Θ.Μπαρτζάνας και Κ.Κίττας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38334 Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ελέγχεται με πειραματικές μετρήσεις η ικανότητα ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) να προσομοιώνει τη ροή αερισμού σε θερμοκήπιο. Οι πειραματικές μετρήσεις αφορούσαν τις εναλλαγές αέρα του θερμοκηπίου καθώς και τη μέτρηση του μέτρου της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συγκεκριμένος κώδικας προσομοιώνει με ικανοποιητική ακρίβεια το φυσικό αερισμό των θερμοκηπίων. Μετά την επιβεβαίωση του ο κώδικας χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστεί η επίδραση άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Λέξεις κλειδιά: Φυσικός αερισμός, αριθμητικό προσομοίωμα, υπολογιστική ρευστοδυναμική.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF GREENHOUSE NATURAL VENTILATION

T. Bartzanas and C. Kittas

University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and
Agricultural Environment, Fytokou St., N. Ionia Magnisias, 38334 Volos

ABSTRACT

The validity of a commercial fluid dynamics code (CFD) to simulate the airflow in a greenhouse was tested against experimental data. Measurements were taken out in a tunnel greenhouse and were concerned the airflow patterns inside the greenhouse and the greenhouse overall ventilation rate. A good agreement was found between simulated and measured values. After its verification the code was used to study the influence of different ventilation openings on airflow inside a tunnel greenhouse.

Keywords: Natural ventilation, numerical model, CFD.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ρόλος του φυσικού αερισμού στη διαμόρφωση του μικροκλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπίων είναι ιδιαίτερα σημαντικός αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις ανταλλαγές θερμότητας και μάζας μεταξύ του εσωτερικού του θερμοκηπίου και του εξωτερικού του περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα σε θερμοκήπια τα οποία δεν χρησιμοποιούν εναλλακτικούς τρόπους εξαερισμού (δυναμικός αερισμός) ο σωστός σχεδιασμός των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού είναι αναγκαίος.

Στην περίπτωση που ενδιαφερόμαστε για μέσες κλιματικές τιμές των διαφόρων μεταβλητών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα αέρα, κ.λ.π) αρκεί ο προσδιορισμός των εναλλαγών αέρα χρησιμοποιώντας είτε τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη [1, 2], είτε τη μέθοδο του ενεργειακού ισοζυγίου [3, 4]. Πρόσφατες έρευνες όμως, έχουν δείξει ότι η υιοθέτηση μέσων τιμών για τον χαρακτηρισμό του θερμοκηπιακού μικροκλίματος δεν είναι σωστή, καθώς αυτό χαρακτηρίζεται από έντονη ετερογένεια [5, 6].

Η πρόσφατη πρόοδος στη προσομοίωση των ροών χρησιμοποιώντας μεθόδους υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, διευκόλυνε την ανάλυση της κατανομής του θερμοκηπιακού μικροκλίματος σε κλειστά [7] και σε αεριζόμενα θερμοκήπια [8, 9]. Η αριθμητική αυτή προσέγγιση απαιτεί πειραματική επιβεβαίωση πριν την γενίκευση των αποτελεσμάτων της.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν ο έλεγχος, με πειραματικές μετρήσεις, της αξιοπιστίας ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) να προσομοιώνει τον φυσικό αερισμό θερμοκηπίων. Στη συνέχεια το αριθμητικό προσομοίωμα χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της επίδρασης άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικές μετρήσεις

Οι μετρήσεις έγιναν τον Ιούνιο του 2000 σε ένα τροποποιημένο τοξωτό πλαστικό θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οποίου ήταν: μήκος 25m, πλάτος 8m, ύψος κορυφιά 4.1m, ύψος ορθοστάτη 2.8m. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με δύο συνεχόμενα πλαϊνά ανοίγματα αερισμού (roll –up type) τα οποία ήταν τοποθετημένα σε απόσταση 0.6m από την επιφάνεια του εδάφους και είχαν μέγιστο άνοιγμα 0.9 m. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν τόσο την καταγραφή των τριών συνιστωσών της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όσο και τον προσδιορισμό των συνολικών εναλλαγών του αέρα.

2.1.1 Μέτρηση των τριών συνιστωσών της ταχύτητας του αέρα.

Οι τρεις συνιστώσες της ταχύτητας του αέρα μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας ένα τριδιάστατο ηχητικό ανεμόμετρο (R3, research ultrasonic anemometer, Gill R&D). Οι τρεις συνιστώσες (u , v , w) μετρήθηκαν σε 15 διαφορετικά σημεία

σε διάφορα κάθετα επίπεδα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η συνολική διάρκεια της κάθε μέτρησης ήταν 5min ενώ η συχνότητα καταγραφής ήταν 5 Hz. Παράλληλα κάθε δευτερόλεπτο καταγράφονταν και αποθηκεύονταν σε σύστημα καταγραφής δεδομένων (Data Logger, Delta T Devices, UK): η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, η διεύθυνση και η ταχύτητα του, η εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα στο μέσο του θερμοκηπίου και οι θερμοκρασίες των τοιχωμάτων.

2.1.2 Προσδιορισμός των εναλλαγών αέρα

Ο προσδιορισμός των εναλλαγών αέρα του θερμοκηπίου έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωση αερίου δείκτη. Το αέριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το N_2O . Αναλυτική περιγραφή της μεθόδου καθώς και των εξισώσεων που την περιγράφουν μπορεί να βρεθεί στους Boulard and Draoui, 1995, [4].

2.2 Μαθηματικό προσομοίωμα

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

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

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

Η διακριτοποίηση των εξισώσεων έγινε με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων [10] ενώ η επίδραση εξωτερικών παραγόντων στη ροή, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία, και η θερμοκρασία, ενσωματώνονται στις αντίστοιχες οριακές συνθήκες. Η τυρβώδης δυναμική περιγράφεται με το $k - \epsilon$ προσομοίωμα τύρβης [11]. Η καλλιέργεια προσομοιώθηκε ως πορώδες υλικό χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Darcy – Forcheimer [12].

Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα υπολογίστηκε με τρόπο ανάλογο με αυτόν που εφαρμόστηκε και στην πειραματική διαδικασία, χρησιμοποιώντας την εξίσωση της συνέχειας για κάθε κελί του υπολογιστικού πεδίου χωριστά:

$$\frac{dC}{dt} = -\phi F d S \quad (2)$$

όπου C είναι η συγκέντρωση του αερίου στο κελί, S είναι η επιφάνεια του κάθε κελιού, και F είναι το ολοκλήρωμα της συγκέντρωσης του αερίου. Αρχικά όλα τα κελιά στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θεωρείται ότι έχουν συγκέντρωση ίση με τη μονάδα και όλα τα εξωτερικά έχουν μηδενική συγκέντρωση του αερίου. Αφού εξαχθεί μια λύση του προβλήματος σε σταθερές συνθήκες (steady – state) η λύση μετατρέπεται σε χρονικά μεταβαλλόμενη (unsteady) και ορίζεται ένα χρονικό βήμα (1 sec). Με τον τρόπο αυτό η εξίσωση της συνέχειας λύνεται

ως διαφορική εξίσωση συναρτήσει του χρονικού βήματος που επιλέχτηκε. Η συγκέντρωση του αερίου στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μειώνεται ανάλογα με την «τοπική» τιμή της ταχύτητας του αέρα σε κάθε κελί. Η μέση τιμή της φθίνουσας συγκέντρωσης του αερίου συναρτήσει του χρόνου ακολουθεί μια εκθετική συνάρτηση της μορφής:

$$\bar{C}(t) = \bar{C}(0)e^{-Rt} \quad (3)$$

όπου R είναι ο ρυθμός με τον οποίο μειώνεται η συγκέντρωση του αερίου και περιγράφει τις εναλλαγές αέρα του θερμοκηπίου.

2.2.1 Οριακές συνθήκες

Τα όρια του υπολογιστικού πεδίου ήταν μεγαλύτερα από τις διαστάσεις του θερμοκηπίου σε κάθε περίπτωση, έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα παρεμπόδισης της ροής. Χρησιμοποιήθηκε ανομοιόμορφο αριθμητικό πλέγμα, με πολλά σημεία συγκεντρωμένα κοντά στα τοιχώματα του θερμοκηπίου όπου και αναμένεται να εμφανιστούν στρόβιλοι. Για την επιβεβαίωση του αριθμητικού προσομοιώματος χρησιμοποιήθηκε ένα τρισδιάστατο προσομοίωμα (καθώς η επικρατούσα ταχύτητα του εξωτερικού αέρα ήταν παράλληλη στα ανοίγματα αερισμού) ενώ οι υπόλοιπες προσομοιώσεις εκτελέστηκαν στις δύο διαστάσεις (ταχύτητα του εξωτερικού αέρα κάθετη στα ανοίγματα αερισμού). Οι πλευρές του θερμοκηπίου θεωρήθηκαν αδιαβατικές ενώ η οροφή και το έδαφος του θερμοκηπίου προσομοιώθηκαν ως επιφάνειες σταθερής θερμοροής. Οι οριακές αυτές συνθήκες (Πίνακας 1) προέρχονται από τον μέσο όρο πειραματικών μετρήσεων για ένα χρονικό διάστημα δύο μηνών (Ιούνιος - Ιούλιος 2000) οι οποίες ελήφθησαν στο πειραματικό θερμοκήπιο. Καθώς οι προσομοιώσεις εκτελέστηκαν σε σταθερές συνθήκες (steady – state) οι τιμές των οριακών συνθηκών προήλθαν από τον μέσο όρο πειραματικών τιμών που αντιστοιχούσαν σε σταθερές εξωτερικές κλιματικές συνθήκες (σταθερή διεύθυνση και ταχύτητα του αέρα και σταθερή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας).

Πίνακας 1. Οριακές συνθήκες.

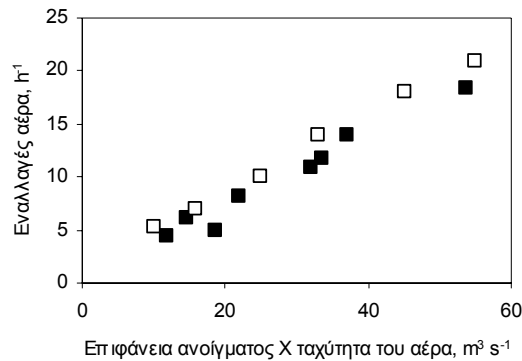
Παράμετρος	Αριθμητική τιμή	Μονάδα
Θερμοκρασία αέρα	27	°C
Ταχύτητα του εξωτερικού αέρα	3	ms ⁻¹
Θερμοκρασία οροφής θερμοκηπίου	32	°C
Θερμοκρασία εδάφους του θερμοκηπίου	45	Wm ⁻²
Θερμοκρασία εξωτερικού εδάφους	33	°C
Θερμοκρασία οροφής θερμοκηπίου	32	°C
Διαπερατότητα καλλιέργειας	0.395	
Συντελεστής απώλειας ορμής καλλιέργειας	0.2	

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Πιστοποίηση του αριθμητικού προσομοιώματος.

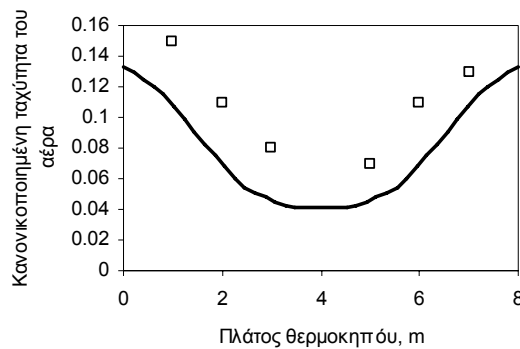
Το Σχήμα 1 παρουσιάζει τις υπολογισμένες και μετρημένες τιμές των εναλλαγών αέρα του θερμοκηπίου. Οι διαφορές μεταξύ υπολογισμένων και μετρημένων τιμών κυμαίνονται μεταξύ 12 – 15% και σε όλες τις περιπτώσεις οι

εναλλαγές αέρα που υπολογίζονται αριθμητικά ήταν μεγαλύτερες. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται σε δύο λόγους: α) οι μετρημένες τιμές δεν συμπεριλαμβάνουν το τυρβώδες μέρος της ταχύτητας του αέρα και β) ενώ το αριθμητικό προσομοίωμα υιοθετεί μια τέλεια ομογενοποίηση του αερίου δείκτη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κάτι τέτοιο είναι αδύνατο να συμβεί στο πείραμα.



Σχήμα 1. Μετρημένες (■) και υπολογισμένες (□) τιμές των εναλλαγών αέρα του θερμοκηπίου.

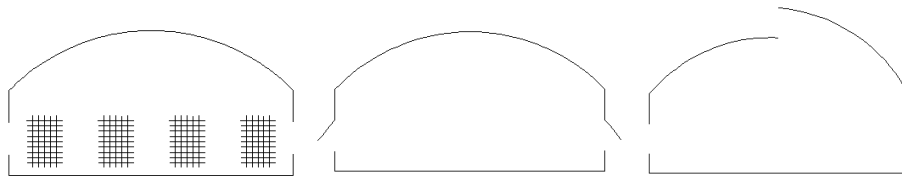
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι μετρημένες και οι υπολογισμένες τιμές της ταχύτητας του αέρα κατά πλάτος του θερμοκηπίου και σε απόσταση 1.1m από το έδαφος του θερμοκηπίου. Τόσο οι υπολογισμένες όσο και οι μετρημένες τιμές της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δείχνουν ότι η ταχύτητα του αέρα έχει υψηλές τιμές κοντά στα ανοίγματα αερισμού ενώ το μέτρο της μειώνεται στο κέντρο του θερμοκηπίου. Στην περίπτωση που ο εξωτερικός αέρα είναι παράλληλος στα ανοίγματα αερισμού, η είσοδος και η έξοδος του αέρα γίνεται ταυτόχρονα και από τα δύο ανοίγματα. Ο εξωτερικός αέρα εισέρχεται στο θερμοκήπιο από το υπήνεμο τμήμα του και εξέρχεται από το προσήνεμο τμήμα αυτού. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο είναι γνωστό ως «φαινόμενο ακραίου τοίχου» (side wall effect), έχει επιβεβαιωθεί και με πειραματικές μετρήσεις [13].



Σχήμα 2. Μετρημένες (—) και υπολογισμένες (□) τιμές της κανονικοποιημένης (U / U_{out}) ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

3.2 Διερεύνηση της επίδρασης άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού.

Μετά την πειραματική του επιβεβαίωση το αριθμητικό προσομοίωμα χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστεί η επίδραση δύο άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Σχηματικά οι δύο νέοι τύποι ανοιγμάτων αερισμού καθώς και ο τύπος ανοιγμάτων που ελέγχθηκε πειραματικά παρουσιάζονται στο σχήμα 3.

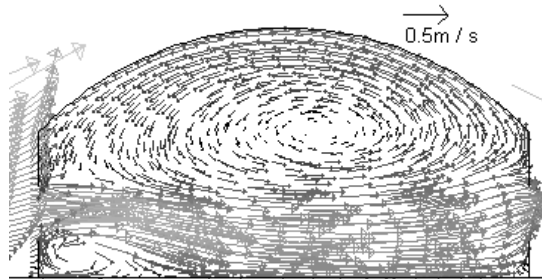


Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση των δύο άλλων τύπων ανοιγμάτων φυσικού αερισμού που μελετήθηκαν. Το πρώτο σχήμα αντιστοιχεί στο θερμοκήπιο που ελέγχθηκε πειραματικά όπου φαίνεται και η θέση της καλλιέργειας.

Στη συνέχεια του κειμένου οι τρεις τύποι ανοιγμάτων αερισμού που φαίνονται στο Σχήμα 3 θα αναφέρονται ως εξής: (α) για την περίπτωση που αντιστοιχεί στον τύπο που ελέγχθηκε πειραματικά, (β) στον τύπο που τα ανοίγματα αερισμού σχηματίζουν γωνία με τον ορθοστάτη κατά το άνοιγμα τους και (γ) για τον συνδυασμό πλευρικών ανοιγμάτων και ανοίγματος οροφής.

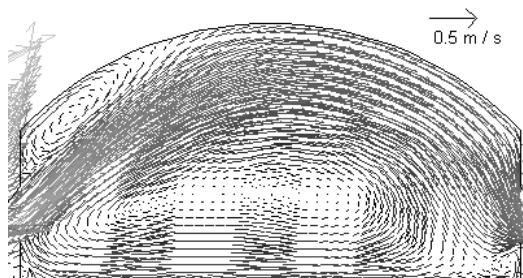
Τα διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την περίπτωση (α) παρουσιάζονται στο Σχήμα 4. Στην περίπτωση αυτή το κύριο ρεύμα του αέρα διασχίζει το χώρο του θερμοκηπίου εισερχόμενο από το προσήνεμο άνοιγμα αερισμού και εξέρχεται από το απέναντι, με μια μικρή ανακυκλοφορία του αέρα στην οροφή του θερμοκηπίου. Το μέτρο της ταχύτητας του αέρα είναι ιδιαίτερα μεγάλο στην περιοχή στην οποία βρίσκεται η καλλιέργεια ($0.3 - 1.2 \text{ m/s}$) ενώ αντιθέτως μειώνεται σημαντικά στο χώρο του θερμοκηπίου πάνω από τα

ανοίγματα αερισμού. Οι εναλλαγές του αέρα που επιτυγχάνονταν με αυτό τον τύπο ανοιγμάτων αερισμού ήταν 45 εναλλαγές αέρα ανά ώρα.



Σχήμα 4. Διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την περίπτωση (α)

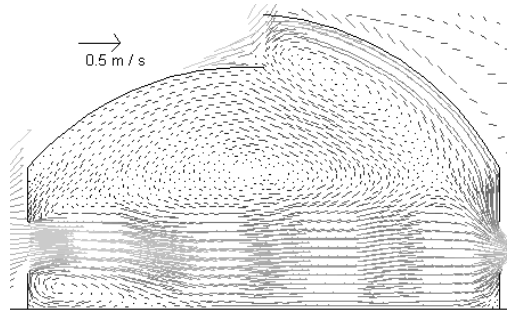
Τα διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την περίπτωση (β) παρουσιάζονται στο Σχήμα 5, όπου φαίνεται ότι η ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι διαφορετική. Ο εισερχόμενος αέρας από το προσήνεμο άνοιγμα μετακινείται απευθείας προς την οροφή του θερμοκηπίου οδηγούμενος από το άνοιγμα αερισμού, και ακολουθεί κυρίως την εσωτερική πλευρά του τοιχώματος του θερμοκηπίου. Στην περιοχή όπου βρίσκεται η καλλιέργεια παρατηρείται μια δευτερεύουσα κίνηση ανακυκλοφορίας του αέρα ενώ το μέτρο της ταχύτητας του αέρα είναι σημαντικά μικρότερο από το μέτρο της ταχύτητας του αέρα στο χώρο πάνω από την καλλιέργεια. Οι εναλλαγές του αέρα που επιτυγχάνονταν με αυτό τον τύπο ανοιγμάτων αερισμού ήταν 34 εναλλαγές αέρα ανά ώρα.



Σχήμα 5. Διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την περίπτωση (β)

Ο συνδυασμός πλαϊνών με ανοίγματα οροφής, περίπτωση (γ), δεν τροποποιεί σημαντικά την ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Σχήμα 6), αφού το άνοιγμα στην οροφή του θερμοκηπίου συμμετέχει ελάχιστα στην ροή του αέρα καθώς το μεγαλύτερο μέρος αυτής προκαλείται από τα πλαϊνά

ανοίγματα αερισμού. Οι εναλλαγές του αέρα που επιτυγχάνονταν με αυτό τον τύπο ανοιγμάτων αερισμού ήταν 54 εναλλαγές αέρα ανά ώρα.



Σχήμα 6. Διανύσματα της ταχύτητας του αέρα για την τρίτη περίπτωση (γ)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επιχειρήθηκε η επιβεβαίωση, με πειραματικές μετρήσεις, ενός εμπορικού κώδικα υπολογιστικής ρευστοδυναμικής στην προσομοίωση του φυσικού αερισμού θερμοκηπίων. Μετά την καλή συμφωνία μεταξύ υπολογισμένων και μετρημένων τιμών το αριθμητικό προσομοίωμα χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση της επίδρασης διαφορετικών τύπων ανοιγμάτων αερισμού στη ροή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα δηλώνουν την ανάγκη του σωστού σχεδιασμού των ανοιγμάτων αερισμού καθώς αυτά τροποποιούν σημαντικά την ροή του αέρα, καθορίζοντας έτσι και το σύνολο των ενεργειακών ροών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

5. Βιβλιογραφία.

1. Bot, G. P. A., 1993. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. *Ph.D Dissertation*. Agricultural University of Wageningen, Netherlands, 240 pp.
2. Kittas, C., Draoui, B., and Boulard, T., 1995. Quantification of the ventilation of a greenhouse with a roof opening., 77: 95-111.
3. Fernandez, J. E., and Bailey, B., J., 1992. Measurements and prediction of greenhouse ventilation rates, *Agric. For. Meteorol*, 58, 229-245.
4. Boulard, T. and Draoui, B., 1995. Natural ventilation of a greenhouse with continuous roof vents: Measurements and data analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61, 27-36.
5. Wang, S., 1998. Measurement and modeling of natural ventilation in a large venlo-type greenhouse. *PhD Dissertation* 193pp
6. Boulard, T., Wang, S. and Haxaire, R., 2000. Mean and turbulent air flows and microclimate patterns in an empty greenhouse tunnel. *Agric. For. Meteorol*, 100, 169 – 181.
7. Lamrani, M., A., Boulard, T., Roy, J., C. and Jaffrin, A., 2001. Airflows and temperature patterns induced in a confined greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 75-88.

8. Mistriotis, A., Bot, G., P., A., Picuno, P. and Scarascia, Mugnozza, G., 1997a. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computational fluid dynamics. *Agric. For. Meteorol*, 85, 317-328.
9. Mistriotis, A., Arcidiano, C., Picuno, P., Bot, G., P., A. and Scarascia, Mugnozza, G., 1997b. Computational analysis of the natural ventilation in greenhouses at low wind speed. *Agric. For. Meteorol*, 88, 121-135.
10. Patankar, S., V., 1980. Numerical heat transfer. *Hemisphere*, Washington.
11. Launder, B., E. and Spalding, D., B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Comp. Meth. App. Mech Eng.* 3, 269-289.
12. Fluent, 1998. *FLUENT*, v.5. Fluent Europe Ltd, Sheffield, UK.
13. Boulard, T.; Papadakis, G., Kittas, C. and Mermier, M., 1997. Air flow and associated sensible heat exchanges in a naturally ventilated greenhouse. *Agric. For. Meteorol.* 88, 111-119.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΜΕΡΙΚΑ ΣΚΙΑΣΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΡΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ

Κ. Κίττας, Α. Κοντές, Θ. Μπαρτζάνας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου Ν. Ιωνία Μαγνησίας, 38334 Βόλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνώνται πειραματικά οι κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος ενός θερμοκηπίου σκιασμένου στο δεύτερο μισό και εξοπλισμένου με σύστημα υγρής παρειάς. Λόγω του εξωτερικού ξηροθερμικού περιβάλλοντος η απόδοση του συστήματος διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα (85%) διατηρώντας τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου χαμηλή καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Παρατηρήθηκαν έντονες διακυμάνσεις στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα, αν και ενθαρρυντικά όσο αφορά την αποτελεσματικότητα του συστήματος, επισημαίνουν την ανάγκη για ορθολογικότερο σχεδιασμό και διαχείριση του.

Λέξεις κλειδιά: Ψύξη θερμοκηπίου, κατανομές θερμοκρασίας – υγρασίας, διαπνοή.

TEMPERATURE AND HUMIDITY GRADIENTS IN A PARTIALLY SHADED EVAPORATIVE COOLED GREENHOUSE

C. Kittas, A. Kontes, T. Bartzanas

University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and
Agricultural Environment, Fytokou St., N. Ionia Magnisias, 38334 Volos

ABSTRACT

Temperature and humidity gradients were investigated during summer in a commercial greenhouse producing cut roses, equipped with a ventilated cooling-pad system and a half shaded plastic roof. In a steady regime, the cooling process reached 85% efficiency and succeeded in maintaining the greenhouse temperatures cooler than outside. However, due to the important length of the greenhouse large temperature and humidity gradients were observed from pads to fans.

Keywords: Evaporative cooling, temperature – humidity gradients, transpiration.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά την θερινή περίοδο είναι ένα πρόβλημα που γίνεται όλο και πιο σοβαρό στις χώρες της μεσογειακής λεκάνης

Οι περιοχές αυτές γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιιεργειών χάρη, κυρίως, στις ευνοϊκότερες συνθήκες που επικρατούν τον χειμώνα σε σχέση με τις βόρειες χώρες. Το πρόβλημα αυτών των θερμοκηπίων εντοπίζεται κατά τη θερμή περίοδο του έτους η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και ανεπαρκή υγρασία, γεγονός που αναγκάζει τους παραγωγούς να διακόψουν την καλλιέργεια από τις πρώτες κιόλας θερμές ημέρες ή να τις συνεχίσουν κάτω από όχι ευνοϊκές συνθήκες για την παραγωγή προϊόντων ποιότητας. Γίνεται λοιπόν κατανοητό, ότι για την παραγωγή προϊόντων ποιότητας, ένας καλός κλιματισμός κατά την θερινή περίοδο είναι απαραίτητος [1].

Ο φυσικός αερισμός και η σκίαση είναι δύο από τα πλέον διαδεδομένα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, η αποτελεσματικότητα των οποίων όμως είναι περιορισμένη [2], [3]. Η ψύξη με εξάτμιση είναι ένα από τα πλέον αποτελεσματικά συστήματα δροσίσιμου των θερμοκηπίων [4]. Η μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει είτε ψεκάζοντας νερό στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με χαμηλής ή υψηλής πίεσης συστήματα ομίχλης, είτε αναγκάζοντας τον αέρα να περάσει μέσα από ένα υγρό τοίχωμα πριν εισέλθει στο θερμοκήπιο. Και τα δύο συστήματα έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας με ταυτόχρονη αύξηση της απόλυτης υγρασίας του αέρα

Η απόδοση των συστημάτων τεχνητής ομίχλης περιορίζεται συνήθως από την ποιότητα του διαθέσιμου νερού ενώ το κυριότερο μειονέκτημα των συστημάτων υγρής παρειάς είναι η δημιουργία μεγάλων θερμοβαθμίδων κατά μήκος της κίνησης του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Στο παρελθόν διάφοροι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τη διερεύνηση των συστημάτων ψύξης [5], [6], [7]. Η πλειονότητα των εργασιών αυτών ασχολήθηκε με την ανάλυση της θερμοδυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος και τη διερεύνηση της επίδρασής του στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Οι Landsberg et al [8], πρότειναν ένα θεωρητικό προσομοίωμα για την απόδοση ενός συστήματος υγρής παρειάς για διάφορες κλιματικές συνθήκες, χωρίς όμως να το επιβεβαιώσει με πειραματικές μετρήσεις. Πιο πρόσφατα ο Willits [9] πρότεινε ένα προσομοίωμα πρόβλεψης της θερμοκρασίας του αέρα και της καλλιέργειας συναρτήσει του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και της εξωτερικής θερμοκρασίας. Τα συστήματα ψύξης με υγρή παρεία, όταν χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, συχνά συνδυάζονται με προοδευτική σκίαση με σκοπό τον έλεγχο των θερμοβαθμίδων κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της διακύμανσης της θερμοκρασίας και της υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου εξοπλισμένου με σύστημα υγρής παρειάς και σκίαση.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το θερμοκήπιο στο οποίο έγινε το πείραμα ήταν ένα πολλαπλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο. Κατασκευάστηκε το 1990 και είχε συνολική έκταση 2,88 στρέμματα. Αποτελούνταν από 6 βάσεις με 8 m πλάτος η κάθε μία. Το συνολικό του μήκος ήταν 60 m και το πλάτος του 48 m. Ο ορθοστάτης του θερμοκηπίου είχε 2,5 m ύψος και ο κορφιάς 4 m.

Το θερμοκήπιο ήταν καλυμμένο με φύλλο πολυαιθυλενίου πάχους 180μm, διπλό στην οροφή κι απλό στα πλάγια.. Ο σκελετός του θερμοκηπίου ήταν μεταλλικός, από γαλβανισμένο χάλυβα.

Ο αερισμός του θερμοκηπίου κατά τις πρωινές ώρες γινόταν με φυσικό αερισμό με ανοίγματα στην οροφή του θερμοκηπίου. Αργότερα όταν η θερμοκρασία ανέβαινε ($>28^{\circ}\text{C}$) και οι απαιτήσεις σε αερισμό δεν μπορούσαν να καλυφθούν από τον φυσικό αερισμό, έμπαιναν σε λειτουργία οι ανεμιστήρες. Η είσοδος του αέρα γινόταν από την απέναντι πλευρά από αυτή που βρίσκονταν οι ανεμιστήρες δια μέσου της υγρή παρειάς.

Το θερμοκήπιο ήταν σκιασμένο με λευκό δίχτυ σκίασης στο δεύτερο μισό. Μέσα στο θερμοκήπιο όπου έγινε το πείραμα υπήρχε καλλιέργεια τριαντάφυλλου (cv First Red), τα οποία καλλιεργούνταν σε απλές γραμμές και τα φυτά στηρίζονταν από σύρμα που βρίσκονταν κατά μήκος στα πλάγια των φυτών.

Οι μετρήσεις του πειράματος έγιναν κατά το καλοκαίρι του 2001 και αφορούσαν:

- Τη θερμοκρασία ξηρού ($T_{d,out}$) και υγρού βολβού ($T_{w,out}$) του εξωτερικού αέρα, σε $^{\circ}\text{C}$.
- Τη θερμοκρασία ξηρού ($T_{d,pad}$) και υγρού βολβού ($T_{w,pad}$) του εσωτερικού αέρα αμέσως μετά τη διέλευση του από την υγρή παρειά, $^{\circ}\text{C}$.
- Τη θερμοκρασία ξηρού ($T_{d,15}$) και υγρού βολβού ($T_{w,15}$) του εσωτερικού αέρα σε απόσταση 15m από την υγρή παρειά σε $^{\circ}\text{C}$.
- Τη θερμοκρασία ξηρού ($T_{d,45}$) και υγρού βολβού ($T_{w,45}$) του εσωτερικού αέρα σε απόσταση 45m από την υγρή παρειά, σε $^{\circ}\text{C}$.
- Τη θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους (T_g) και της καλλιέργειας (T_c) σε $^{\circ}\text{C}$, σε αποστάσεις 15m και 45m από την υγρή παρειά
- Την ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό περιβάλλον ($R_{g,out}$), στο μη σκιασμένο τμήμα του θερμοκηπίου και στο σκιασμένο τμήμα του ($R_{g,45}$), σε Wm^{-2} .

Όλες οι τιμές αποθηκευόντουσαν κάθε 10 sec σε ένα σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (DL3000, Delta-T devices, UK) και στην συνέχεια εξαγόταν ο μέσος όρος κάθε 10 λεπτά.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

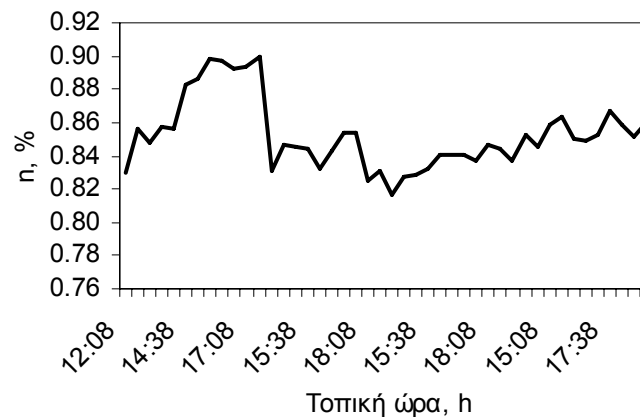
Το αποτελέσματα τα οποία παρατίθενται πιο κάτω είναι ενδεικτικά και προέρχονται από τέσσερις διαδοχικές ημέρες, κατά την διάρκεια

λειτουργίας του συστήματος δροσισμού. Η επιλογή των ημερών έγινε με βάση την συνεχή λειτουργία του συστήματος της υγρής παρειάς καθόλη τη διάρκεια της ημέρας καθώς και των παρόμοιων κλιματικών συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος.

3.1 Απόδοση του συστήματος

Η απόδοση, η , του συστήματος της υγρής παρειάς (σχήμα 1) υπολογίστηκε ως ακολούθως[10]:

$$\eta = (T_{d,out} - T_{d,pad}) / (T_{d,out} - T_{w,out}) \times 100\% \quad (1)$$



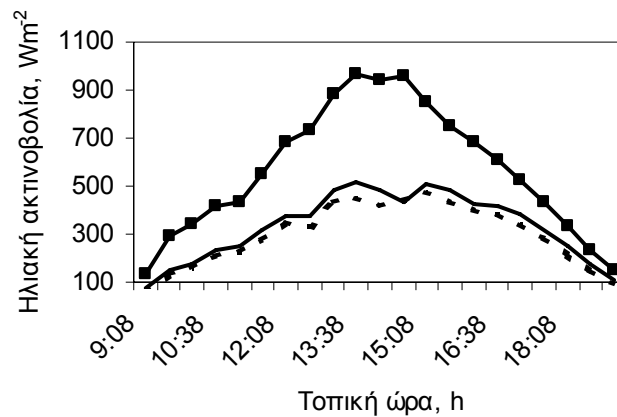
Σχήμα 1. Απόδοση του συστήματος.

Λόγω των ξηροθερμικών συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος (μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα 32 °C και μέση σχετική υγρασία 40%) η απόδοση του συστήματος κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (85%) αναγκάζοντας έτσι, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, τον εξωτερικό αέρα να εισέρχεται στο θερμοκήπιο αρκετά πιο ψυχρός αλλά και πιο υγρός.

3.2 Ηλιακή ακτινοβολία.

Λόγω της σκίασης που υπήρχε στο δεύτερο μισό του θερμοκηπίου υπήρχε ανομοιομορφία στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στο δεύτερο μισό του θερμοκηπίου να είναι μικρότερη από αυτή στο πρώτο (Σχήμα 2). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2, στο οποίο παρουσιάζεται η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας για μία ημέρα έτσι ώστε να είναι εμφανείς οι διαφορές στην ένταση της εισερχόμενης ακτινοβολίας στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου, η διαπερατότητα στο πρώτο μισό του θερμοκηπίου ήταν 51%, ενώ στο δεύτερο μισό ήταν 46%. Η διαφορά στη διαπερατότητα, ήταν της τάξης του 10% και κατά συνέπεια δεν ήταν σημαντική, τουλάχιστον τέτοια που να δικαιολογεί την ύπαρξη ενός διχτύου σκίασης στο δεύτερο τμήμα του θερμοκηπίου. Αυτό

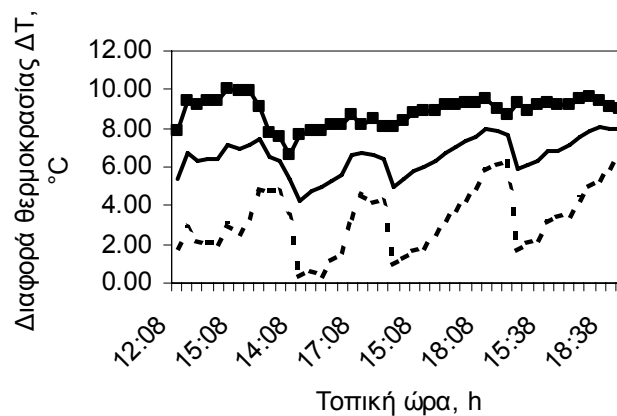
μπορεί να οφείλεται στην τροποποίηση των ιδιοτήτων του δικτύου σκίασης με το πέρασμα του χρόνου (το δίκτυο είχε τοποθετηθεί το 1996).



Σχήμα 2 Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας ($R_{g,out}$ ■■■, $R_{g,15}$ —, $R_{g,45}$ - - -)

3.2 Θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα

Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας σε τρία σημεία (αμέσως μετά την υγρή παρειά, ΔT_{pad} , 15m μετά την παρειά ΔT_{15} και 45m μετά την παρειά ΔT_{45}), στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα



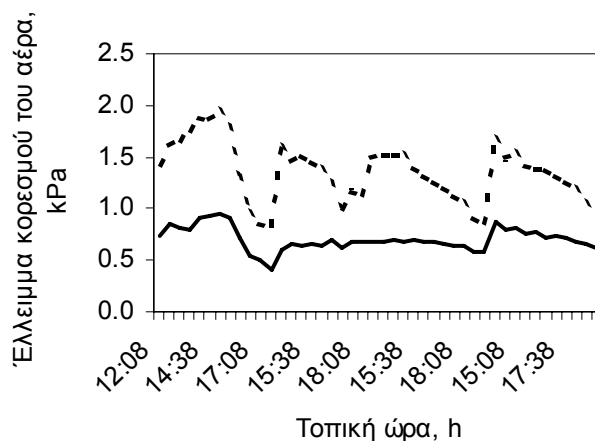
Σχήμα 3. Διαφορά θερμοκρασίας εξωτερικού - εσωτερικού αέρα για τρία σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (ΔT_{pad} ■■■, ΔT_{15} —, ΔT_{45} - - -)

Λόγω της υψηλής απόδοσης του συστήματος της υγρής παρειάς ο θερμός αέρας εισέρχεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (ΔT_{pad}) κατά 8 – 10 °C

ψυχρότερος του εξωτερικού αέρα. Κατά την κίνηση του όμως στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θερμαίνεται με αποτέλεσμα σε απόσταση 15m από την υγρή παρειά (ΔT_{15}) να είναι ψυχρότερος του εξωτερικού αέρα 4 – 6 °C και μόλις 2 – 4 °C σε απόσταση 45m από την υγρή παρειά (ΔT_{45}), υποδεικνύοντας έτσι το πρόβλημα των συστημάτων ψύξης με υγρή παρειά σε θερμοκήπια με μήκος μεγαλύτερο των 40m.

3.3 Έλλειμμα κορεσμού του αέρα

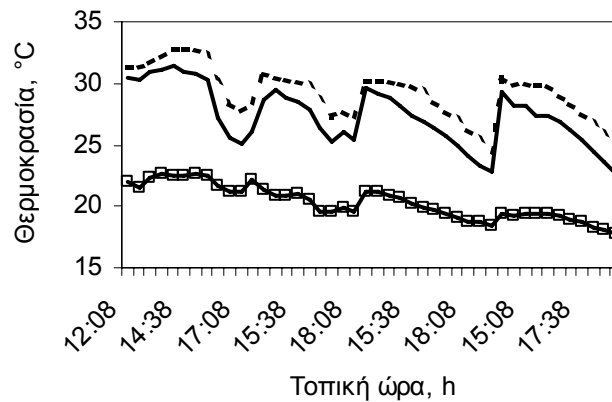
Καθώς ο θερμός και ξηρός εξωτερικός αέρας εισέρχεται στο τοίχωμα της υγρής παρειάς αυξάνει την περιεκτικότητα του σε υγρασία και λόγω της υψηλής απόδοσης του συστήματος εξέρχεται από την υγρή παρειά και μπαίνει στο θερμοκήπιο σχεδόν κορεσμένος σε υδρατμούς. Έτσι το έλλειμμα κορεσμού του αέρα είναι ιδιαίτερα χαμηλό στο πρώτο τμήμα του θερμοκηπίου ($VPD_{15} \approx 0.5 - 1$ kPa). Κατά την κίνηση του κατά μήκος του θερμοκηπίου ο αέρας χάνει μέρος της υγρασίας του λόγω μετατροπής της σε αισθητή θερμότητα με αποτέλεσμα στο δεύτερο τμήμα του θερμοκηπίου (VPD_{45}) το έλλειμμα κορεσμού να αποκτά μεγαλύτερες τιμές (σχήμα 4). Σημειώνεται, πάντως, ότι οι τιμές του VPD ήταν μικρότερες των 2 kPa, και κατά συνέπεια δεν υπήρχαν συνθήκες καταπόνησης (stress) της καλλιέργειας κατά μήκος του θερμοκηπίου.



Σχήμα 4. Μεταβολή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα, VPD, κατά μήκος του θερμοκηπίου (VPD_{15} —, VPD_{45} - - -)

Λόγω των ιδιαίτερα χαμηλών τιμών του ελλείμματος κορεσμού στο πρώτο τμήμα του θερμοκηπίου εξετάστηκε η πιθανότητα δημιουργίας υγροποιήσεων στις επιφάνειες του εδάφους και της καλλιέργειας συγκρίνοντας τις θερμοκρασίες τους με το σημείο δρόσου του αέρα. Στο Σχήμα 5 φαίνεται η πορεία της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του αέρα ($T_{dew,15}$), της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους ($T_{g,15}$) και της θερμοκρασίας της

καλλιέργειας ($T_{c,15}$), σε απόσταση 15m από την υγρή παρειά. Από το Σχήμα 5 προκύπτει ότι, παρά τις χαμηλές τιμές του ελλείμματος κορεσμού, δεν παρατηρήθηκαν υγροποιήσεις.



Σχήμα 5. Θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα, της επιφάνειας του εδάφους και της καλλιέργειας ($T_{dew,15}$ —□—, $T_{c,15}$ ———, $T_{g,15}$ - - -)

Η μεταβολή αυτή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου είχε επίδραση στην διαπνοή των φυτών. Έτσι, ενώ κανείς θα ανέμενε ότι στο σκιασμένο τμήμα του θερμοκηπίου η διαπνοή των φυτών θα ήταν μικρότερη, λόγω της μικρότερης εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, αυτό δεν συνέβαινε. Η διαπνοή των φυτών στο σκιασμένο τμήμα του θερμοκηπίου (σκιασμένο) ήταν μεγαλύτερη. Οι τιμές της διαπνοής των φυτών στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου συσχετίστηκαν με την εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία και το αντίστοιχο έλλειμμα κορεσμού με σκοπό την εξαγωγή μιας απλοποιημένης σχέσης που να συνδέει την διαπνοή των φυτών με τις δύο αυτές παραμέτρους (ακτινοβολία και έλλειμμα κορεσμού). Οι εξισώσεις οι οποίες προέκυψαν ήταν:

- $TR_{15} = 0.16 R_{g,out} + 13 VPD_{15}$ Wm^{-2}
- $TR_{45} = 0.23 R_{g,out} + 5.8 VPD_{45}$ Wm^{-2}

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διερευνήθηκε πειραματικά η απόδοση ενός συνδυασμένου συστήματος ψύξης με βρεγμένη παρειά και μερική σκίαση σε ένα εμπορικό θερμοκήπιο παραγωγής τριαντάφυλλων και εξετάστηκε η επίδραση του στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και ειδικότερα στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου. Λόγω των ξηροθερμικών εξωτερικών κλιματικών συνθηκών η απόδοση του συστήματος κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (85%) διατηρώντας τη θερμοκρασία στο μεγαλύτερο τμήμα του θερμοκηπίου σε αποδεκτά επίπεδα. Παρόλο αυτά παρατηρήθηκαν έντονες διαβαθμίσεις στις

κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου. Έτσι, ενώ ο εξωτερικός αέρας εισερχόταν στο θερμοκήπιο μέχρι και 10 °C ψυχρότερος του εξωτερικού κατά την κίνηση του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θερμαινόταν με αποτέλεσμα να είναι μόνο 2 – 3 °C ψυχρότερος του εξωτερικού στα τελευταία μέτρα του θερμοκηπίου. Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα ήταν ιδιαίτερα χαμηλό στο πρώτο τμήμα του θερμοκηπίου, ενώ αποκτούσε κανονικές τιμές στο δεύτερο τμήμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hanan J J; Holley W L; Goldberry K L (1978). Greenhouse Management. *Advances Series in Agricultural Sciences* 5; Springer-Verlag, Berlin
2. Kittas C; Katsoulas N; Baille A (2001a). Influence of greenhouse ventilation regime on the microclimate and energy portioning of a rose canopy during summer conditions. *J. Agr. Engin. Res*, 79 (3), 349-360
3. Willits D H; Peet M M (1993). The effect of evaporative cooling on the efficiency of external greenhouse shade cloths. *ASAE Paper* no.93-4042
4. Carpenter W J; Willis W W (1957). Comparison of low pressure mist atomised fog and evaporation fan and pad systems for greenhouse cooling and plant response. *Journal of American Society for Horticulture Science*, 70, 490-500
5. Montero J I; Short T; Curry R B Bauerle WL (1981). Influence of evaporative cooling systems on greenhouse environments. *ASAE Paper* no 81-4027
6. Montero J I; Anton A; Biel C; Franquet A (1990). Cooling of greenhouse with compressed air fogging nozzles. *Acta Horticulturae*, 281, 199-209
7. Giacomelli G A; Ginigers M S; Krass A E; Mears D R (1985). Improved methods of greenhouse evaporative cooling. *Acta Horticulturae*, 174, 49-55
8. Landsberg J I; White B; Thorpe M R (1979). Computer analysis of the efficiency of evaporative cooling for glasshouses in a high-energy environments. *J. Agr. Engin. Res*, 24, 29-39
9. Willits D H (2000). Constraints and limitation in greenhouse cooling. Challenges for the next decade. *Acta Horticulturae*, 534, 57-66
10. ASHRAE. 1983 Evaporative air-cooling equipment. Chapter 4. In: *Equipment handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, Atlanta, GA 30329

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΕΩΝ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Κ. Κίττας και Ν. Κατσούλας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία, Μαγνησία, ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται η επίδραση των συστημάτων ρύθμισης του κλίματος του θερμοκηπίου κατά τη θερμή περίοδο, στο μικροκλίμα υπό κάλυψη και ιδιαίτερα στη θερμοκρασία T_i και στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα D_i και στη θερμοκρασία της καλλιέργειας T_c . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο φυσικός αερισμός από μόνος του δεν ήταν επαρκής για την ψύξη του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η σκίαση μείωσε το φορτίο ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο και σε συνδυασμό με το φυσικό αερισμό οδήγησε σε μείωση της T_i και του D_i . Τέλος ο δροσισμός με σύστημα τεχνητής ομίχλης προκάλεσε ταυτόχρονη σημαντική πτώση της T_i και του D_i .

Λέξεις κλειδιά: αερισμός, σκίαση, δροσισμός, θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα, θερμοκρασία καλλιέργειας.

INFLUENCE OF GREENHOUSE COOLING TECHNIQUES ON GREENHOUSE MICROCLIMATE

C. Kittas and N. Katsoulas

University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Agricultural
Environment, Fytokou St., N. Ionia, GR-38446, Magnisia, Greece, ckittas@uth.gr

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the influence of greenhouse ventilation, shading and misting on greenhouse air temperature T_i and vapour pressure deficit D_i and on crop temperature T_c . The results showed that natural ventilation was inadequate in cooling the greenhouse environment during Mediterranean summer conditions. Greenhouse roof whitening reduced the radiation load inside the greenhouse and in combination with natural ventilation lead to greenhouse T_i and D_i reduction. In addition, the use of the mist system lead to significant T_i , D_i and T_c decrease.

Key words: ventilation, shading, misting, air temperature, crop temperature, air vapour pressure deficit.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τους καλλιεργητές των μεσογειακών χωρών. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος των θερμοκηπίων των χωρών αυτών είναι η υψηλή θερμοκρασία ($T > 35^{\circ}\text{C}$) και το μεγάλο έλλειμμα κορεσμού ($D > 3 \text{ kPa}$), συνθήκες οι οποίες προκαλούν μείωση της παραγωγής και της ποιότητας των θερμοκηπιακών προϊόντων. Διάφοροι μέθοδοι ψύξης του αέρα του θερμοκηπίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθούν κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών. Ο φυσικός αερισμός είναι συνήθως το πρώτο βήμα λόγω της απλότητας της μεθόδου, αλλά γενικά δεν είναι επαρκής για να εξάγει από το θερμοκήπιο την υπερβολική ενέργεια κατά τη διάρκεια θερμών ηλιόλουστων καλοκαιρινών ημερών [1]. Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλοι μέθοδοι ψύξης, σε συνδυασμό με τον αερισμό.

Εκτός από το φυσικό αερισμό χρησιμοποιείται και ο δυναμικός αερισμός ο οποίος γίνεται με ανεμιστήρες. Το κυριότερο μειονέκτημα του δυναμικού αερισμού, όταν συγκρίνεται με το φυσικό αερισμό, είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας και οι διαβαθμίσεις της θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος της πορείας του αέρα από την είσοδο προς την έξοδο του από το θερμοκήπιο.

Η σκίαση αναφέρεται συνήθως ως η έσχατη λύση ελέγχου του κλίματος του θερμοκηπίου, λόγω της ενδεχόμενης επίδρασής της στην παραγωγή εξαιτίας της μείωσης της διαπερατότητας του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία, αλλά βρίσκει ευρεία εφαρμογή, κυρίως με άσπρισμα της οροφής, λόγω του χαμηλού κόστους της. Παρά την ευρεία εφαρμογή της μεθόδου αυτής, οι εργασίες που αναφέρονται στην μελέτη της επίδρασής της στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην καλλιέργεια είναι σπάνιες [2, 3, 4], αφού οι περισσότερες εργασίες σχετίζονται με τη συγκριτική μελέτη διάφορων μεθόδων σκίασης, όπως οι εξωτερικές ή εσωτερικές κουρτίνες σκίασης και τις τροποποιήσεις που προκαλούν στην ακτινοβολία που εισέρχεται στο θερμοκήπιο [5, 6].

Τέλος, ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για τη μείωση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι η ψύξη με εξάτμιση. Τα συστήματα ψύξης με εξάτμιση βασίζονται στη μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα, μέσω της απευθείας παροχής νερού στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου (τεχνητή ομίχλη) ή μέσω της ψύξης του εισερχόμενου αέρα μέσα από βρεγμένη παρειά και επιτρέπουν την παράλληλη πτώση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα [7, 8].

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η συγκριτική μελέτη της επίδρασης των κυριότερων συστημάτων κλιματισμού των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και πιο συγκεκριμένα του αερισμού (φυσικού και δυναμικού), της σκίασης (με άσπρισμα της οροφής του θερμοκηπίου) και του δροσισμού (με σύστημα τεχνητής ομίχλης), στο μικροκλίμα υπό κάλυψη και ιδιαίτερα στη θερμοκρασία και στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα και στη θερμοκρασία της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα έγιναν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού των ετών 1998 και 1999 σε γυάλινο θερμοκήπιο (200 m^2), του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου ήταν: μήκος 31 m, πλάτος 6.5 m, ύψος ορθοστάτη 2.9 m, ύψος κορφιά 4 m. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν πλήρως καλυμμένο με τσιμέντο.

Ο αερισμός του θερμοκηπίου ήταν φυσικός ή/και δυναμικός. Ο φυσικός αερισμός γινόταν με τη βοήθεια ενός συνεχόμενου παραθύρου οροφής με μέγιστη επιφάνεια ανοίγματος περίπου 26 m^2 . Ο δυναμικός αερισμός γινόταν με τη βοήθεια τεσσάρων ανεμιστήρων (συνολικής παροχής $\approx 16000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) τοποθετημένων ανά δύο στις μετώπες του θερμοκηπίου και του παράθυρου οροφής. Με τη λειτουργία του συστήματος δυναμικού αερισμού, ήταν δυνατό να επιτευχθούν 50 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα, ενώ με το φυσικό αερισμό επιτυγχάνονταν, ανάλογα με την ταχύτητα και τη διεύθυνση του εξωτερικού ανέμου, από 5 έως 30 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα.

Για το δροσίσιμο του θερμοκηπίου υπήρχε εγκατεστημένο σύστημα τεχνητής ομίχλης υψηλής πίεσης το οποίο περιελάμβανε δύο μονάδες με ανεμιστήρες και σύστημα ψεκασμού του νερού με κάλυψη 100 m^2 η κάθε μία και συνολική παροχή νερού $10^{-4} \text{ lit s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ εδάφους του θερμοκηπίου.

Η σκίαση του θερμοκηπίου έγινε με άσπρισμα της οροφής του θερμοκηπίου με διάλυμα ασβέστη (πυκνότητα περίπου 8 kg CaO ανά 100 kg νερό). Η μέση τιμή του συντελεστή διαπερατότητας του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία (κατά το διάστημα 9:00-19:00) ήταν 0.62 πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου, ενώ μετά το άσπρισμα ήταν περίπου 0.31.

Στο θερμοκήπιο υπήρχε εγκατεστημένη, από το 1997, υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς με πυκνότητα 6 φυτά/m^2 . Η άρδευση και λίπανση της καλλιέργειας [9] γινόταν αυτόματα με σύστημα ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το κλάδεμα και η διαμόρφωση της καλλιέργειας γινόταν σύμφωνα με την τεχνική του λυγίσματος των βλαστών (bending technique).

2.2 Οι μετρήσεις

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν:

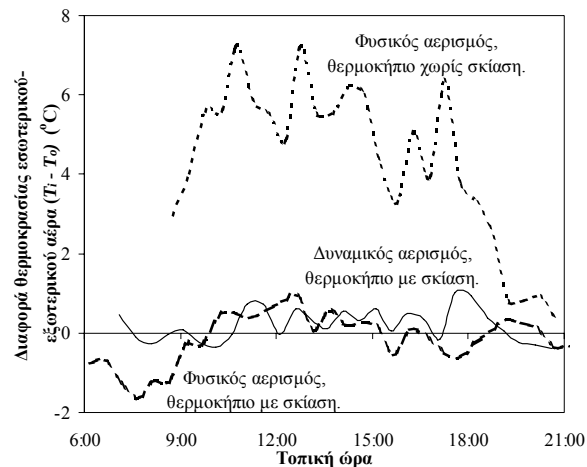
- Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία (T_o , °C) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (D_o , kPa), η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου.
- Μέσα στο θερμοκήπιο: η θερμοκρασία (T_i , °C) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (D_i , kPa) σε τρία επίπεδα (0.3 m, 0.8 m και 1.8 m), η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία της καλλιέργειας (T_c , °C) υπολογισμένη ως η μέση τιμή της θερμοκρασίας 7 φύλλων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή αφορούν τέσσερις αντιπροσωπευτικές ημέρες (με παρόμοιες εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας), περιόδων κατά τις οποίες ο κλιματισμός του θερμοκηπίου γινόταν: 1) με φυσικό αερισμό χωρίς σκίαση, 2) με φυσικό αερισμό και σκίαση, 3) με δυναμικό αερισμό και σκίαση και 4) με τεχνητή ομίχλη και σκίαση.

3.1 Επίδραση στη θερμοκρασία του αέρα

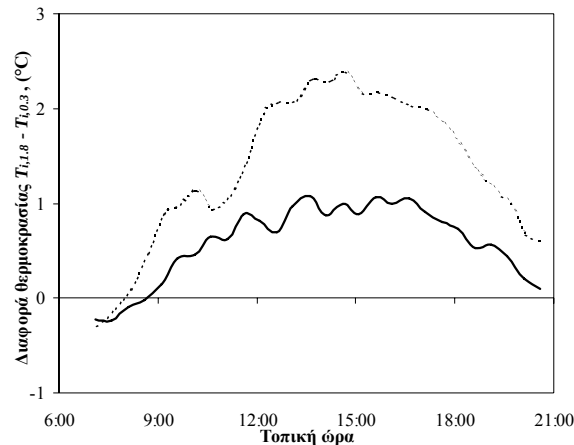
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατά τη διάρκεια των τεσσάρων περιόδων, συνέβαλαν στη διερεύνηση της επίδρασης της σκίασης, του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και του δροσισμού, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Η T_i επηρεάστηκε από τη μέθοδο αερισμού, τη σκίαση (Σχήμα 1) και το δροσισμό του θερμοκηπίου. Παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα ΔT_{i-o} ($= T_i - T_o$) μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου, η μέση τιμή (διάστημα 9:00-19:00) της οποίας ήταν περίπου 5°C , την ημέρα με φυσικό αερισμό, χωρίς σκίαση και μόνο 0.6°C την ημέρα με φυσικό αερισμό και σκίαση. Υπό συνθήκες σκίασης ο δυναμικός αερισμός δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την T_i , η μέση τιμή της οποίας ήταν κοντά στην T_o (Σχήμα 1). Η μέση τιμή της T_i στο θερμοκήπιο με σκίαση και δροσισμό ήταν περίπου 2.5°C μικρότερη από αυτή με σκίαση και φυσικό αερισμό.



Σχήμα 1. Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του θερμοκηπίου και του εξωτερικού αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας

Υπό συνθήκες σκίασης παρατηρήθηκε κατακόρυφη διαβάθμιση της T_i . Η διαφορά μεταξύ της τιμής της T_i στα 1.8 m ($T_{i,1.8}$) και της τιμής της στα 0.3 m ($T_{i,0.3}$), (Σχήμα 2) ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση του φυσικού αερισμού (πάνω από 2.5°C), συγκρινόμενη με την περίπτωση του δυναμικού αερισμού. Παράλληλα, βρέθηκε κατακόρυφη διαβάθμιση στην τιμή του D_i και στις δύο περιπτώσεις αερισμού. Μεγαλύτερη, όμως διαβάθμιση παρατηρήθηκε στην

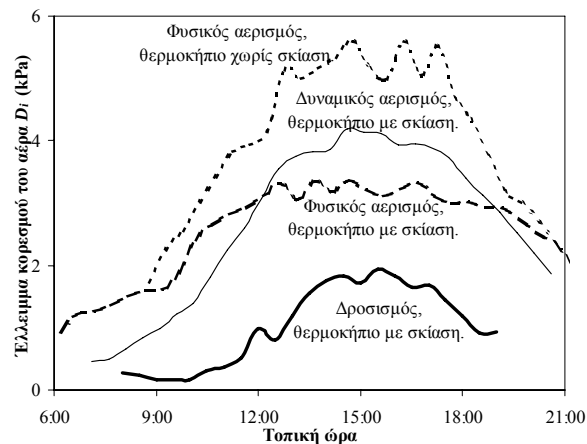
περίπτωση του φυσικού αερισμού με τον αέρα να είναι σημαντικά πιο υγρός στα χαμηλότερα στρώματα παρά σε ύψος 1.8 m.



Σχήμα 2. Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του θερμοκηπίου σε ύψος 1.8 και 0.3 m, κατά τη διάρκεια των ημερών με φυσικό και δυναμικό αερισμό.

3.2 Επίδραση στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα

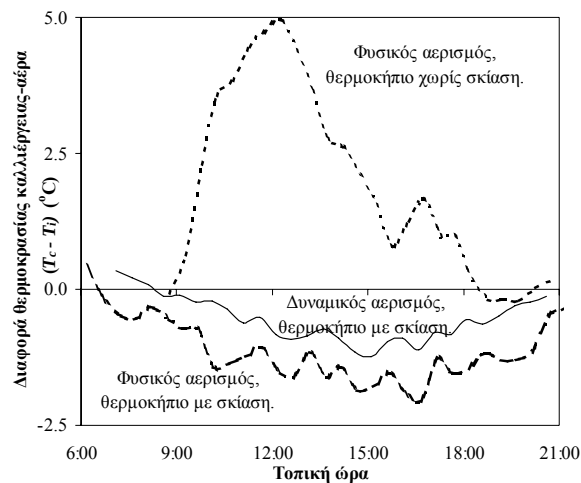
Με φυσικό αερισμό, κατά την περίοδο πριν από το άσπρισμα του θερμοκηπίου, η μέγιστη τιμή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα D_i ήταν κοντά στα 6 kPa και σημειωνόταν κατά τη διάρκεια του απογεύματος, ενώ μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου η τιμή του D_i δεν ξεπερνούσε τα 4 kPa (Σχήμα 3). Κατά τη διάρκεια των περιόδων με δυναμικό αερισμό, η είσοδος θερμού και ξηρού αέρα στο θερμοκήπιο προκάλεσε μικρή αύξηση στην τιμή του D_i κυρίως κατά τη θερμότερη περίοδο της ημέρας. Τέλος η χρήση του συστήματος δροσισμού προκάλεσε σημαντική μείωση στην τιμή του D_i , προκαλώντας τη διατήρηση των τιμών του κάτω από τα 2 kPa (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Έλλειμμα κορεσμού του αέρα D_i (kPa) κατά τη διάρκεια της ημέρας.

3.3 Επίδραση στη θερμοκρασία της καλλιέργειας

Η θερμοκρασία της καλλιέργειας T_c υπό συνθήκες φυσικού αερισμού και πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου ήταν σημαντικά υψηλότερη από αυτή του αέρα, (μέγιστη θετική διαφορά $\Delta T_c = T_c - T_i \approx 5^\circ\text{C}$), ενώ μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου ήταν ελαφρώς χαμηλότερη από αυτή του αέρα, (μέγιστη αρνητική διαφορά $\Delta T_c \approx -2^\circ\text{C}$) (Σχήμα 4). Επιπλέον, υπό συνθήκες σκίασης, βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην τιμή της ΔT_c μεταξύ των μεταχειρίσεων με φυσικό και δυναμικό αερισμό. Οι τιμές της ΔT_c ήταν περισσότερο αρνητικές, όταν ο αερισμός ήταν φυσικός (Σχήμα 4). Τέλος, ο δροσισμός του θερμοκηπίου δεν επηρέασε την τιμή της ΔT_c σε σχέση με τις συνθήκες σκίασης και φυσικού αερισμού, αλλά προκάλεσε ταυτόχρονη σημαντική πτώση στην τιμή της T_i και της T_c (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).



Σχήμα 4. Διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η σχέση της ΔT_c και του D_i (Σχήμα 5), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας [10].

Υπό συνθήκες σκίασης, με γραμμική παλινδρόμηση βρέθηκαν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\Delta T_c = 0.30 - 0.38 D_i \quad (1)$$

για δυναμικό αερισμό, με τιμή για το συντελεστή προσδιορισμού R^2 0.95

$$\Delta T_c = 0.63 - 0.91 D_i \quad (2)$$

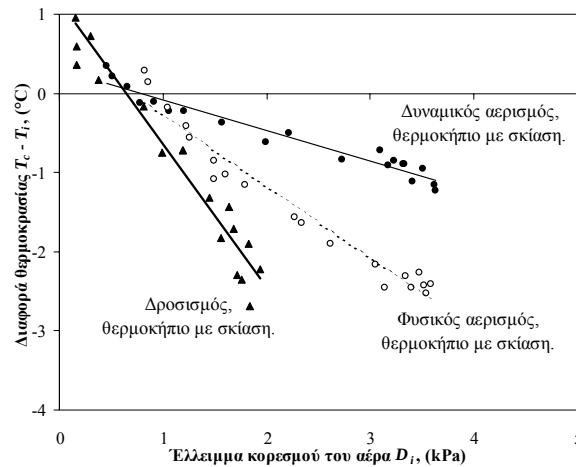
για φυσικό αερισμό, με τιμή για το συντελεστή προσδιορισμού R^2 0.96 και

$$\Delta T_c = 1.17 - 1.81 D_i \quad (3)$$

για δροσισμό, με τιμή για το συντελεστή προσδιορισμού R^2 0.92.

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των παραπάνω συστημάτων σχετικά με την επίδρασή τους στην υδατική

καταπόνηση της καλλιέργειας, αν ληφθεί υπόψη ότι η μεγαλύτερη κλίση αντιστοιχεί σε καλύτερη συμπεριφορά της καλλιέργειας.



Σχήμα 5. Διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα συναρτήσει του ελλείμματος κορεσμού του αέρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά την επίδραση του αερισμού, της σκίασης και του δροσισμού στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρήθηκε ότι:

- Ο φυσικός αερισμός δεν ήταν επαρκής για την ψύξη του θερμοκηπίου αφού κατά τη διάρκεια των περιόδων που χρησιμοποιήθηκε στο θερμοκήπιο, χωρίς άλλο σύστημα κλιματισμού, επικρατούσαν υψηλές τιμές θερμοκρασίας και χαμηλές τιμές υγρασίας.
- Η σκίαση μείωσε το φορτίο ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο και σε συνδυασμό με το φυσικό αερισμό οδήγησε σε μείωση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα.
- Η χρήση διαφορετικού τύπου αερισμού (φυσικός-δυναμικός) προκάλεσε σημαντικές διαφορές στο μικροκλίμα, αφού ο δυναμικός αερισμός είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός περισσότερο ομογενούς κλίματος σε κατακόρυφο επίπεδο ενώ επιπλέον, σε αντίθεση με το φυσικό αερισμό, ήταν δυνατό να προκαλεί αρκετά καλή ανάμιξη του αέρα στο θερμοκήπιο. Από την άλλη πλευρά, ο αέρας που περιέβαλε το κατώτερο στρώμα της καλλιέργειας ήταν ψυχρότερος και περισσότερο υγρός υπό συνθήκες φυσικού αερισμού.
- Ο δροσισμός του θερμοκηπίου με σύστημα τεχνητής ομίχλης προκάλεσε ταυτόχρονα σημαντική πτώση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα.

Συγκριτικά, ο αποτελεσματικότερος συνδυασμός για τη μείωση των ακραίων συνθηκών στο θερμοκήπιο ήταν το σύστημα δροσισμού σε συνδυασμό με τη σκίαση, ενώ ακολουθούν ο φυσικός αερισμός σε συνδυασμό με τη σκίαση και ο δυναμικός αερισμός σε συνδυασμό με τη σκίαση.

Τέλος, έγινε φανερό ότι ένας υψηλός ρυθμός αερισμού δεν είναι και υποχρεωτικά η καλύτερη λύση για την ανακούφιση του θερμοκηπίου και της καλλιέργειας από τις συνθήκες καταπόνησης κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών συνθηκών. Ο φυσικός αερισμός, όταν δεν περιορίζεται εξαιτίας των πολύ χαμηλών ταχυτήτων του εξωτερικού ανέμου, ίσως είναι πιο κατάλληλος για την αποφυγή συνθηκών καταπόνησης, καθώς δημιουργεί ένα περισσότερο υγρό και ψυχρό περιβάλλον γύρω από την καλλιέργεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Baille, A., 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Hortic.* 491. 37-47.
2. Baille, M., Mermier, M., Laury, J. C., Delmon, D., 1980. Le point sur les systèmes d'ombrage sous serre. *Internal Report M/801*. INRA, Station de Bioclimatologie d'Avignon, Montfavet, France.
3. Abreu, P. E., Meneses, J. F., 2000. Influence of soil covering, plastic ageing and roof whitening on climate and tomato crop response in an unheated plastic Mediterranean greenhouse. *Acta Hortic.* 534. 343-350.
4. Baille, A., Kittas, C., Katsoulas, N., 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agr. For. Meteorol.* 107 (4). 293-306.
5. Francescangeli, N., Ferratto, J., Rosania, A., Levit, C. H., 1994. Effect of bleaching, shading and water sprinkling on the cover in the temperature and other climatic parameters of greenhouse, in summer. *Acta Hortic.* 357. 268-268.
6. Miguel, A. F., Silva, A. M., Rosa, R., 1994. Solar irradiation inside a single span greenhouse with shading screens. *J. Agr. Engin. Res.* 59. 61-72.
7. Cohen, Y., Stanhill, G., Fuchs, M., 1983. An experimental comparison of evaporative cooling in a naturally ventilated greenhouse due to wetting the outer roof and inner crop soil surfaces. *Agr. Meteorol.* 28. 239-251.
8. Arbel, A., Yekutieli, O., Barak, M., 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouse. *J. Agr. Engin. Res.* 72. 129-136.
9. Κατσούλας, Ν., Λύκας, Χ., Γιαγλάρας, Π., Κίττας, Κ., 2000. Διαχείριση θρεπτικού διαλύματος σε κλειστό υδροπονικό σύστημα με καλλιέργεια τριανταφυλλιάς στη Μαγνησία. *Γεωργ. και Κτηνοτρ.* 6. 42-50.
10. Idso, S. B., Pinter, P. J., Reginato, R. J., 1990. Non-water-stressed baselines: the importance of site selection for air temperature and air vapour pressure deficit measurements. *Agr. For. Meteorol.* 53. 73-80.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ, ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ

N. Κατσούλας και Κ. Κίττας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία, Μαγνησία, nkatsoul@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η συγκριτική μελέτη της επίδρασης των διαφόρων συστημάτων ρύθμισης του κλίματος του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς και ιδιαίτερα στη διαπνοή, τη στοματική αγωγιμότητα και το δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας. Από τα αποτελέσματα έγινε φανερό ότι η χρήση του συστήματος τεχνητής ομίχλης μείωσε δραστικά το δείκτη υδατικής καταπόνησης και αύξησε σημαντικά τη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας.

Λέξεις κλειδιά: αερισμός, σκίαση, δροσισμός, διαπνοή, στοματική αγωγιμότητα.

COMPARATIVE STUDY OF THE INFLUENCE OF GREENHOUSE COOLING TECHNIQUES ON A GREENHOUSE ROSE CROP

N. Katsoulas and C. Kittas

University of Thessaly, Department of Agriculture Crop Production and Agricultural
Environment, Fytokou St., N. Ionia, GR-38446, Magnisia, Greece, nkatsoul@uth.gr

ABSTRACT

The aim of this work was to study the influence of greenhouse climate control systems on a rose crop during Mediterranean summer conditions. Special attention was devoted on crop transpiration rate, stomatal conductance and crop water stress index. The results showed that the use of the mist system reduced significantly the crop water stress index, increased the crop stomatal conductance while did not influenced significantly the crop transpiration rate.

Key words: ventilation, shading, misting, transpiration, crop water stress index.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαπνοή της καλλιέργειας, μέσα από τη διαδικασία της ψύξης με εξάτμιση, παίζει κυρίαρχο ρόλο στη δημιουργία του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Ο ρόλος αυτός της διαπνοής είναι ιδιαίτερα σημαντικός κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στις μεσογειακές χώρες, όπου τα φορτία ενέργειας που πρέπει να αφαιρεθούν από το θερμοκήπιο είναι πολύ μεγάλα. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα-τεχνικές που χρησιμοποιούνται προκειμένου να απομακρυνθούν τα επιπλέον φορτία ενέργειας από τα θερμοκήπια είναι ο αερισμός, ο δροσισμός και η σκίαση.

Ο φυσικός αερισμός είναι η συνήθης πρακτική, καθώς τα περισσότερα θερμοκήπια σήμερα διαθέτουν κάποιο σύστημα αερισμού [1], αλλά δεν είναι επαρκής. Ο δυναμικός αερισμός αποτελεί ένα από τα κυρίαρχα μέσα που διαθέτουν οι παραγωγοί των μεσογειακών χωρών προκειμένου να ελέγξουν το κλίμα του θερμοκηπίου, κάτι που εξηγεί και το αυξημένο ενδιαφέρον των ερευνητών για το θέμα αυτό [2, 3, 4, 5, 6].

Παρόλα αυτά και παρά τη σημαντική επίδραση του αερισμού στο θερμοκήπιο, λίγα είναι γνωστά σχετικά με την επίδραση του ρυθμού ανανέωσης του αέρα στη φυσιολογική συμπεριφορά της καλλιέργειας. Δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο με ποιο τρόπο επηρεάζεται και αντιδρά η καλλιέργεια στις αλλαγές της υγρασίας του αέρα, καθώς αυτή μεταβάλλεται από τον υψηλό ρυθμό ανανέωσης του αέρα. Όταν ο εξωτερικός αέρας είναι πολύ ξηρός, η είσοδός του στο θερμοκήπιο μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις υδατικής καταπόνησης, καθόσον η αύξηση της ξηρότητας του αέρα γύρω από την καλλιέργεια ίσως να μην μπορεί να αντισταθμιστεί με την απελευθέρωση ισόποσης λανθάνουσας ενέργειας από την καλλιέργεια, μέσω της διαπνοής. Αυτή η κατάσταση μπορεί να συμβεί ιδιαίτερα, όταν η καλλιέργεια διαπνέει ήδη με το μέγιστο ρυθμό, είτε λόγω μικρής φυλλικής επιφάνειας, είτε λόγω περιορισμένης ανάπτυξης του ριζικού συστήματος και μη ικανοποιητικής τροφοδοσίας σε νερό.

Μία άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται από τους παραγωγούς για τον έλεγχο του κλίματος του θερμοκηπίου είναι η σκίαση η οποία βρίσκει ευρεία εφαρμογή λόγω χαμηλού κόστους. Γενικά, οι περισσότεροι ερευνητές [7, 8, 9] αναφέρουν ότι η σκίαση κατά τη διάρκεια των περιόδων με υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας προκαλεί αύξηση και βελτίωση της παραγωγής. Παρά το γεγονός όμως της ευρείας χρήσης της σκίασης, πολύ λίγα είναι γνωστά σχετικά με την επίδραση της σκίασης στη φυσιολογική αντίδραση της καλλιέργειας και ειδικότερα στη στοματική της αγωγιμότητα.

Τέλος, ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για τη μείωση της θερμοκρασίας και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι η χρήση των συστημάτων ψύξης με εξάτμιση με τεχνητή ομίχλη ή με βρεγμένη παρειά [10]. Παρόλα αυτά, λίγα είναι γνωστά σχετικά με την επίδραση του συστήματος δροσισμού στη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η συγκριτική μελέτη της επίδρασης των πιο διαδεδομένων συστημάτων ρύθμισης του κλίματος του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στη συμπεριφορά καλλιέργειας τριανταφυλλιάς και ιδιαίτερα στη διαπνοή, στη στοματική αγωγιμότητα και στο δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

Τα πειράματα έγιναν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού των ετών 1998 και 1999 σε γυάλινο θερμοκήπιο έκτασης 200 m², στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο:

- με συστήματα φυσικού (παράθυρο οροφής ανοίγματος 26 m²) και δυναμικού (συνδυασμός 4 ανεμιστήρων συνολικής παροχής 16000 m³ h⁻¹ και παράθυρου οροφής) αερισμού. Με παράλληλη λειτουργία των ανεμιστήρων και του παραθύρου οροφής, ήταν δυνατό να επιτευχθούν 50 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα, ενώ με φυσικό αερισμό επιτυγχάνονταν, ανάλογα με την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, από 5 έως 30 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα.
- Με σύστημα δροσισμού τεχνητής ομίχλης υψηλής πίεσης με παροχή νερού 10⁻⁴ lit s⁻¹ m⁻² εδάφους του θερμοκηπίου.

Στο μέσο, περίπου, της περιόδου μετρήσεων κάθε έτους γινόταν σκίαση του θερμοκηπίου με άσπρισμα της οροφής του με διάλυμα ασβέστη πυκνότητας 8 kg CaO ανά 100 kg νερό.

Στο θερμοκήπιο υπήρχε υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς με πυκνότητα 6 φυτά/m², διαμορφωμένη με τη τεχνική του λυγίσματος των βλαστών.

2.2 Οι μετρήσεις

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν:

- Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου.
- Μέσα στο θερμοκήπιο: η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία, η καθαρή ακτινοβολία πάνω ($R_{n,a}$, W m⁻²) και κάτω ($R_{n,b}$, W m⁻²) από την καλλιέργεια (από τη διαφορά $R_{n,a} - R_{n,b}$ υπολογιζόταν η απορροφούμενη από την καλλιέργεια καθαρή ενέργεια $R_{n,int}$, W m⁻²), η θερμοκρασία της καλλιέργειας (T_c , °C) υπολογισμένη ως η μέση τιμή της θερμοκρασίας 7 φύλλων και η διαπνοή της καλλιέργειας (λE_c , W m⁻²).

2.3 Υπολογισμοί

Η στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας g_c (m s^{-1}) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$g_c = \frac{g_a g_t}{g_a - g_t} \quad (1)$$

όπου g_t και g_a η συνολική και η αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας, αντίστοιχα, οι οποίες υπολογίστηκαν από τις σχέσεις:

$$g_t = \frac{\lambda E_c \gamma}{\rho C_p D_c} \quad (2) \quad g_a = \frac{H_c}{\rho C_p \Delta T_c} \quad (3)$$

όπου: γ η ψυχομετρική σταθερά (kPa K^{-1}), ρ η πυκνότητα (kg m^{-3}) και C_p η ειδική θερμότητα του αέρα ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$), D_c το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα (kPa), ΔT_c η διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα και H_c η ροή αισθητής ενέργειας μεταξύ της καλλιέργειας και του αέρα και η οποία υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$H_c = R_{n,int} - \lambda E_c \quad (4)$$

Ο δείκτης υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας I_{CWS} υπολογίστηκε από τη σχέση [11]:

$$I_{CWS} = \frac{T_c - T_m}{T_M - T_m} \quad (5)$$

όπου: T_M και T_m είναι μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία αντίστοιχα που μπορεί να επιτευχθεί από την καλλιέργεια [12]. Ο δείκτης αυτός παίρνει τιμές από 0 έως 1, με την καλλιέργεια να βρίσκεται στη μέγιστη υδατική καταπόνηση όταν ο δείκτης παίρνει την τιμή 1.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή αφορούν τέσσερις αντιπροσωπευτικές ημέρες (με παρόμοιες εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας), περιόδων κατά τις οποίες ο κλιματισμός του θερμοκηπίου γινόταν: 1) με φυσικό αερισμό χωρίς σκίαση, 2) με φυσικό αερισμό και σκίαση, 3) με δυναμικό αερισμό και σκίαση και 4) με τεχνητή ομίχλη και σκίαση.

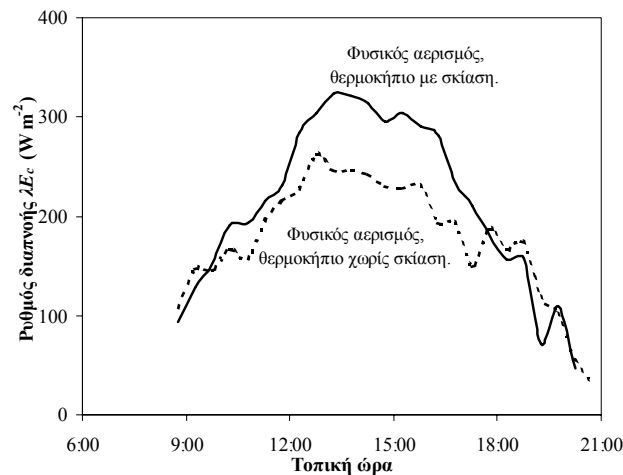
Οι μετρήσεις, έδωσαν τη δυνατότητα να διερευνηθεί η επίδραση της σκίασης, του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και του δροσισμού, στη διαπνοή λE_c , τη στοματική αγωγιμότητα g_c και το δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας I_{CWS} .

3.1 Επίδραση στη διαπνοή

Υπό συνθήκες φυσικού αερισμού, μετά το άσπρισμα της οροφής του θερμοκηπίου, παρατηρήθηκε αύξηση στο ρυθμό διαπνοής της καλλιέργειας περίπου 18%. Οι σημαντικότερες διαφορές παρατηρήθηκαν κυρίως κατά το θερμότερο διάστημα της ημέρας, από 10:00 έως 17:00 (Σχήμα 1).

Κατά την περίοδο όπου το θερμοκήπιο ήταν σκιασμένο, βρέθηκε ότι ο τρόπος αερισμού του θερμοκηπίου (φυσικός ή δυναμικός) δεν προκάλεσε διαφορές στο ρυθμό διαπνοής μεταξύ των δύο περιπτώσεων (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).

Τέλος, η χρήση του συστήματος δροσισμού προκάλεσε μία σχετικά μικρή μείωση της λE_c , περίπου 10 έως 15% σε ημερήσια βάση, σε σχέση με την περίπτωση του θερμοκηπίου με φυσικό αερισμό και σκίαση (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).



Σχήμα 1. Διαπνοή της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

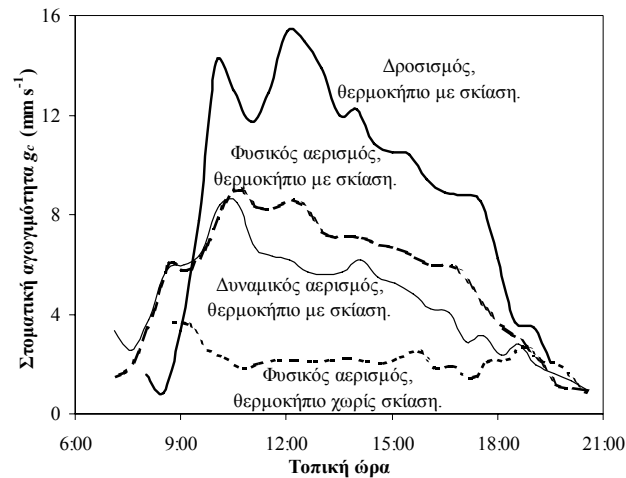
3.2 Επίδραση στη στοματική αγωγιμότητα

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της στοματικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας g_c κατά τη διάρκεια των τεσσάρων χαρακτηριστικών ημερών. Υπό συνθήκες φυσικού αερισμού και πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου η g_c έπαιρνε τη μέγιστη τιμή της νωρίς το πρωί (4 mm s⁻¹ στις 9:00) και στη συνέχεια μειώνονταν απότομα, μέχρι να πάρει δύο ώρες αργότερα, την τιμή των 2.5 mm s⁻¹. Μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου, η αρχική τιμή της αγωγιμότητας στις 9:00 το πρωί ήταν μεγαλύτερη (6 mm s⁻¹), ενώ το απόγευμα συνέχισε να κινείται στο όριο των 7 mm s⁻¹, παίρνοντας έτσι τιμές υπερδιπλάσιες σε σχέση με την περίοδο πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου.

Υπό συνθήκες σκίασης η g_c ήταν ελαφρά μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της περιόδου με φυσικό αερισμό από ότι την περίοδο με δυναμικό αερισμό. Και στις δύο περιπτώσεις, η μέγιστη τιμή της g_c (περίπου 9 mm s⁻¹) επιτυγχανόταν την ίδια ώρα, περίπου στις 10 το πρωί (Σχήμα 2).

Οι μεγαλύτερες τιμές της g_c παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου το σύστημα δροσισμού βρισκόταν σε λειτουργία (Σχήμα 2). Από τα

αποτελέσματα αυτά φαίνεται ότι η φυσιολογική κατάσταση της καλλιέργειας βελτιώθηκε σημαντικά.



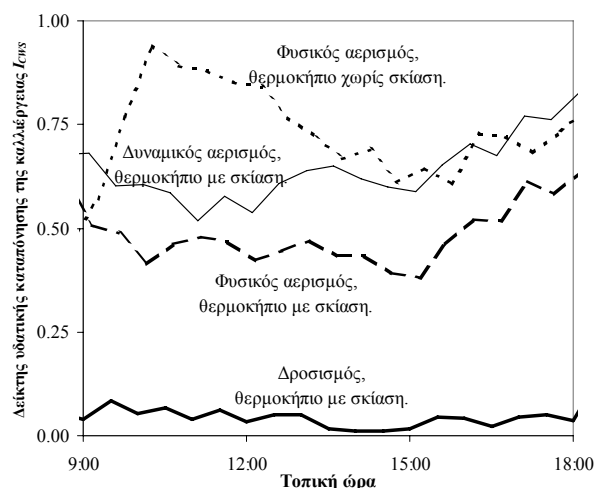
Σχήμα 2. Στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

3.3 Επίδραση στο δείκτη υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία του δείκτη υδατικής καταπόνησης I_{CWS} στις περιπτώσεις των τεσσάρων τεχνικών ρύθμισης του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Φαίνεται ότι η καλλιέργεια καταπονούνταν σημαντικά πριν το άσπρισμα του θερμοκηπίου, με τιμές του I_{CWS} κοντά ή και μεγαλύτερες από 0.9, κατά τη διάρκεια του πρωινού και μικρότερες, κοντά στο 0.7, κατά τη διάρκεια του απογεύματος. Μετά το άσπρισμα του θερμοκηπίου παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στο I_{CWS} , ο οποίος έπαιρνε τιμές από 0.4 έως 0.5.

Υπό συνθήκες σκίασης, σύμφωνα με τις τιμές του I_{CWS} , η καλλιέργεια καταπονούνταν περισσότερο υδατικά όταν ο αερισμός του θερμοκηπίου ήταν δυναμικός (I_{CWS} περίπου 0.6) και λιγότερο όταν ο αερισμός ήταν φυσικός.

Τέλος, η καλλιέργεια δε βρισκόταν υπό συνθήκες καταπόνησης όταν λειτουργούσε το σύστημα δροσισμού (I_{CWS} κοντά στο 0.1). Τα παραπάνω αποτελέσματα, όσον αφορά την υδατική καταπόνηση της καλλιέργειας, επιβεβαιώνονται και από τις τιμές της στοματικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας η οποία έπαιρνε, για τις αντίστοιχες περιόδους, ανάλογες τιμές.



Σχήμα 3. Δείκτης υδατικής καταπόνησης της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσον αφορά στην επίδραση του αερισμού, της σκίασης και του δροσισμού στο δείκτη υδατικής καταπόνησης I_{CWS} και τη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας g_c , παρατηρήθηκε ότι:

- Η χρήση του συστήματος τεχνητής ομίχλης μείωσε δραστικά το I_{CWS} και αύξησε σημαντικά τη g_c . Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέγιστη g_c παρατηρήθηκε κατά την περίοδο με το θερμοκήπιο σκιασμένο και το σύστημα δροσισμού σε λειτουργία.
- Η χρήση διαφορετικού τύπου αερισμού δεν προκάλεσε μεταβολή στο I_{CWS} αλλά ο υψηλός ρυθμός ανανέωσης του αέρα (δυναμικός αερισμός) συνετέλεσε στη μείωση της g_c .
- Η σκίαση του θερμοκηπίου οδήγησε σε μείωση του I_{CWS} και αύξηση της g_c .

Επιπλέον, η σημαντική αύξηση της g_c η οποία επιτεύχθηκε με τη χρήση του συστήματος τεχνητής ομίχλης επέτρεψε στη διαπνοή να παραμείνει σε παρόμοια επίπεδα σε σχέση με την περίπτωση του θερμοκηπίου με σκίαση και φυσικό αερισμό.

Οι τιμές της διαπνοής που επιτεύχθηκαν υπό συνθήκες σκίασης με φυσικό ή δυναμικό αερισμό, ήταν σχετικά κοντά. Αντίθετα, η σκίαση του θερμοκηπίου οδήγησε, σε αύξηση του ρυθμού διαπνοής της καλλιέργειας, σε σχέση με την περίπτωση του θερμοκηπίου χωρίς σκίαση με φυσικό αερισμό, αυξάνοντας έτσι τη διαδικασία της ψύξης στο θερμοκήπιο.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Boulard, T., Baille, A., 1995. Modelling of air exchange rate in a greenhouse equipped with continuous roof vents. *J. Agr. Engin. Res.* 61(1). 37-48.
2. Boulard, T., Meneses, J. F., Mermier, M., Papadakis, G., 1995. The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. *Agr. For. Meteorol.* 79. 61-77.
3. Wang, S., Deltour, J., 1996. An experimental ventilation function for large greenhouses based on a dynamic energy balance model. *J. Agr. Engin. Res.* 5(3&4). 103-112.
4. Kittas, C., Boulard, T., Papadakis, G., 1997. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: sensitivity to temperature and wind effects. *Trans. of the ASAE.* 40(2). 415-425.
5. Mistriotis, A., Bot, G. P. A., Picuno, P., Scarascia-Mugnozza, G., 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics. *Agr. For. Meteorol.* 85. 217-228.
6. Wang, S., 1998. Measurement and modeling of natural ventilation in a large Venlo-type greenhouse. *PhD Thesis*, Gembloux Agricultural Faculty, Belgium, 194 pp.
7. Smith, I. E., Savage, M. J., Mills, P. 1984. Shading effects on greenhouse tomatoes and cucumbers. *Acta Hortic.* 148. 491-500.
8. Cockshull, K. E., Graves, C. J., Cave, C. R. J., 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. of Hort. Sc.* 67. 1-24.
9. El Gizawy, A. M., Abdallah, M. M. F., Gomaa, H. M., Mohamed, S. S., 1993a. Effect of different shading levels on tomato plants. 2. Yield and fruit quality. *Acta Hortic.* 323. 349-354.
10. Cohen, Y., Stanhill, G., Fuchs, M., 1983. An experimental comparison of evaporative cooling in a naturally ventilated greenhouse due to wetting the outer roof and inner crop soil surfaces. *Agr. Meteorol.* 28. 239-251.
11. Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., Pinter, J. R., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Res.* 17. 1133-1138.
12. Katsoulas, N., A. Baille, Kittas, C., 2002. Influence of leaf area index on canopy energy partitioning and greenhouse cooling requirements. *Bios. Engin.* 83(3). 349-359.

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Ι.Χοτζακιάνης¹, Γ.Μαρτζόπουλος², Χ.Νικήτα-Μαρτζοπούλου³

¹Γεωπόνος, MSc, Διεύθυνση Γεωργίας Ν.Α. Ξάνθης

²Καθηγητής Τμ. Γεωπονίας Α.Π.Θ, Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

³Καθηγήτρια Τμ. Γεωπονίας Α.Π.Θ, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και
Εξοπλισμού

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ενεργειακό δυναμικό των γεωθερμικών ρευστών χρήζει μεγάλης σημασίας τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα. Στην εργασία που ακολουθεί παρουσιάζονται τρία συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (40°C) και μελετάται η θερμική απόδοσή τους. Τα συστήματα αυτά συνίστανται από ένα δίκτυο μαύρων σπирάλ αγωγών πολυπροπυλενίου Φ28. Η διαφορά των συστημάτων βρίσκεται στον τρόπο διάταξης των αγωγών PP (ενδοδαπέδια, επιδαπέδια, θέρμανση πάγκων). Τα αποτελέσματα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι με την ενδοδαπέδια τοποθέτηση των αγωγών επιτυγχάνεται η μέγιστη θερμική απόδοση του συστήματος θέρμανσης.

Λέξεις κλειδιά: γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας, συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων, θερμική απόδοση

HEATING GREENHOUSES WITH GEOTHERMAL ENERGY: CHOICE OF THE MOST APPROPRIATE HEATING SYSTEM

I. Hotzakianis¹, G. Martzopoulos², Ch. Nikita-Martzopoulou³

¹Agronomist, MSc, Department of Agriculture, Prefecture of Xanthi

²Professor in School of Agriculture A.U.TH., Lab. of Renewable Energy Sources

³Professor in School of Agriculture A.U.TH., Lab. of Agricultural Structures and
Equipment

ABSTRACT

The energy potential of geothermal fluids is of most significance in Greece during the last years. In the following paper there is a presentation of three greenhouse heating systems with geothermal energy of low enthalpy (40°C) and the study of their thermal efficiency. These systems are composed of a net of black corrugated polypropylene tubes Φ28. The difference between them is on the way the PP tubes are arranged into the greenhouse (under ground, on the ground, on benches). The results show that the maximum thermal efficiency is gained by using the “under ground” heating system.

Keywords: geothermal energy of low enthalpy, greenhouse heating system, thermal efficiency

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί θεαματική αύξηση στην καλλιέργεια λαχανικών και ανθοκομικών ειδών σε θερμοκήπια στην Ελλάδα αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Αιτία της προοδευτικής αυτής αύξησης των εκτάσεων που καλύπτονται από θερμοκηπιακές καλλιέργειες είναι η τάση προς εντατικοποίηση της γεωργικής παραγωγής και η προσπάθεια εκσυγχρονισμού της ώστε να καταστεί περισσότερο ανταγωνιστική και αποδοτική. Φυσικό επακόλουθο αυτής της τάσης είναι η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Ο σπουδαιότερος παράγοντας σε ό,τι αφορά την κατανάλωση ενέργειας σε ένα θερμοκήπιο είναι η θέρμανσή του. Το σχετικό ενεργειακό κόστος αντιστοιχεί στο 10–30% του συνολικού κόστους παραγωγής ετησίως. Το γεγονός αυτό έστρεψε το ενδιαφέρον των επιστημόνων στην εύρεση και χρήση άλλων μέσων θέρμανσης πλην των συμβατικών. Ως εναλλακτικά μέσα θέρμανσης των θερμοκηπίων θεωρούνται αυτά που προέρχονται από την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι η γεωθερμική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια και η βιομάζα [1,2].

2. Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ

Οι δυνατές χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών είναι πολλαπλές, καθοριστικός δε παράγοντας για την επιλογή των κατάλληλων χρήσεων κάθε γεωθερμικού ρευστού είναι η θερμοκρασία του [3].

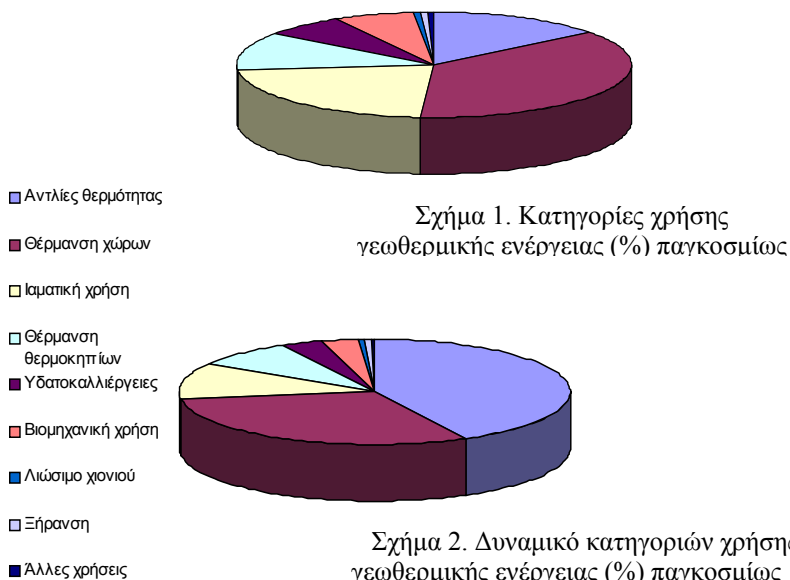
Σε ό,τι αφορά τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας, η συνηθέστερη μορφή εκμετάλλευσής τους είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αντίθεση με τα ρευστά μέσης και χαμηλής ενθαλπίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια σειρά διαφορετικών χρήσεων. Οι κατηγορίες χρήσης και το δυναμικό κάθε μιας από αυτές δίνονται παρακάτω (Σχ.1,2) [1].

Όπως προκύπτει από τις σχετικές έρευνες και μελέτες, η Ελλάδα εμφανίζεται ιδιαίτερα ευνοημένη στον τομέα της γεωθερμικής ενέργειας. Πολλές είναι οι περιοχές στις οποίες ο ορυκτός αυτός πλούτος αφθονεί. Μερικές από αυτές είναι η Ν.Απολλωνία, η Νιγρίτα, η Ν.Κεσσάνη, ο Λαγκαδάς, τα Ελαιοχώρια, το Εράσμιο κ.α. [4,5].

Μία από τις πλέον παραγωγικές κατευθύνσεις αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών είναι η θέρμανση θερμοκηπιακών μονάδων με κατάλληλα συστήματα διανομής του θερμού νερού και μετάδοσης της αποδιδόμενης θερμότητας. Αναλυτικότερα, η επιλογή του συστήματος θέρμανσης καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω παράγοντες [6,7]:

- I. Τον τύπο της θερμοκηπιακής καλλιέργειας–παραγωγής, εάν δηλαδή τα φυτά απαιτούν υψηλή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ή μόνο για κάποιους μήνες της χειμερινής περιόδου
- II. Το ρόλο του συστήματος θέρμανσης, εάν δηλαδή πρόκειται απλώς να βελτιώνει ή να ελέγχει πλήρως τη θερμοκρασία

- III. Τον τύπο της γεώτρησης-πηγής, εάν δηλαδή πρόκειται για αρτεσιανή ή το θερμό νερό αντλείται με τη βοήθεια ηλεκτροκίνητης αντλίας και
IV. Τη χημική σύσταση του γεωθερμικού ρευστού.



3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΡΕΥΣΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται πολύ εκτεταμένα στη γεωργική παραγωγή κατά τη θέρμανση θερμοκηπίων. Κάποιοι από τους λόγους που καθιστούν τη χρήση αυτή συμφέρουσα είναι οι εξής [7,8] :

- I. Υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ των γεωθερμικών πεδίων και των περιοχών που μπορούν να εγκατασταθούν τα θερμοκήπια
- II. Τα θερμοκήπια είναι ένας από τους σημαντικότερους «καταναλωτές» της ενέργειας που προέρχεται από τα χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικά ρευστά
- III. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι σχετικά απλά
- IV. Τα «γεωθερμικά» θερμοκήπια αποτελούν ανταγωνιστικά καλλιεργητικά συστήματα από οικονομικής απόψεως .

Από τα μέχρι πρόσφατα καταγεγραμμένα στοιχεία, ο αριθμός των στρεμμάτων των θερμοκηπίων που θερμαίνονται με γεωθερμική ενέργεια στην Ευρώπη ξεπερνά τις 3500. Στην Ελλάδα οι κυριότερες περιοχές που διαθέτουν θερμοκήπια που θερμαίνονται με γεωθερμική ενέργεια είναι η Νιγρίτα, το Σιδηρόκαστρο, ο Λαγκαδάς, η Νέα Απολλωνία, η Νέα Κεσσάνη, τα Ελαιοχώρια και άλλες [9].

4. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ Ν. ΑΠΟΛΛΩΝΙΑΣ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η Ν. Απολλωνία είναι μία αξιόλογη γεωθερμική περιοχή μεταξύ των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης, στην οποία έχουν εντοπιστεί σημαντικά «ρηχά» γεωθερμικά ρεζερβουάρ με νερά θερμοκρασίας 35-50 °C που έχουν πολύ καλή χημική σύσταση ώστε μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πόσιμα (Πίν.2). Τα γεωθερμικά πεδία που υπάρχουν στην περιοχή (Νέας Απολλωνίας, Λαγκαδά και Νυμφόπετρας) αξιοποιούνται ήδη στην καλλιέργεια ανθοκομικών και λαχανοκομικών ειδών εντός θερμοκηπίων [10,11].

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πεδίου Νέας Απολλωνίας

Θερμοκρασία (°C)	45 – 50
Παροχή (m ³ /h)	Βεβαιωμένη 200 Πιθανή
TDS (gr/l)	0.7 – 1.0

Στην περιοχή αυτή εκπονήθηκε μία μελέτη σχετικά με τη θερμική απόδοση των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των θερμοκηπίων. Η μελέτη διεξήχθη κατά την περίοδο Ιανουαρίου–Φεβρουαρίου του έτους 2000. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ήδη εγκατεστημένα ανθοκομικά θερμοκήπια.

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τρία απλά συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων με γεωθερμικό νερό χαμηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία 36–42°C, TDS ≈ 0.7–1gr/l). Το κοινό στοιχείο των τριών αυτών συστημάτων είναι το μέσο διανομής του θερμού νερού στο περιβάλλον του θερμοκηπίου που είναι μαύροι σωλήνες πολυπροπυλενίου (PP) κυματοειδούς επιφάνειας (σπирάλ) με εξωτερική διάμετρο 0.028m (Φ28). Τα συστήματα αυτά είναι τα εξής:

- I. Επιδαπέδια θέρμανση: αγωγοί PP, Φ28, κυματοειδούς επιφάνειας που τοποθετούνται κατά μήκος των σειρών καλλιέργειας των φυτών σε ελαφρώς υπερυψωμένη θέση (θερμοκήπιο τριαντάφυλλων).
- II. Ενδοδαπέδια θέρμανση: αγωγοί PP ίδιου τύπου επιφάνειας και ίσης διατομής με αυτούς του παραπάνω συστήματος που είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του δαπέδου σε βάθος 0.05m (θερμοκήπιο γλαστρικών ειδών στο δάπεδο).
- III. Θέρμανση πάγκων: σωλήνες ίδιοι με αυτούς των δύο παραπάνω συστημάτων οι οποίοι τοποθετούνται επάνω σε μεταλλικούς πάγκους καλλιέργειας φυτών (θερμοκήπιο γλαστρικών ειδών σε πάγκους).

Τα συστήματα αυτά είναι εγκατεστημένα σε ισάριθμα θερμοκήπια ανθοκομικών ειδών στην περιοχή της Νέας Απολλωνίας και αποτελούν τα συστήματα θέρμανσής τους. Οι διαστάσεις των θερμοκηπίων του πειράματος δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν.3) [12].

Ο σκοπός της εργασίας είναι ο υπολογισμός της θερμικής απόδοσης των τριών συστημάτων και η εκτίμηση του ποσοστού κάλυψης των θερμικών απαιτήσεων του κάθε θερμοκηπίου από το σύστημα θέρμανσής του. Με τον τρόπο αυτό

μελετάται η καταλληλότητα και η αποδοτικότητα των συστημάτων προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τους ερευνητές αλλά και για τους παραγωγούς που τα χρησιμοποιούν για τη θέρμανση των θερμοκηπίων τους .

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά μεγέθη των πειραματικών θερμοκηπίων

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΩΝ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΓΛΑΣΤΡΙΚΩΝ	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΠΑΓΚΟΥΣ
Μήκος , (m)	48	75	50
Πλάτος , (m)	52	39	39
Ύψος ορθοστάτη , (m)	2.60	2.60	2.60
Ύψος κορφιά , (m)	4.60	4.60	4.60
Έκταση καλυμμένου εδάφους , (m ²)	2496	2925	1950
Επιφάνεια καλύμματος , (m ²)	3235.2	3731	2581
Μήκος αγωγού θέρμανσης , (m)	11155 (PP) 432 (MET)	12168 (PP) 150 (PE)	18892 (PP) _{ΔΑΠ} 1995.5 (PP) _{ΠΑΓΚ}

5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Οι παράμετροι που κρίθηκε ότι σχετίζονται με την παρούσα πειραματική εργασία και ο τρόπος μέτρησης και καταγραφής των τιμών τους δίνονται παρακάτω :

- I. Εξωτερική θερμοκρασία
- II. Εσωτερική θερμοκρασία
- III. Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού από το θερμοκήπιο
- IV. Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του θερμού νερού από τους αγωγούς PP
- V. Θερμοκρασία διατέδου

5.1. Θερμοκήπιο τριαντάφυλλων

Η ενέργεια που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο με μεταφορά και ακτινοβολία υπολογίζεται από την εξίσωση [13,14]:

$$Q_{ΣΤ} = U \cdot A_{cv} \cdot (T_M - T_{ΕΣ}) + \sigma \cdot \epsilon \cdot A_r \cdot (T_M^4 - T_{ΕΣ}^4)$$

όπου, $Q_{ΣΤ}$: αποδιδόμενη από το σύστημα θερμότητα , (W)

U : συντελεστής θερμικής μεταφοράς του αγωγού , (W/m²K)

A_{cv} : επιφάνεια του αγωγού που συμμετέχει στη μετάδοση θερμότητας με μεταφορά , (m²) . Υπολογίζεται από τον τύπο $2\pi rL$.

T_M : μέση θερμοκρασία του αγωγού θέρμανσης , (K)

$T_{ΕΣ}$: θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου , (K)

σ : συντελεστής Stefan - Boltzman , 5.67×10^{-8} W/m²K⁴

ϵ :εκπεμπτικότητα του αγωγού. Λαμβάνεται ίση με 1.00 επειδή πρόκειται για μαύρη επιφάνεια

A_r : επιφάνεια του αγωγού που συμμετέχει στη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία , (m²).

Σημειώνεται ότι η κυματοειδής μορφή του αγωγού τού προσδίδει μεγαλύτερη ενεργό επιφάνεια (κατά τη μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά) κατά 83% σε σχέση με αγωγό λείας επιφάνειας. Οπότε ισχύει $1.83 \times A_{cv}$ [15].

Οι θερμικές απαιτήσεις ενός θερμοκηπίου υπολογίζονται από τις θερμικές απώλειες μέσω του υλικού κάλυψής του που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Η εκτίμηση των απωλειών γίνεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_{\text{ΑΠ}} = U \cdot A_c \cdot (T_{\text{ΕΣ}} - T_{\text{ΕΞ}})$$

όπου, $Q_{\text{ΑΠ}}$: θερμικές απώλειες (απαιτήσεις) του θερμοκηπίου, (W)

U : συντελεστής θερμικής μεταφοράς του υλικού κάλυψης, (W/m²K)

Για το γυαλί λαμβάνεται $U = 5.5$ W/m²K

A_c : συνολική επιφάνεια του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου, (m²)

$T_{\text{ΕΣ}}$: θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, (K)

$T_{\text{ΕΞ}}$: εξωτερική θερμοκρασία, (K)

Στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με τους εξής τρόπους:

1. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που είναι τοποθετημένοι επί της επιφάνειας του δαπέδου προς τον εσωτερικό αέρα του θερμοκηπίου, Q_{PP} .
2. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους μεταλλικούς αγωγούς που τοποθετούνται κατά μήκος της μιας πλευράς του θερμοκηπίου προς τον αέρα του θερμοκηπίου, Q_{MET} .

Ακολουθεί εκτίμηση των παραπάνω μεγεθών.

$$1. \quad Q_{\text{PP}} = U \cdot A_{cv} \cdot (T_M - T_{\text{ΕΣ}}) + \sigma \cdot \varepsilon \cdot A_r \cdot (T_M^4 - T_{\text{ΕΣ}}^4)$$

2. Για τους 6 μεταλλικούς αγωγούς που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της μιας πλευράς του θερμοκηπίου συνολικού μήκους 432m (6x72m) ισχύουν τα εξής:

$$Q_{\text{MET}} = U \cdot A_{cv} \cdot (T_M - T_{\text{ΕΣ}}) + \sigma \cdot \varepsilon \cdot A_r \cdot (T_M^4 - T_{\text{ΕΣ}}^4)$$

Τελικά η θερμότητα που παρέχεται στο θερμοκήπιο δίνεται από το άθροισμα

$$Q_{\text{ΣΤ}} = Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{PP}} + Q_{\text{MET}}$$

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου, $Q_{\text{ΑΠ}}$ γίνεται ως εξής:

$$Q_{\text{ΑΠ}} = U \cdot A_c \cdot (T_{\text{ΕΣ}} - T_{\text{ΕΞ}})$$

5.2. Θερμοκήπιο γλαστρικών

Στο θερμοκήπιο αυτό υπάρχουν αγωγοί πολυπροπυλενίου που είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του δαπέδου σε βάθος 5cm. Το δάπεδο είναι ένα μίγμα από άμμο και χαλίκι με ανώτερο στρώμα το χαλίκι. Κατά την επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων θεωρήθηκε ότι πρόκειται μόνο για στρώμα χαλικιού πάχους 5cm ώστε $K = 0.95$ W/mK, $U = K/L = 0.95/0.05 = 19$ W/m²K και $\varepsilon = 0.94$ [16,17].

Στο θερμοκήπιο υπάρχουν 78 βρόγχοι των 4 διαδρομών μήκους 159 m έκαστος, δηλαδή το συνολικό δίκτυο αγωγών PP έχει μήκος 12402 m. Επίσης υπάρχουν και δύο αγωγοί PE (Φ90) που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της μιας πλευράς του θερμοκηπίου και αποτελούν τους αγωγούς εισόδου και εξόδου του νερού στο θερμοκήπιο. Για τους αγωγούς αυτούς ισχύουν τα εξής: $U=10.3$ W/m²K και $\varepsilon=1$ [16,17]. Η μετάδοση της θερμότητας στο θερμοκήπιο αυτό γίνεται με τους εξής τρόπους:

2. Με αγωγή από τους σωλήνες PP που είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια του δαπέδου σε βάθος 5 cm προς αυτό, Q_{AG} .
3. Με μεταφορά και ακτινοβολία από το θερμαινόμενο δάπεδο προς τον εσωτερικό αέρα του θερμοκηπίου, $Q_{\Delta\Lambda\Pi}$.
4. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους αγωγούς PE προς τον αέρα του θερμοκηπίου, Q_{PE} .

Ακολουθεί εκτίμηση των παραπάνω μεγεθών.

5. Κατά τη μετάδοση της θερμότητας με αγωγιμότητα ισχύει ο νόμος του Fourier: $Q = A \cdot K \cdot \Delta T / L$,

$$Q_{AG} = A_{\delta\alpha\pi} \times K_{\delta\alpha\pi} \times (T_M - T_{\delta\alpha\pi}) / L_{\delta\alpha\pi}$$

6. Για τον υπολογισμό της θερμότητας που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία από το θερμαινόμενο δάπεδο, $Q_{\Delta\Lambda\Pi}$, ισχύουν τα εξής:

$$Q_{\Delta\Lambda\Pi} = U_{\delta\alpha\pi} \cdot A_{\delta\alpha\pi} \cdot (T_{\delta\alpha\pi} - T_{ΕΣ}) + \sigma \cdot \varepsilon_{\delta\alpha\pi} \cdot A_{\delta\alpha\pi} \cdot (T_{\delta\alpha\pi}^4 - T_{ΕΣ}^4)$$

7. Σχετικά με τη θερμότητα που αποδίδεται στον αέρα του θερμοκηπίου από τους 2 αγωγούς PE (Φ90) μήκους 75m έκαστος με ακτινοβολία και μεταφορά, Q_{PE} , ισχύουν τα εξής:

$$Q_{PE} = U \cdot A_{cv} \cdot (T_{PE} - T_{ΕΣ}) + \sigma \cdot \varepsilon \cdot A_f \cdot (T_{PE}^4 - T_{ΕΣ}^4)$$

Τελικά η θερμότητα που παρέχεται στο θερμοκήπιο, $Q_{ΣΤ}$, δίνεται από το άθροισμα:

$$Q_{ΣΤ} = Q_{TOTAL} = Q_{AG} + Q_{PE}$$

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου, $Q_{\Lambda\Pi}$, γίνεται ως εξής:

$$Q_{\Lambda\Pi} = U \cdot A_c \cdot (T_{ΕΣ} - T_{ΕΞ})$$

5.3 Θερμοκήπιο γλαστικών σε πάγκους

Στο θερμοκήπιο αυτό η κυκλοφορία του θερμού νερού γίνεται με δύο συστήματα σωληνώσεων διανομής νερού. Και στα δύο συστήματα οι σωλήνες είναι μαύροι σωλήνες πολυπροπυλενίου PP κυματοειδούς επιφάνειας με εξωτερική διάμετρο 28mm (Φ28). Η μετάδοση της θερμότητας στο θερμοκήπιο γίνεται με τους εξής τρόπους:

1. Με αγωγή από τους σωλήνες PP που είναι τοποθετημένοι υπό της επιφάνειας του εδάφους προς αυτό (1η κυκλοφορία του νερού), Q_{AG}
2. Με μεταφορά και ακτινοβολία από το θερμαινόμενο δάπεδο προς τον αέρα του θερμοκηπίου (1η κυκλοφορία του νερού), $Q_{\Delta\Lambda\Pi}$
3. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που τοποθετούνται επί της επιφάνειας του εδάφους προς τον αέρα του θερμοκηπίου (2η κυκλοφορία του νερού), $Q_{PP(\Delta\Lambda\Pi)}$
4. Με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που τοποθετούνται επί της επιφάνειας των πάγκων προς τον αέρα του θερμοκηπίου (1η κυκλοφορία του νερού), $Q_{PP(\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ})}$

Για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο, η συνολικά αποδιδόμενη θερμότητα από το σύστημα θέρμανσής του, $Q_{ΣΤ}$, είναι:

$$Q_{ΣΤ} = Q_{TOTAL} = Q_{AG} + Q_{PP(\Delta\Lambda\Pi)} + Q_{PP(\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ})}$$

Για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου, $Q_{\Lambda\Pi}$, ισχύουν τα εξής:

$$Q_{\Lambda\Pi} = U \cdot A_c \cdot (T_{ΕΣ} - T_{ΕΞ})$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών:

1. Κατά τη μετάδοση της θερμότητας με αγωγιμότητα ισχύει ο νόμος του Fourier: $Q = A \cdot K \cdot \Delta T / L$. Για τον υπολογισμό του Q_{AG} που είναι το ποσό της θερμότητας που αποδίδεται με αγωγιμότητα από τους σωλήνες PP στο δάπεδο, ισχύουν τα εξής:

$$Q_{AG} = A_{\delta\alpha\pi} \times K_{\delta\alpha\pi} \times (T_M - T_{\delta\alpha\pi}) / L_{\delta\alpha\pi}$$

2. Για τον υπολογισμό της θερμότητας που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία από το θερμαινόμενο δάπεδο προς τον αέρα του θερμοκηπίου, $Q_{\Delta\Delta\Pi}$, ισχύουν τα εξής:

$$Q_{\Delta\Delta\Pi} = U_{\delta\alpha\pi} \cdot A_{\delta\alpha\pi} \cdot (T_{\delta\alpha\pi} - T_{E\Sigma}) + \sigma \cdot \varepsilon_{\delta\alpha\pi} \cdot A_{\delta\alpha\pi} \cdot (T_{\delta\alpha\pi}^4 - T_{E\Sigma}^4)$$

Το ποσό της θερμότητας που υπολογίζεται με αυτό τον τρόπο εμπεριέχεται στο Q_{AG} και δεν λαμβάνεται ξανά στην εκτίμηση του Q_{TOTAL} .

3. Για τον υπολογισμό της θερμότητας που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που τοποθετούνται επί της επιφάνειας του δαπέδου προς τον αέρα του θερμοκηπίου, $Q_{PP(\Delta\Delta\Pi)}$, ισχύουν τα εξής:

$$Q_{PP(\Delta\Delta\Pi)} = U \cdot A_{cv} \cdot (T_M - T_{E\Sigma}) + \sigma \cdot \varepsilon \cdot A_r \cdot (T_M^4 - T_{E\Sigma}^4)$$

4. Σχετικά με τη θερμότητα που αποδίδεται με μεταφορά και ακτινοβολία από τους σωλήνες PP που βρίσκονται επάνω στους πάγκους προς τον αέρα του θερμοκηπίου επάνω από αυτούς, $Q_{PP(\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ})}$, ισχύουν τα εξής:

$$Q_{PP(\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ})} = U \cdot A_{cv} \cdot (T_M - T_{E\Sigma}) + \sigma \cdot \varepsilon \cdot A_r \cdot (T_M^4 - T_{E\Sigma}^4)$$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

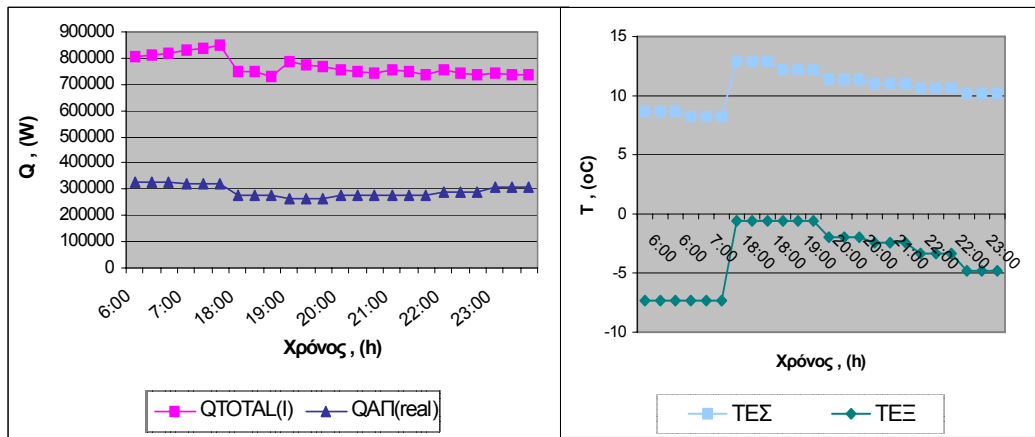
Τα τρία συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της θερμότητας στα θερμοκήπια χαρακτηρίζονται από ορισμένα στοιχεία ενώ ο τρόπος μετάδοσης της θερμότητας από αυτά διέπεται από κάποιους νόμους που έχουν αναφερθεί νωρίτερα.

Εξετάζοντας τα δεδομένα και τα αποτελέσματα από τη μελέτη της μετάδοσης θερμότητας από το σύστημα θέρμανσης του κάθε θερμοκηπίου προς το εσωτερικό του, προκύπτουν κάποια αριθμητικά στοιχεία που δίδονται και παριστάνονται γραφικά στα σχήματα που ακολουθούν [12,16]:

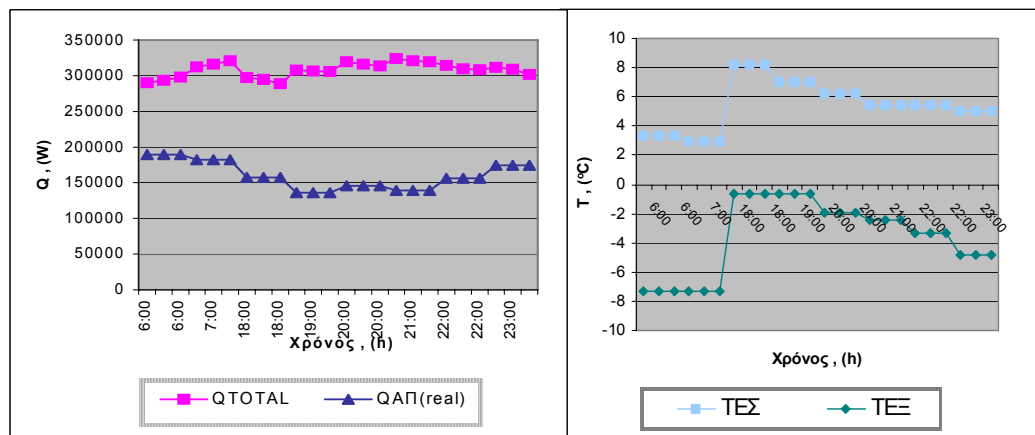
Τα στοιχεία που προκύπτουν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων οδηγούν στην εξαγωγή των παρακάτω σχέσεων [16,17]:

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος
$Q_{\Delta\Pi}$	$[Q_{\Gamma\Lambda}] > [Q_{\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ}}] > [Q_{\text{ΤΡ}}]$	$[Q_{\Gamma\Lambda}] > [Q_{\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ}}] > [Q_{\text{ΤΡ}}]$
Q_{TOTAL}	$[Q_{\Gamma\Lambda}] > [Q_{\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ}}] > [Q_{\text{ΤΡ}}]$	$[Q_{\Gamma\Lambda}] > [Q_{\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ}}] > [Q_{\text{ΤΡ}}]$
$T_{E\Sigma}$	$[T_{\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ}}] > [T_{\Gamma\Lambda}] > [T_{\text{ΤΡ}}]$	$[T_{\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ}}] > [T_{\Gamma\Lambda}] > [T_{\text{ΤΡ}}]$
$T_{E\Xi}$	$[T_{\Gamma\Lambda}] = [T_{\text{ΤΡ}}] < [T_{\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ}}]$	$[T_{\Gamma\Lambda}] = [T_{\text{ΤΡ}}] < [T_{\Pi\Lambda\Gamma\text{Κ}}]$

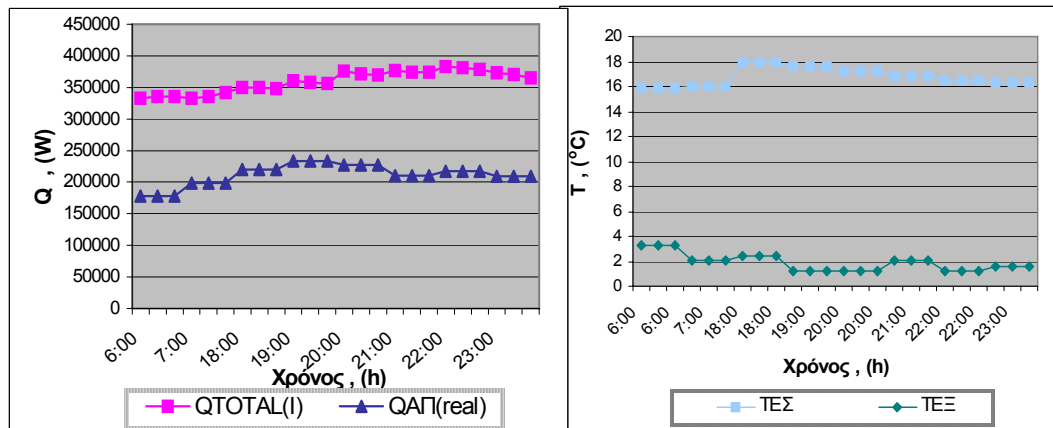
Από τις παραπάνω σχέσεις διαπιστώνεται ότι η αποδιδόμενη θερμότητα από το σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου γλαστρικών ειδών στο δάπεδο υπερτερεί έναντι των συστημάτων θέρμανσης στα άλλα δύο θερμοκήπια. Η ίδια σχέση ισχύει και για τις θερμικές απώλειες των τριών θερμοκηπίων. Επιπλέον, είναι εμφανές ότι η κατάσταση που επικρατεί στο θερμοκήπιο γλαστρικών στο δάπεδο είναι σαφώς καλύτερη από αυτήν του θερμοκηπίου τριαντάφυλλων. Όπως έχει αναφερθεί, τα δύο θερμοκήπια θερμαίνονται με γεωθερμικό νερό της ίδιας γεώτρησης το οποίο περνά πρώτα από το θερμοκήπιο γλαστρικών και μετά από το θερμοκήπιο τριαντάφυλλων. Κατά το πέρασμά του όμως παρατηρείται θερμική απώλεια της



Σχήμα 3. Διακύμανση του ποσού θερμότητας που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης και των απωλειών του θερμοκηπίου γλαστρικών



Σχήμα 4. Διακύμανση του ποσού θερμότητας που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης και των απωλειών του θερμοκηπίου τριαντάφυλων



Σχήμα 5. Διακύμανση του ποσού θερμότητας που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης και των απωλειών του θερμοκηπίου γλαστρικών σε πάγκους

τάξης των 4 –5° C. Αύξηση του μήκους του αγωγού θέρμανσης στο θερμοκήπιο τριαντάφυλλων ίσως να επέφερε σημαντική αύξηση της θερμικής απόδοσης του συστήματος θέρμανσης και της εσωτερικής θερμοκρασίας του θερμοκηπίου τριαντάφυλλων. Σε ό,τι αφορά το θερμοκήπιο γλαστρικών στους μεταλλικούς πάγκους, η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι ιδιαίτερα δύσκολη λόγω του μικρού μήκους αγωγού θέρμανσης που χρησιμοποιείται καθώς και της μικρής επιφάνειας καλλιέργειας συγκριτικά με τα άλλα δύο θερμοκήπια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Nikita–Martzopoulou, C., 2002. Agricultural Aspects of Geothermal Heating in Greenhouses. *Proc. of the International Course on Geothermal Energy for District Heating, Agricultural and Agro-Industrial Uses*, Thessaloniki, 95-111.
2. Kittas, K., Papadakis, G., Bartzanas, Th. and Giaglaras P., 1999. Renewable Energy Sources and Energy Saving in Mediterranean Greenhouses. *Proc. of Energy and Agriculture towards the Third Millennium*, Athens, 919-926.
3. Μαρτζόπουλος, Γ., 1989. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας σε θερμοκήπια στην Κεντρική Μακεδονία (Ελαιοχώρια, Λαγκαδάς, Νιγρίτα, Σιδηρόκαστρο). *Πρακτικά Εθνικού Συνεδρίου Εφαρμογών Γεωθερμίας*, Θεσσαλονίκη, 167-182.
4. Μαρτζόπουλος, Γ., 1993. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας : Τεχνολογικές Εφαρμογές στη Γεωργία*. Εκδόσεις Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
5. Φυτίκας, Μ., 1989. Γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα. *Πρακτικά Εθνικού Συνεδρίου Εφαρμογών Γεωθερμίας*, Θεσσαλονίκη, 135-147.
6. Popovski, K., 1990. Calculation of Greenhouse Heat Requirements. *Inter. Summer School*. Skopje, 171-182.
7. Popovski, K., 1990. Low - Temperature Installations for Heating Greenhouses. *Inter. Summer School*. Skopje, 183-208.
8. Campiotti, C. A., 1990. Basic Parameters for Geothermally Heated Greenhouses. *Inter. Summer School*. Skopje, 143-151.
9. Νικήτα–Μαρτζοπούλου, Χ., Μαρτζόπουλος, Γ. και Βασιλείου Ν., 1994. *Θερμοκήπια*. Εκδόσεις Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
10. Ε.Τ.Β.Α., 1996. *Επενδυτικός Οδηγός για την αξιοποίηση της Γεωθερμικής Ενέργειας σε παραγωγικές δραστηριότητες στην Ελλάδα*. Ε.Τ.Β.Α. Αθήνα.
11. Ε.Τ.Β.Α., 1995. *Ενημερωτικός Οδηγός για τις δυνατότητες αξιοποίησης της Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα*. Ε.Τ.Β.Α. Αθήνα.
12. Χοτζακιάνης, Ι., 2001. *Θερμική απόδοση τριών απλών συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων ανθοκομικών ειδών με γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας*. Master Thesis, Α.Π.Θ.
13. Albright, D. L., 1990. *Environment Control for Animals and Plants*. Cornell University. New York.
14. Nikita – Martzopoulou, C., 1990. Greenhouse heating systems with geothermal energy of low enthalpy in Greece. *Acta Horticulturae*. 263. 183-189.
15. Segal, I., Tal, A. and Steinfeld A., 1987. Utilization of thin wall plastic tubes as heat exchangers for geothermal water. *Proc. of the First Workshop of the CNRE on the Use of Geothermal Energy in Agriculture*, Skopje, 2-18.
16. Μαρτζόπουλος, Γ., Χοτζακιάνης, Ι. και Νικήτα–Μαρτζοπούλου, Χ., 2001. Απόδοση Γεωθερμικών Συστημάτων Θέρμανσης στα Θερμοκήπια. *Πρακτικά 14^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Επιχειρησιακής Έρευνας*, Ξάνθη.
17. Χοτζακιάνης, Ι., Μαρτζόπουλος, Γ. και Νικήτα–Μαρτζοπούλου, Χ., 2002. Η γεωθερμική ενέργεια ως μέσο θέρμανσης στα θερμοκήπια. *Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου*, Ξάνθη, 163-176.

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ CO₂ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Βαφειάδης, Δ., Νικήτα- Μαρτζοπούλου, Χ., Μαρτζόπουλος, Γ.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή διερευνά τις δυνατότητες, τους τρόπους και μεθόδους εμπλουτισμού με CO₂ σε θερμοκήπια στην Ελλάδα, έτσι ώστε να επιτευχθεί βελτίωση στην παραγωγή και εξοικονόμηση ενέργειας, ακόμη και κατά τις περιόδους που επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Από την έρευνα αυτή αποδείχθηκε ότι ο εμπλουτισμός του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου επιτυγχάνει: 1^ο καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, 2^ο ανάπτυξη της φυτικής μάζας έως και 40%, 3^ο μείωση της καλλιεργητικής περιόδου. Η μέγιστη θερμοκρασία για την αξιοποίηση του CO₂ στην ανάπτυξη των φυτών βρέθηκε ότι είναι 31°C.

ENRICHMENT OF GREENHOUSES WITH CO₂ IN CONDITIONS OF HIGH TEMPERATURES FOR ENERGY SAVING

Vafiadis, D., Nikita- Martzopoulou, Ch., Martzopoulos, G.

Department of Hydraulics, soil science and Agricultural Engineering
School of Agriculture, Aristotle University,
54006 Thessaloniki, Greece.

ABSTRACT

This work investigates the possibilities, the ways and methods of CO₂ enrichment in greenhouses in Greece, so as an improvement in the production and saving of energy to be achieved, even at the periods of prevailing high temperatures. The result of this research work concludes that the CO₂ enrichment of environment of greenhouse achieves: 1st. A better exploitation of solar energy, 2nd. An increase of the growth of plant mass up to 40%, 3rd. The reduction of cultivation period. The biggest temperature for the exploitation of CO₂ in the growth of plants was to be 31°C.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

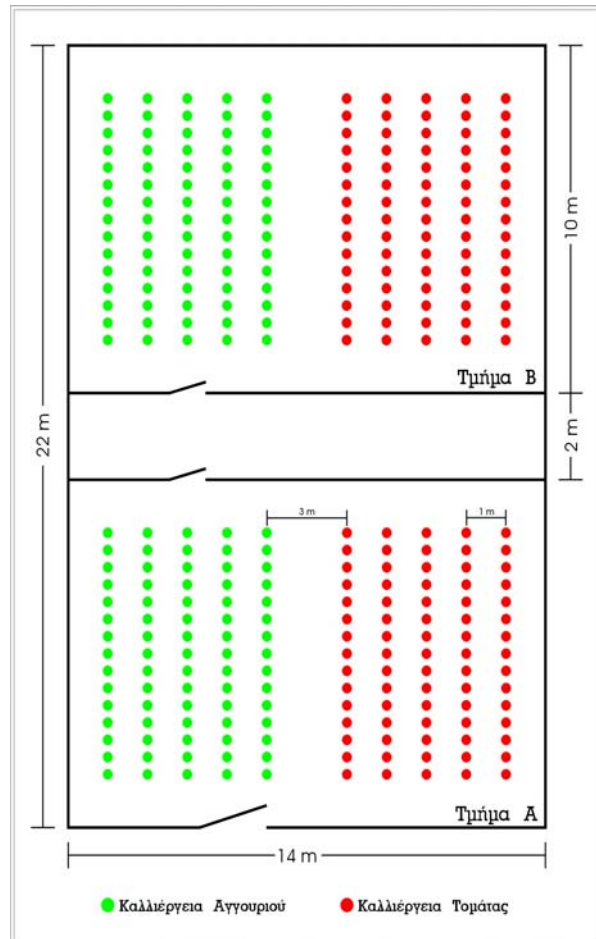
Τα θερμοκήπια θεωρούνται από τις πιο εντατικές επιχειρήσεις στη γεωργία και συμβάλουν σημαντικά στη διαμόρφωση του γεωργικού και εθνικού εισοδήματος. Από τα περίπου 40.000 στρέμματα που υπάρχουν σήμερα στην Ελλάδα το 75% βρίσκεται εγκατεστημένο σε περιοχές της Κρήτης, Πελοποννήσου, Αττικής, και νησιών του Νοτίου Αιγαίου, [1]. Οι περιοχές αυτές εμφανίζουν ήπιο κλίμα με μεγάλη ηλιοφάνεια κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Είναι περιοχές όπου το φθινόπωρο και την άνοιξη μέσα στα θερμοκήπια, χωρίς θέρμανση, επικρατούν θερμοκρασίες της τάξης των 18 °C ως 30 °C την ημέρα και 8 °C ως 15 °C τη νύχτα. Αυτό συνεπάγεται την αναγκαιότητα δροσισμού των θερμοκηπίων την ημέρα και θέρμανσης κατά τη διάρκεια της νύκτας, καθώς σχεδόν όλες οι καλλιέργειες έχουν optimum θερμοκρασίες ανάπτυξης που κυμαίνονται από 16 °C ως 25 °C. Από έρευνες που έγιναν σε καλλιέργειες που εμπλουτίζονταν με CO₂, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας είχε ευεργετικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, πειράματα με εμπλουτισμό σε καλλιέργειες αγγουριού και τομάτας (που έχουν optimum θερμοκρασία τους 23 °C) έδειξαν ότι υπήρχε κανονική ανάπτυξη ως τους 30 °C. Ο εμπλουτισμός δηλαδή με CO₂ είναι μια διαδικασία που βοηθάει στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας προς όφελος της παραγωγής. Επιπρόσθετα γίνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν απαιτείται η λειτουργία του συστήματος δυναμικού αερισμού για την ψύξη του θερμοκηπίου ή απαιτείται μικρότερο χρονικό διάστημα. Επίσης επιτυγχάνεται εξοικονόμηση καυσίμου και κατά τη διάρκεια της νύκτας καθώς απελευθερώνεται η θερμότητα που έχει αποταμιευτεί, δεδομένου ότι το θερμοκήπιο ενεργεί σαν ηλιακός συλλέκτης.

2. ΠΕΙΡΑΜΑ

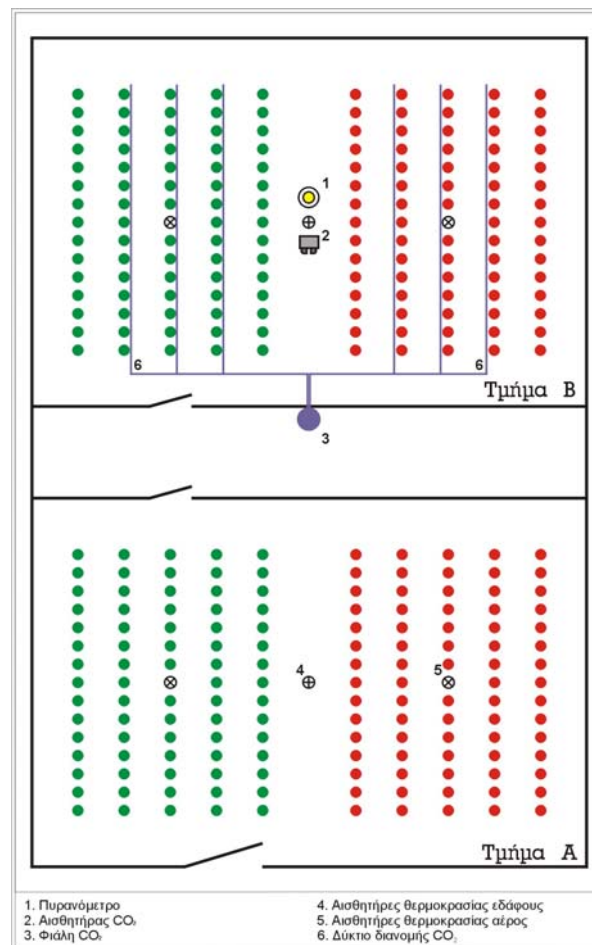
Στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ., στην περιοχή της Θέρμης και συγκεκριμένα στο Κέντρο Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών (Κ.Ε.Γ.Κ.) υπάρχουν πειραματικά θερμοκήπια. Ένα από τα οποία είναι ένα τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο με έκταση 280 m². Ο σκελετός του αποτελείται από γαλβανισμένο σίδερο και το υλικό κάλυψης είναι πολυαιθυλένιο (PE) χρώματος κίτρινο. Για το σκοπό του πειράματος το θερμοκήπιο χωρίστηκε κατά μήκος σε δύο ίσα τμήματα Α και Β με ενδιάμεσο διαχωριστικό τμήμα. Σε κάθε τμήμα φυτεύτηκαν από 75 αγγουριές και 75 τοματιές (σχήμα 1). Ο εμπλουτισμός γινόταν στο τμήμα Β με τη βοήθεια ενός δικτύου σωληνώσεων μέσα στις σειρές των φυτών και σε ύψος 0,5 m από το έδαφος. Οι σωληνώσεις είχαν στο κάτω μέρος ανά ένα μέτρο οπές. Το CO₂ προερχόταν από φιάλη που υπήρχε στο διαχωριστικό τμήμα. Ένας εκτονωτής πίεσης βοηθούσε στην ομαλή ροή του αερίου καθώς αυτό βρισκόταν υπό πίεση σε υγρή μορφή.

Για τον έλεγχο και την καταγραφή των δεδομένων στο τμήμα Β υπήρχαν 3 αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου PT-100, 2 αέρα και 1 εδάφους. Ένας αισθητήρας CO₂ (Double beam infrared CO₂ analyzer) και ένα πυρανόμετρο

τάξης Α. Στο τμήμα Α υπήρχαν 3 αισθητήρες θερμοκρασίας παρόμοιοι με το τμήμα Β (σχήμα 2). Έξω από το θερμοκήπιο λειτουργούσε ένας μετεωρολογικός σταθμός που κατέγραφε τη θερμοκρασία, υγρασία και ταχύτητα του αέρα καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία. Η συλλογή των μετρήσεων γινόταν σε καταγραφικό δεδομένων (datalogger) που ήταν online συνδεδεμένο με υπολογιστή στο Κ.Ε.Γ.Κ. Ο υπολογιστής είχε εγκατεστημένο λογισμικό που υποστήριζε τη λήψη και καταγραφή των δεδομένων.



Σχήμα 1. Διαστάσεις και χωρίσματα του θερμοκηπίου κάτοψη



Σχήμα 2. Οι θέσεις των αισθητήρων σε κάτοψη του θερμοκηπίου

Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες θερμοκρασίας καταγράφονταν ανά 10 λεπτά, του πυρανόμετρου ανά 5 λεπτά και του αισθητήρα CO₂ ανά 1 λεπτό. Το πρόγραμμα έδινε τη δυνατότητα παρακολούθησης των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο (real time), οπότε υπήρχε η δυνατότητα διακοπής του πειράματος σε περίπτωση που οι συνθήκες γίνονταν απαγορευτικές για την ανάπτυξη των φυτών. Η συλλογή των εξωτερικών καιρικών δεδομένων γινόταν από δεύτερο καταγραφικό που κατέληγε στον ίδιο υπολογιστή.

Η καλλιέργεια του αγγουριού και της τομάτας στον ίδιο χώρο είναι εφικτή καθώς ανήκουν στην κατηγορία των C₃ φυτών και έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε συνθήκες περιβάλλοντος. Οι καλλιέργειες αυτές επιλέχτηκαν διότι αποτελούν το 80% των θερμοκηπιακών κηπευτικών εκτάσεων στη χώρα μας, [1].

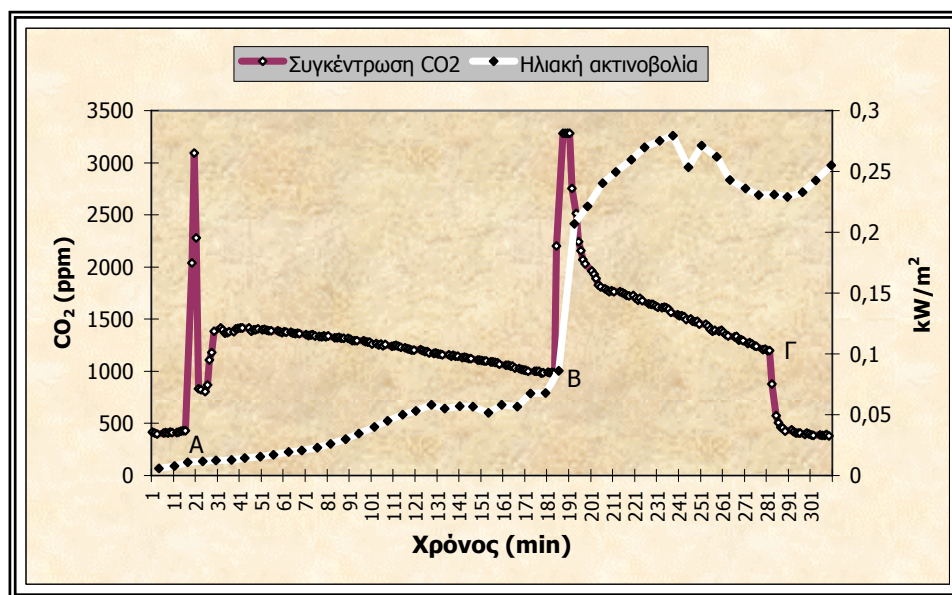
Προκειμένου οι οποιεσδήποτε διαφοροποιήσεις στην ανάπτυξη των φυτών να οφείλονται στον εμπλουτισμό, έγιναν προσπάθειες ώστε οι υπόλοιποι παράγοντες που την επηρεάζουν να μη διαφέρουν στα δύο τμήματα. Η εδαφολογική ανάλυση έδειξε ότι τα εδαφοτεμάχια δεν είχαν διαφορές μεταξύ τους. Η άρδευση και η λίπανση εφαρμόζονταν ταυτόχρονα και στα δύο τμήματα και σε ίδιες ποσότητες. Επίσης, οι καλλιεργητικές φροντίδες ήταν ίδιες για όλα τα φυτά.

Από τους διάφορους τρόπους εμπλουτισμού που υπάρχουν σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος, στο πείραμα εφαρμόστηκε ένας συνδυασμός της μεθόδου των ασυνεχών εμπλουτισμών και της μεθόδου αύξησης της θερμοκρασίας έναρξης του εξαερισμού. Οι δύο αυτές μέθοδοι θεωρούνται από τις πλέον κατάλληλες με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και περιγράφονται από διάφορους ερευνητές: [2-8].

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

3.1. Διαφοροποίηση στην ανάπτυξη των φυτών

Τα φυτά ανταποκρίνονταν άμεσα στον εμπλουτισμό καθώς απορροφούσαν το CO₂ ταχύτατα. Στο σχήμα 3 φαίνεται μία χαρακτηριστική καμπύλη απορρόφησης CO₂ με θερμοκρασία έναρξης εξαερισμού τους 31 °C.



Σχήμα 3. Παράδειγμα αποτελεσματικότητας δύο διαδοχικών πρωινών εμπλουτισμών από τις 6:48 ως τις 10:45. (Α) Έναρξη πρώτου εμπλουτισμού στις 7:00, θερμοκρασία: 14,5°C. (Β) Έναρξη δεύτερου εμπλουτισμού στις 9:09, θερμοκρασία: 24°C. (Γ) Αερισμός του θερμοκηπίου στις 10:25, θερμοκρασία: 31°C.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν την ανάπτυξη των φυτών πριν και μετά τους εμπλουτισμούς. Συγκεκριμένα:

✦ Για την καλλιέργεια της τομάτας:

Μετρήθηκαν τα ύψη των φυτών πριν την έναρξη των εμπλουτισμών καθώς και μετά τη λήξη τους. Οι τοματιές στο τμήμα Α αρχικά είχαν ένα ύψος κατά μέσο όρο 0.937 m και στο τμήμα Β, 0.945 m. Η διαφορά δηλαδή ήταν της τάξεως του 0.875%. Μετά τους εμπλουτισμούς το ύψος των φυτών στο τμήμα Α βρέθηκε 2.272 m κατά μ.ο. και στο τμήμα Β 2.478 m. Επομένως, υπήρχε μια διαφοροποίηση στα ύψη των φυτών κατά 9.09%. Για το στατιστικό έλεγχο των μετρήσεων έγινε σύγκριση των μέσων όρων του ύψους των φυτών τομάτας, στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου, μετά τους εμπλουτισμούς. Από την ανάλυση των παραλλακτικότητας των δειγμάτων και την εφαρμογή του κριτηρίου-F για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$, προέκυψε ότι οι παραλλακτικότητες των πληθυσμών από τους οποίους προήλθαν τα δείγματα είναι ίσες. Με χρήση της κατανομής t και το ίδιο επίπεδο σημαντικότητας, βρέθηκε ότι η διαφορά των μέσων όρων είναι στατιστικώς σημαντική. Από την εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας και στα υπόλοιπα αποτελέσματα του πειράματος, βρέθηκε ότι όλες οι διαφοροποιήσεις των φυτών ήταν στατιστικώς σημαντικές.

Εκτός από τα ύψη, μετά τους εμπλουτισμούς, μετρήθηκαν και οι περιμέτροι των κεντρικών βλαστών των τοματιών σε ύψος 10 cm από το έδαφος. Σύμφωνα με τις μετρήσεις, η περίμετρος των βλαστών των τοματιών στο τμήμα Α ήταν κατά μ.ο. 7.21 cm και στο τμήμα Β, 7.83 cm. Η διαφοροποίηση ανήλθε στο 8.67%.

✦ Για την καλλιέργεια του αγγουριού:

Στην καλλιέργεια του αγγουριού μετρήθηκαν επίσης τα ύψη των φυτών, όπως στην καλλιέργεια της τομάτας.

Μετά τους εμπλουτισμούς το ύψος των φυτών στο τμήμα Α ήταν 2.151 m κατά μ.ο. και στο τμήμα Β, 2.741 m. Η διαφορά στο ύψος δηλαδή ανήλθε στο 27.43%

Η δεύτερη μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στην καλλιέργεια του αγγουριού αφορούσε τις διαστάσεις των φύλλων. Μετρήθηκαν το μήκος και το πλάτος του πρώτου, δεύτερου και τρίτου φύλλου, από τη βάση των φυτών. Τα φύλλα του αγγουριού στο τμήμα Α παρουσίασαν κατά μέσο όρο μήκος 17.27 cm και πλάτος 18.99 cm. Τα αντίστοιχα στοιχεία στο τμήμα Β ήταν για το μήκος 21.98 cm και για το πλάτος 26.67 cm. Η διαφορά στο μήκος ανήλθε στο 27.28% και στο πλάτος στο 40.44%.

Στις αγγουριές έγινε επίσης μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η ταχύτητα ανάπτυξης των καρπών στο τμήμα Β συγκριτικά με το Α. Συγκεκριμένα, έγιναν μετρήσεις σε 10 φυτά των δύο τμημάτων. Σε κάθε φυτό αριθμήθηκαν τα γόνατα με αρχή από τη βάση. Οι παρατηρήσεις ξεκίνησαν στο μεσοδιάστημα των εμπλουτισμών για τα γόνατα 7 έως και 10. Οι καρποί αφαιρούνταν όταν έφταναν το μήκος των 25 cm και σημειωνόταν η ημερομηνία κοπής. Η σύγκριση γινόταν μεταξύ ίδιου αριθμού γονάτου και φυτού. Τελικά, από τη σύγκριση των ημερομηνιών κοπής προέκυψε ότι οι καρποί στο τμήμα Β

αποκτούσαν το εμπορεύσιμο μήκος των 25 cm από 8 έως και 14 μέρες νωρίτερα, από ότι στο τμήμα Α.

3.2. Διαφοροποίηση των θερμοκρασιών

Κατά τη διάρκεια των ημερών που το τμήμα Β εμπλουτίζονταν, η θερμοκρασία έναρξης του εξαερισμού του ήταν 30 °C, ενώ του τμήματος Α 23 °C με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη αποθήκευση θερμότητας στο τμήμα Β. Από μετρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της ίδιας νύκτας τα δύο τμήματα παρουσίαζαν σημαντικές διαφορές στις θερμοκρασίες τους. Συγκεκριμένα με τη δύση του ήλιου οι θερμοκρασίες εδάφους είχαν μια διαφορά της τάξεως των 5-6 °C και οι θερμοκρασίες αέρα 2-3 °C. Διαφορά στις θερμοκρασίες εδάφους υπήρχε καθ' όλη τη διάρκεια της νύκτας. Η ελάχιστη διαφορά ήταν 2°C πριν την ανατολή του ήλιου. Η θερμοκρασία αέρα στο τμήμα Α έπεφτε κάτω από τους 16 °C (που είναι η optimum θερμοκρασία ανάπτυξης νύκτας) 1-2 ώρες νωρίτερα απ'ότι στο τμήμα Β. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται εξοικονόμηση ενέργειας καθώς οποιοδήποτε σύστημα θέρμανσης λειτουργεί λιγότερες ώρες για τη διατήρηση των επιθυμητών επιπέδων θερμοκρασίας. Επίσης εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται και κατά τη διάρκεια της ημέρας από το σύστημα δυναμικού αερισμού ή δροσισμού δεδομένου ότι η θερμοκρασία έναρξης εξαερισμού είναι 30 °C.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η αποτελεσματικότητα του εμπλουτισμού αυξάνεται όταν συνδυαστεί με συστήματα αυτοματισμού καθώς αυξάνεται η χρονική διάρκεια εφαρμογής του.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο εμπλουτισμός των θερμοκηπίων με CO₂ αποδεικνύεται ότι συμβάλει στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Στο πειραματικό θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας τα φυτά στο τμήμα εμπλουτισμού είχαν καλύτερη ανάπτυξη (ύψος, μήκος και πλάτος φύλων) και μεγαλύτερη απόδοση όσον αφορά τη φυτική μάζα. Η διαφορά στην ανάπτυξη της καλλιέργειας της τομάτας ανήλθε στο 10% και της καλλιέργειας του αγγουριού κυμάνθηκε από 27 ως 40%. Επίσης στην καλλιέργεια του αγγουριού που εμπλουτίστηκε παρατηρήθηκε μείωση του χρόνου συγκομιδής από 8 ως 14 ημέρες. Τα φυτά απορροφούσαν το CO₂ και αναπτύσσονταν κανονικά μέχρι τους 31 °C.

Ένα δεύτερο φαινόμενο που παρατηρήθηκε είναι ότι κατά τη διάρκεια της νύκτας όταν την ημέρα γινόταν εμπλουτισμός, οι θερμοκρασίες μέσα και έξω από το θερμοκήπιο είχαν μεγαλύτερη διαφορά από ότι τις νύκτες που κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν εφαρμόζονταν εμπλουτισμός. Σημαντικές επίσης διαφορές στις θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύκτας εμφανίστηκαν μεταξύ των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου. Επιπλέον ο εμπλουτισμός στα θερμοκήπια έχει πολύ μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα όταν συνδυάζεται με συστήματα αυτοματισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργία, Κτηνοτροφία, 1999. Αφιέρωμα στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Αγρότυπος α.ε.. Τεύχος 9.
2. Hand, D.W. and R.W. Soffe, 1971. Light-modulated temperature control and the response of greenhouse tomatoes to different CO₂ regimes. J. Hort. Sci. 46:381-396.
3. Mathis, V. The effect of high day temperatures on new plantings of Forever Yours, Love Affair and Cara Mia roses. CO Flower Growers' Assoc. Res. Bull. 270:1-3, 1972.
4. Hanan, J.J. Ventilation temperatures, CO₂ levels and rose production. CO Flower Growers' Assoc. Res. Bull. 279:1-5, 1973.
5. Hand, D.W. Pruning CO₂ costs to maximize profits. The Grower(Supplement), 89-93. Feb. 17, 1983, 1983.
6. Enoch, H.Z. Carbon dioxide uptake efficiency in relation to crop-intercepted solar radiation. Acta Hort. 162:137-147, 1984.
7. Hand, D.W. and G. Slack. What price summer CO₂ enrichment? The Grower. 109:27-31, 1988.
8. Hanan J.J. Greenhouses, 1998. CRC Press, Boca Raton, FL.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟ

Ν. Οικονόμου και Γ. Λαμπρινός

Γ.Π.Α.-Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά οδός 75 11855 Αθήνα, τηλ: 20105294035, fax: 20105294032

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τη λειτουργία αντλίας θερμότητας σε πειραματικό χοιροστάσιο πάχυνσης 68 χοιριδίων, της περιοχής Αθηνών και η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας τόσο από πλευράς ικανοποίησης περιβαλλοντικών συνθηκών, όσο και από πλευράς τεχνοοικονομικής επένδυσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση λειτουργία της αντλίας θερμότητας κυμαίνεται μεταξύ 14,5 και 11 ωρών. Ο συντελεστής λειτουργίας της παραμένει υψηλός κυμαινόμενος μεταξύ 3,2 το θέρος και 3,5 το χειμώνα, η δε επιβάρυνση ανά Kg παραγομένου κρέατος ανέρχεται στο 60% της αντίστοιχης ενός συμβατικού συστήματος.

Λέξεις κλειδιά: Αντλία θερμότητας, κατανάλωση, κλιματισμός, χοιροστάσιο.

EXAMINATION OF THE POTENTIAL OF THE HEAT PUMP'S USE IN A PIGGERY

N. Economou and G. Lamprinos

AGRONOMIC UNIVERSITY OF ATHENS 75 Iera odos, Botanikos, 11855 Athens,
Greece tel: 2105294035, fax: 20105294032

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the results of the operation of a heat pump in an experimental fattening piggery of 68 piglets in Athens. The investigation of the heat pump's effectiveness concerns not only desirable satisfactory environmental conditions but also technical efficiency and economic results. The results showed that the mean operation time of the heat pump varies between 11 and 14.5 hours. The coefficient of performance remained high, between 3.2 in summer and 3.5, in winter, while the cost per Kg of meat produced is reduced to the 60% of the respective cost of a conventional air conditioning system.

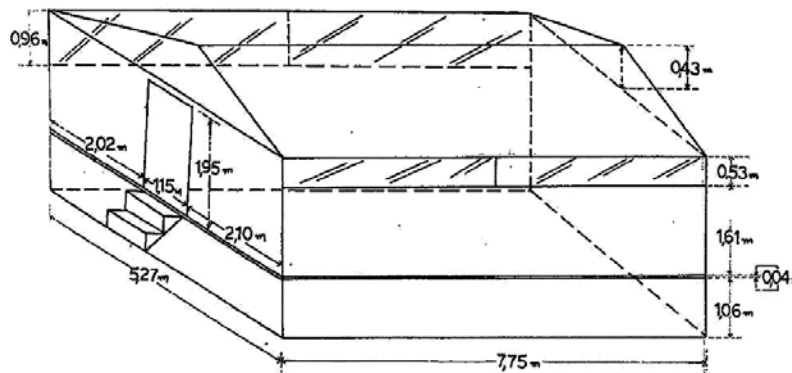
Keywords: Heat pump, consumption, air conditioning, piggery.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυξανόμενο κόστος της ενέργειας οδηγεί τους κτηνοτρόφους στη χρήση και εναλλακτικών μορφών ενέργειας, στις οποίες ανήκει και η αντλία θερμότητας. Σε πολλές χώρες της Ευρώπης χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια αντλίες θερμότητας για τη θέρμανση σταβλικών εγκαταστάσεων. Ως ψυχρή πηγή χρησιμοποιείται συνήθως ο φρεάτιος ορίζοντας, η υγρή κοπριά στα χαντάκια κάτω από τα κελιά των χοίρων, ο ανανεούμενος αέρας του στάβλου ή ο εξωτερικός αέρας του περιβάλλοντος, ο συντελεστής δε συμπεριφοράς κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4. Στο Βέλγιο, ήδη από τα μέσα της 10ετίας του 80 λειτουργούσαν 150 αντλίες θερμότητας για τη θέρμανση (66%) ή την αφύγρανση (34%) του χώρου στέγασης μικρών ζώων πάχυνσης [6]. Κατά την τελευταία δεκαετία επιχειρήθηκε στο Γ.Π.Α. η αξιολόγηση μιας αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα για θέρμανση-δροσισμό ενός πειραματικού χοιροστασίου προπάχυνσης. Οι συνθήκες οι οποίες επιζητήθηκε να ικανοποιηθούν ήταν οι κρίσιμες μεν $+11^{\circ}\text{C} \leq \Theta_{\text{kp}} \leq +30^{\circ}\text{C}$ και $50\% \leq \text{RH}_{\text{kp}} \leq 80\%$ [1], οι ευνοϊκές δε $+20^{\circ}\text{C} \leq \Theta_{\text{kp}} \leq +26^{\circ}\text{C}$ και $50\% \leq \text{RH}_{\text{kp}} \leq 70\%$ [2,4,5,8,9]. Αποτελέσματα αυτής της έρευνας παρουσιάζονται στην ανακοίνωση αυτή.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν είχαν σκοπό τη μελέτη της αποτελεσματικής λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας (Α.Θ.) σ' ένα πειραματικό χοιροστάσιο, το οποίο βρίσκεται στο χώρο του Γ.Π.Α. και ανήκει στον Τομέα Γ. Μηχανικής. Ο τύπος του χοιροστασίου ήταν «Χοιροστάσιο προπάχυνσης με δάπεδο πλήρως εσχαρωτό» (σχ. 1) και στεγάζει χοιρίδια προπάχυνσης μέγιστου βάρους 45 Kg. Ο αριθμός των θερμικά προσομοιωμένων χοιριδίων ήταν 68, ώστε σε κάθε χοιρίδιο να αναλογεί επιφάνεια $0,4 \text{ m}^2$.



Σχήμα 1. Μορφή και διαστάσεις πειραματικού χοιροστασίου.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται ο ισολογισμός των φορτίων του χοιροστασίου σε εικοσιτετράωρη βάση κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του χειμώνα, ενώ στον

πίνακα 2 παρουσιάζεται ο αντίστοιχος ισολογισμός του θέρους.

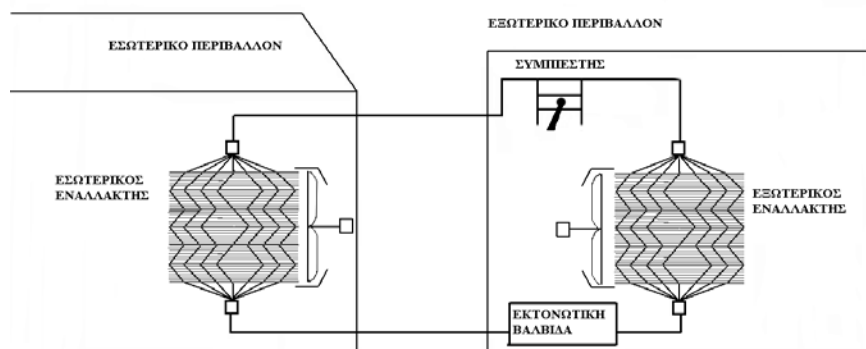
Η αντλία θερμότητας (σχ.2) η οποία χρησιμοποιήθηκε, ήταν το μοντέλο 007 της εταιρίας Interclima. Η εξωτερική μονάδα της απαρτιζόταν από το συμπιεστή, τον ηλεκτρικό κινητήρα του συμπιεστή, τον εξωτερικό εναλλάκτη (συμπυκνωτήρα ή εξατμιστήρα ανάλογα με την εποχή λειτουργίας), τον ηλεκτρικό κινητήρα του εναλλάκτη, τη βαλβίδα εκτόνωσης και τα απαραίτητα ηλεκτρικά κυκλώματα. Η εσωτερική μονάδα της αποτελούταν από τον εσωτερικό εναλλάκτη (εξατμιστήρα ή συμπυκνωτήρα ανάλογα με την εποχή λειτουργίας) και τον ηλεκτρικό του κινητήρα.

Πίνακας 1. Ισοζύγιο φορτίων της αντιπροσωπευτικής ημέρας του χειμώνα σε KW.

Πηγή εισερχόμενης θερμότητας	Εισερχόμενα ποσά θερμότητας (KW)	Πηγή εξερχόμενης θερμότητας	Εξερχόμενα ποσά θερμότητας (KW)
Χοίροι	8.2	Κατακόρυφες παρειές	4
Θέρμανση (Α.Θ.)	14.5	Στέγη	0.5
		Δάπεδο	3.2
		Αερισμός υγρασίας	14
		Εξάτμιση	1
<i>Σύνολο</i>	<i>22.7</i>	<i>Σύνολο</i>	<i>22.7</i>

Πίνακας 2. Ισοζύγιο φορτίων της αντιπροσωπευτικής ημέρας του θέρους σε KW.

Πηγή εισερχόμενης	Εισερχόμενα ποσά θερμότητας (kW)	Πηγή εξερχόμενης θερμότητας	Εξερχόμενα ποσά θερμότητας (KW)
Χοίροι	8.3	Δάπεδο	3.3
Κατακόρυφες	1.5	Εξάτμιση	1
Στέγη	0.2	Δροσισμός (Α.Θ.)	8.9
Αερισμός οσμών	3.2		
<i>Σύνολο</i>	<i>13.2</i>	<i>Σύνολο</i>	<i>13.2</i>

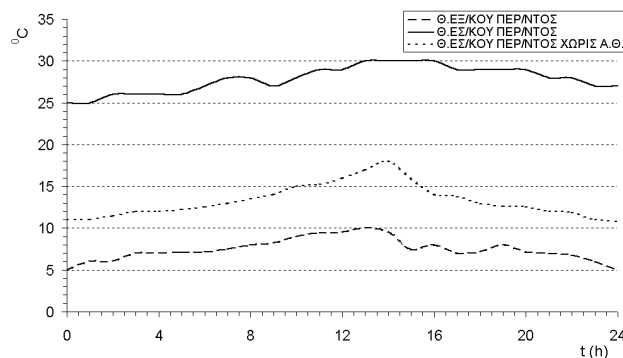


Σχήμα 2. Η αντλία θερμότητας.

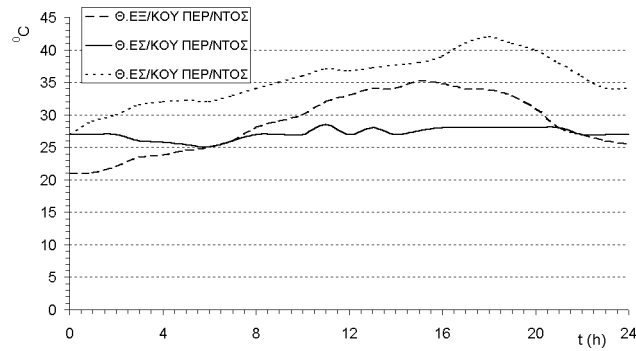
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τον καθορισμό της ημέρας διεξαγωγής του πειράματος, η επιλογή στηρίχθηκε στην εκλογή της αντιπροσωπευτικής ημέρας. Η αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε εποχής επιλέχτηκε με βάση τη μέση θερμοκρασία και τη μέση ακραία θερμοκρασία σε συνδυασμό με τη διαφορά μέγιστης και ελάχιστης της εποχής από στατιστικά δεδομένα των θερμοκρασιών της Αθήνας για τα έτη από το 1950 έως το 1976 [3]. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με βάση τις προβλέψεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας την προηγούμενη του πειράματος ημέρα. Έτσι λοιπόν, για τη περίοδο του χειμώνα η 29^η Δεκεμβρίου του έτους 1992 ήταν η πλέον αντιπροσωπευτική, ενώ για το θέρος η αντίστοιχη αντιπροσωπευτική ημέρα ήταν η 13^η Αυγούστου του έτους 1992. Πειράματα πραγματοποιήθηκαν και στις ενδιάμεσες εποχές (άνοιξη-φθινόπωρο), όμως η Α.Θ. λειτούργησε ελάχιστο χρόνο κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Η επιθυμητή θερμοκρασία των 26-27°C στο περιβάλλον του χοιροστασίου επιτυγχανόταν στο μεγαλύτερο μέρος του 24ώρου χωρίς τη λειτουργία της Α.Θ. Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται, για την περίοδο του χειμώνα, οι θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος, του εσωτερικού περιβάλλοντος (χοιροστάσιο) καθώς και η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος χωρίς χρήση της Α.Θ. ή άλλης θερμικής πηγής. Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται για την περίοδο του θέρους οι θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος, του εσωτερικού περιβάλλοντος (χοιροστάσιο), καθώς και τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος χωρίς δροσισμό.

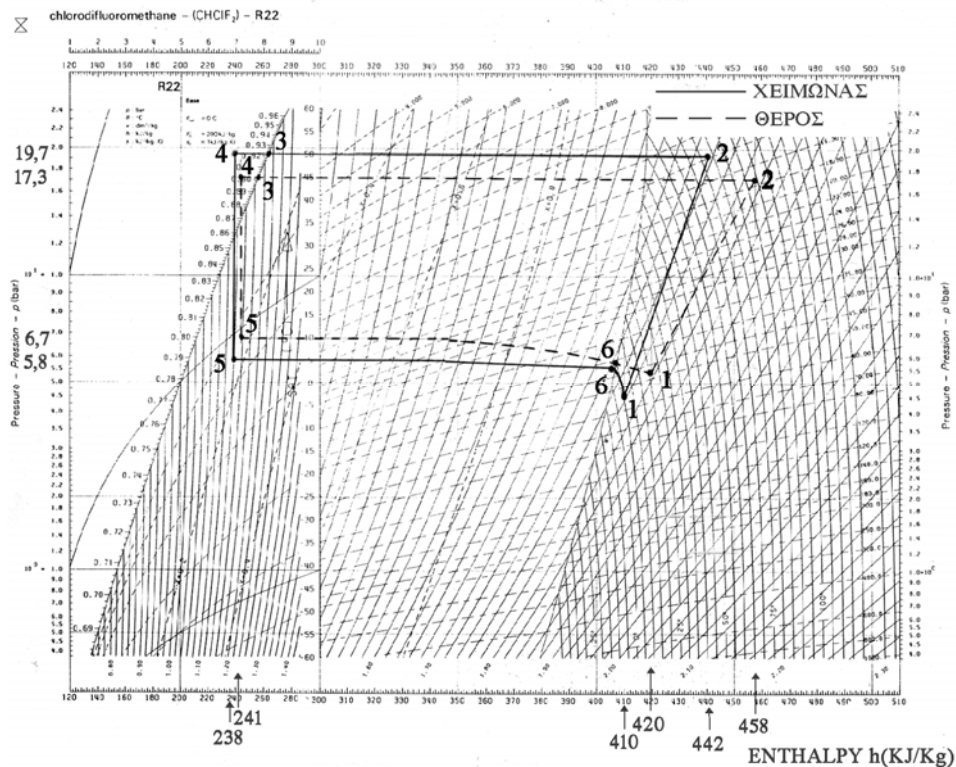
Με βάση τα πειραματικά δεδομένα που καταγράφηκαν κατά την λειτουργία της Α.Θ. χαράχθηκαν οι θερμοδυναμικοί (ψυκτικοί) κύκλοι τόσο για το χειμώνα όσο και για το θέρος (σχ.5), με κριτήριο τη μέση βαρυκεντρική διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ των δύο θερμικών πηγών, δηλαδή του συμπυκνωτήρα και του εξατμιστήρα.



Σχήμα 3. Θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος, και εσωτερικού περιβάλλοντος με και χωρίς χρήση Α.Θ., κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του χειμώνα.

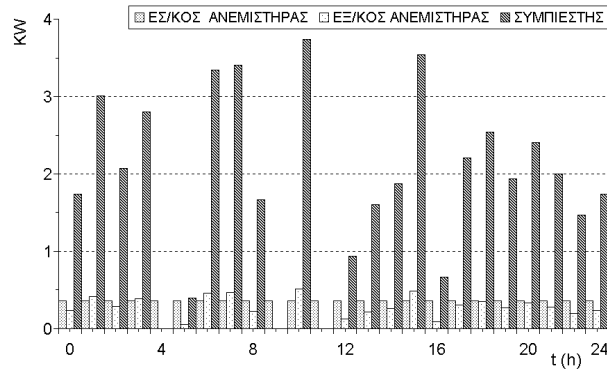


Σχήμα 4. Θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος, εσωτερικού περιβάλλοντος με και χωρίς χρήση Α.Θ., κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του θέρους.

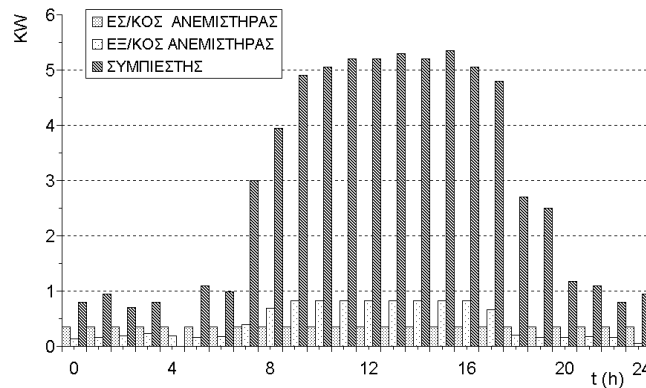


Σχήμα 5. Ο μέσος θερμοδυναμικός κύκλος χειμώνα (—) και θέρους (- - - -)

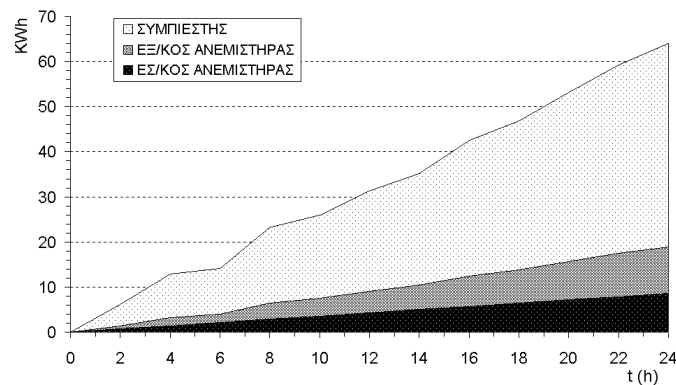
Στα σχήματα 6 και 7 παρουσιάζονται οι αναλυτικές ωριαίες καταναλώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα. Οι συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις της Α.Θ. για λειτουργία ενός εικοσιτετράωρου φαίνονται στα σχήματα 8 (χειμώνας) και 9 (θέρος)



Σχήμα 6. Αναλυτική ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του χειμώνα.



Σχήμα 7. Αναλυτική ανά ηλεκτροκινητήρα ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του θέρους.



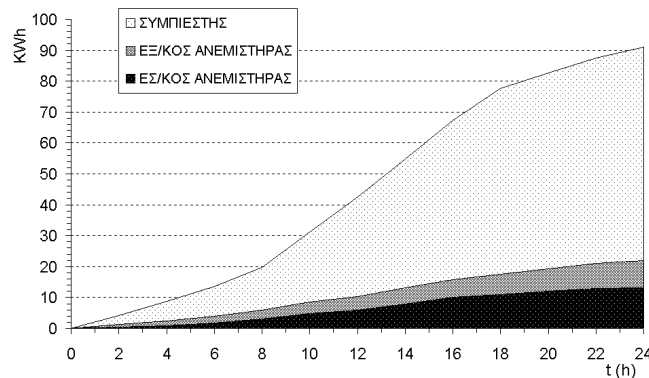
Σχήμα 8. Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του χειμώνα.

Ο συντελεστής ψυκτικής λειτουργίας (συμπεριφοράς) του θέρους κυμαίνεται από 2,80 έως 3,44 με επικρατούσα μέση τιμή 3,20. Ο συντελεστής θερμικής

λειτουργίας (συμπεριφοράς) του χειμώνα κυμαίνεται μεταξύ 3,00 και 4,47 με επικρατούσα μέση τιμή 3,53. Οι μέσες αυτές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς, είναι μεγαλύτερες των αντίστοιχων που απαντώνται στην Ευρώπη [6].

Οι υπολογισμοί ηλεκτρικής κατανάλωσης με βάση το μέσο θερμοδυναμικό κύκλο της Α.Θ. πρέπει να θεωρηθούν υπερεκτιμημένοι κατά 6~7% σε σχέση με τις καταγραφές ηλεκτρικής κατανάλωσης [7].

Συγκρίνοντας το συνολικό κόστος των διαφόρων τύπων κλιματισμού έχουμε, για μεν την αντλία θερμότητας 1114 €, για δε το συνδυασμό ηλεκτρικών θερμαστών και εξατμιστικού πλαισίου δροσισμού 1690 € (πίν.3). Το κόστος ανά ώρα λειτουργίας είναι: α) αντλία θερμότητας 0,48 € και β) θερμάστρες-εξατμιστικό πλαίσιο 0,72 €. Έτσι λοιπόν, για ετήσια παραγωγή κρέατος 10.200Kg το κόστος επιβάρυνσης ανά Kg κρέατος, θα ανέρχεται στην πρώτη περίπτωση της χρήσης 0,11 €/Kg και στη δεύτερη εξεταζόμενη περίπτωση 0,165 €/Kg.



Σχήμα 9. Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της Α.Θ. κατά την αντιπροσωπευτική ημέρα του θέρους.

Πίνακας 3. Υπολογισμός ετήσιου κόστους χρήσης (σε €) της αντλίας θερμότητας σε σύγκριση με ολοκληρωμένο σύστημα θέρμανσης (ηλ. Θερμάστρες) – δροσισμού (εξάτμισης).

Είδος κλιματισμού Είδος επιβάρυνσης	Αντλία θερμότητας	Ηλεκτρικές Θερμάστρες	Δροσισμός με εξατμιστικά πλαίσια
Απόσβεση	293	39	205
Τόκος επενδεδυμένου καφαλαίου	70	1,6	49
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	663	1183	148
Κόστος συντήρησης	88	3	61
Σύνολα	1114	1227	463

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας, μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

Η μέγιστη λειτουργία της Α.Θ. το θέρος ανέρχεται σε 14,5 ώρες, ενώ το χειμώνα περιορίζεται σε 11 περίπου ώρες.

Ο μέσος συντελεστής λειτουργίας κυμαίνεται μεταξύ 3,53 (χειμώνα) και 3,20 (θέρος).

Η τεχνικοοικονομική εκτίμηση δίνει για μεν το κλασσικό σύστημα θέρμανσης (ηλεκτρικές θερμάστρες) συνεπικουρούμενου το θέρος με σύστημα δροσισμού (εξατμιστικός δροσισμός) κόστος υψηλότερο κατά 50% ανά Kg παραγόμενου κρέατος σε σύγκριση με σύστημα κλιματισμού με Α.Θ. (θέρμανση και ψύξη).

Ο συνδυασμός ηλεκτρικών θερμαστρών και εξατμιστικού πλαισίου αφ' ενός μεν επιβαρύνει περισσότερο το μοναδιαίο κόστος, αφετέρου δε αδυνατεί να δώσει πλήρη λύση το θέρος. Επιπλέον, ένα μέρος της απόσβεσης της Α.Θ. που θα χρησιμοποιηθεί για κλιματισμό της κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης, μπορεί να μετακυληθεί σε παράλληλη ξήρανση ζωοτροφών (καρποί ή χόρτα) κατά τις ενδιάμεσες περιόδους που δε χρησιμοποιείται η Α.Θ. Χρήσιμη επομένως θα ήταν η μελέτη μιας εγκατάστασης θέρμανσης – ψύξης – ξήρανσης σε κτηνοτροφική μονάδα κυρίως ως προς το τεχνικοοικονομικό μέρος της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Black, J.L., Bray, H.J., Giles, L.R., 1999. *A Quantitative Biology of the Pig*. In Kyriazakis, I. (Ed). CABI Publishing. New York..
2. Ekkel, D.,E., Hans, A.M., Spooler, I.H., Hopster, H., 2002. Lying characteristics as determinants for space requirements in pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 80. 19-30.
3. Κουρεμένος, Δ., Αντωνόπουλος, Κ., 1984. *Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά 35 Ελληνικών πόλεων*. Φοίβος Β. Σελλούντος & ΣΙΑ. Αθήνα.
4. Κυρίτσης, Σ., Παναγάκης, Π., 1999. *Χοιροστάσια*, Γ.Π.Α. Αθήνα.
5. Lebre, B., Massabie, P., Granier, R., Juin, H., Mourot, J., Chevillon, P., 2002. Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of dry-cured hams. *Meat Science*. 62. 447-455.
6. Neukermans, G., Van Der Biest and Debruyckere, M., 1984. Evaluation des applications de la pompe a chaleur dans les batiments d' elevation. *Proc. Of the Int. Commission of agricultural Engineering*, vol.4, Budapest, Hungary, 26-35.
7. Οικονόμου, Ν., 2002. *Ενεργειακή και οικονομική διερεύνηση της χρήσης αντλίας θερμότητας σε χοιροστάσιο*. Μεταπτυχιακή διατριβή. Γ.Π.Α. Αθήνα.
8. Pond, W. G., Maner, J. H., 1974. *Swine Production in Temperate and Tropical Enviroments*. W. H. Freeman and company. U.S.A.
9. Riva, G., Pedretti, Es. F., Fabbri, C., 2000. Utilization of a Heat Pump in Pig Breeding for Energy Saving and Climate and Ammonia Control. *J.Agric. Engng Res*. 77 (4). 449-455.