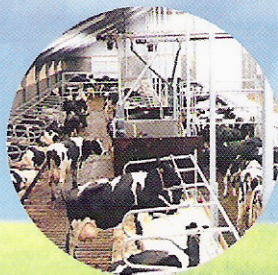


4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

6 - 8 Οκτωβρίου 2005



ΠΡΑΚΤΙΚΑ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΛΗΨΕΩΝ



ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ε.Γ.Μ.Ε.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

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

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

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

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

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2005

Καθηγητής Γρηγ. Π. Λαμπρινός

Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή

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

Επιστημονική Επιτροπή

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

Ευχαριστίες

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

Γρ. Λαμπρινός
Πρόεδρος ΕΓΜΕ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΣΗΓΗΤΩΝ

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

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ	
Θ. Μπαρτζάνας, Κ. Κίττας.....	1
ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL	
Μ. Σουλιώτης, Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος, Α. Καυγά.....	10
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΧΤΥΩΝ ΕΝΤΟΜΟΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΡΥΘΜΟ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	
Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας.....	19
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΧΑΜΗΛΩΝ ΤΟΥΝΕΛ ΜΕ ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ ΦΥΛΛΑ ΚΑΛΥΨΗΣ	
Δημήτρης Μπριασούλης.....	28
ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	
Νικόλαος Κατσούλας, Κωνσταντίνος Κίττας.....	38
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΥΡΒΗΣ.	
Α. Σαπουνάς, Θ. Μπαρτζάνας, Χ. Νικήτα – Μαρτζοπούλου, Κ. Κίττας.....	48
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΟΛΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	
Ν. Οικονόμου, Γρ. Λαμπρινός.....	57
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΡΠΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ	
Π. Μαλέτσικα, Χ. Παπαϊωάννου, Α. Σιώμος, Κ. Κίττας.....	65

ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

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

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

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΩΝ	
Ταμβακίδης Στέλιος, Κουκλίδης Χαράλαμπος, Μαρτζόπουλος Γεράσιμος.....	194
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ CO ₂	
Βαφειάδης Δ., Κωτσόπουλος Θ., Νικήτα- Μαρτζοπούλου Χ.....	203
ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΩΝ	
Χρυσοβαλάντου Λαμνάτου, Γεώργιος Παπαδάκης, Στυλιανός Ροζάκης.....	211
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΤΟΥ Η ₂ ΩΣ ΜΕΣΟ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
Γ. Κυριακαράκος, Γ. Παπαδάκης.....	220
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΩΣΜΩΣΗΣ	
Essam Sh. Mohamed, Γ. Παπαδάκης, Ε. Μαθιουλάκης, Β. Μπελεσιώτης.....	231
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΑΠΟ ΛΥΜΑΤΑ ΑΓΕΛΑΔΩΝ	
Κωτσόπουλος Θ., Βαφειάδης Δ., Μαρτζόπουλος Γ.....	240
ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΥΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ-ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	
Γ. Κυριακαράκος, Γ. Παπαδάκης.....	248
ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ	
Λουκία Γερονικολού, Σπύρος Κυρίτσης.....	258
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΑΔΙΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	
Λ. Γερονικολού, Ν. Δαναλάτος, Σ. Αρχοντούλης, Γ. Παπαδάκης.....	268
ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	
Γ. Λύχνος, Γ. Λαμπρινός, Μ. Μ. Vahdati.....	279
Ο ΝΟΜΟΣ 3175/2003 ΩΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	

A. Στοϊμενίδης, Γ. Μαρτζόπουλος.....	289
--------------------------------------	-----

ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ- ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ - ΑΣΦΑΛΕΙΑ

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

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

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 6:

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΣΕ ΕΙΣΟΔΟ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑ	
Δ. Μπόχτης, Σ. Βουγιούκας, Κ. Ακριτίδης.....	489
ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΚΛΥΟΜΕΝΟ CO ₂ , ΜΗΛΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΘΗΚΑΝ ΣΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	
Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός.....	499
ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΟΥ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΑΚΧΑΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA.	
Δ. Μητρόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου, Γρ. Λαμπρινός.....	508
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΟΜΜΕΝΟΥ ΕΤΟΙΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ	
Ι. Μαρίτσα, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Λαμπρινός.....	516
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΗΛΩΝ DELICIOUS PILAFA ΚΑΙ GRANNY SMITH ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥΣ.	
Δ. Μητρόπουλος, Γρ. Λαμπρινός, Ε. Αραβαντινός.....	526
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΥΚΩΝ ΣΕ ΜΟΝΗ ΣΤΡΩΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	
Γ. Ξανθόπουλος, Ν. Οικονόμου, Ε. Μανωλοπούλου, Γρ. Λαμπρινός.....	535
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΜΩΛΩΠΙΣΜΟ ΤΡΙΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΜΗΛΩΝ	545
Χ. Παπαϊωάννου, Μ. Κόκκορα, Π. Ντιούδης, Ι. Κόκκορας.....	
ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΛΩΡΙΟΥΧΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΕ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΨΥΞΗ ΠΙΠΕΡΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	
Α. Κουφάκη, Ε. Μανωλοπούλου.....	552
Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΑΝΤΑΡΙΝΙΟΥ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ “ENCORE”	
Γ. Λύχκος, Γ. Λαμπρινός, Ε. Μανωλοπούλου, Ι. Συκιώτης.....	561
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ	

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

ΕΝΟΤΗΤΑ 7^η ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

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

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

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

Θ.Μπαρτζάνας και Κ.Κίττας

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

EFFECT OF VENT TYPE ON GREENHOUSE MICROCLIMATE DURING DEHUMIDIFICATION

T. Bartzanas and C. Kittas

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

ABSTRACT

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

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας επηρεάζουν την αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών κυρίως λόγω της δημιουργίας ευνοϊκών συνθηκών για την εμφάνιση και ταχεία εξάπλωση μυκητολογικών ασθενειών [9] καθώς οι περισσότεροι μύκητες απαιτούν μια υγρή επιφάνεια να περιβάλει τα σπόρια τους, έτσι ώστε αυτά να αναπτυχθούν. Η υψηλή υγρασία μπορεί να προκαλέσει μείωση της διαπνοής και φυσιολογικές ανωμαλίες όπως νεκρώσεις φύλλων και τροφопενίες ασβεστίου [10], ενώ επηρεάζει σημαντικά και την ποιότητα και εμπορική αξία των προϊόντων μετά τη συγκομιδή [11].

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

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

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Μαθηματικό προσομοίωμα

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

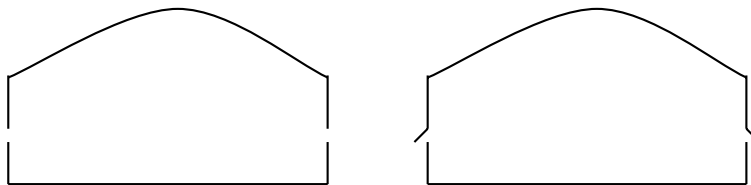
$$\frac{\partial(U\Phi)}{\partial x} + \frac{\partial(V\Phi)}{\partial y} + \frac{\partial(W\Phi)}{\partial z} = \Gamma \nabla^2 \Phi + S_\Phi \quad (1)$$

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 [15] ενώ η επίδραση εξωτερικών παραγόντων στη ροή, όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία, και η θερμοκρασία, ενσωματώνονται στις αντίστοιχες οριακές συνθήκες. Η τυρβώδης δυναμική περιγράφεται με το standard $k - \epsilon$ προσομοίωμα τύρβης [16]. Η καλλιέργεια προσομοιώθηκε ως πορώδες υλικό σύμφωνα με την εξίσωση των Darcy – Forchheimer [17], ενώ για την υγρασία χρησιμοποιήθηκε το species-model. Αναλυτική περιγραφή του αριθμητικού προσομοιώματος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία δίνεται από τους Bartzanas et al. [8]

2.2 Επιβεβαίωση του αριθμητικού προσομοιώματος και εξεταζόμενοι τύποι ανοιγμάτων αερισμού

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

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



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

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

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

Πίνακας 1. Οριακές συνθήκες.

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

Για την ενεργειακή αξιολόγηση των δύο διαφορετικών τύπων ανοιγμάτων αερισμού υπολογίστηκαν οι ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας που ανταλλάσσονταν μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης καθώς και ο λόγος της λανθάνουσας προς την αισθητή θερμότητα ο οποίος αποτελεί και δείκτη ενεργειακής αξιολόγησης ενός συστήματος αφύγρανσης [18]. Η αισθητή θερμότητα, Q_{sen} σε Wm⁻², που χάνεται κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού (T_i σε °C) και εξωτερικού αέρα (T_o σε °C) και το ρυθμό ανανέωσης του αέρα (G σε m³ s⁻¹ m⁻²) και υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση:

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

όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg m⁻³ και C_p είναι η ειδική θερμότητα του αέρα σε J kg⁻¹ K⁻¹.

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

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

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

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

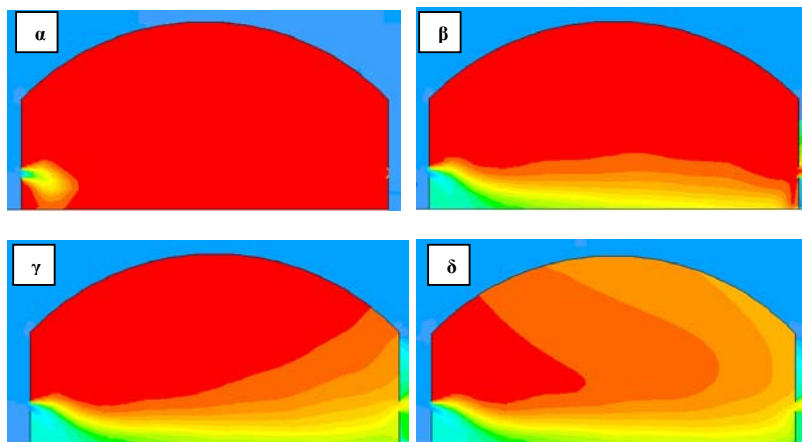
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού

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

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

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

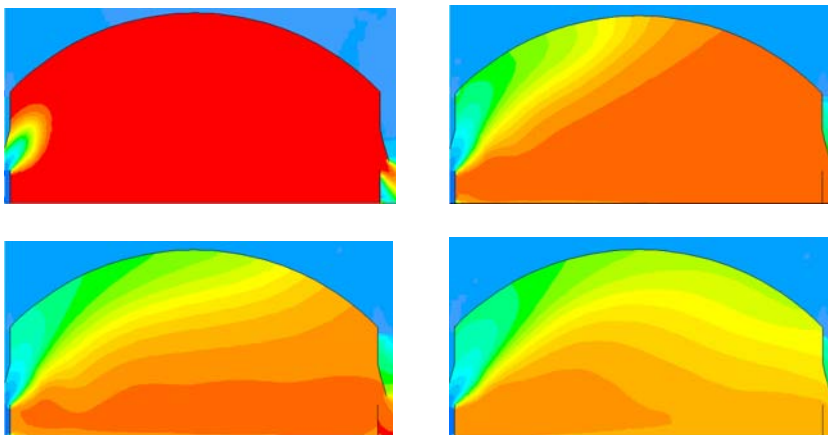


Σχήμα 2. Μεταβολή της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό θερμοκηπίου με κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού σε διάφορες χρονικές στιγμές (time-steps). $\alpha = 10\text{s}$, $\beta = 20\text{s}$, $\gamma = 30\text{s}$, $\delta = 40\text{s}$

3.2 Παράθυρα αερισμού ανοιγόμενα υπό γωνία προς την κατακόρυφο

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

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



Σχήμα 3. Μεταβολή της σχετική υγρασίας στο εσωτερικό θερμοκηπίου με παράθυρα αερισμού ανοιγόμενα υπό γωνία με την κατακόρυφο σε διάφορες χρονικές στιγμές (time-steps). $\alpha = 10s$, $\beta = 20s$, $\gamma = 30s$, $\delta = 40s$

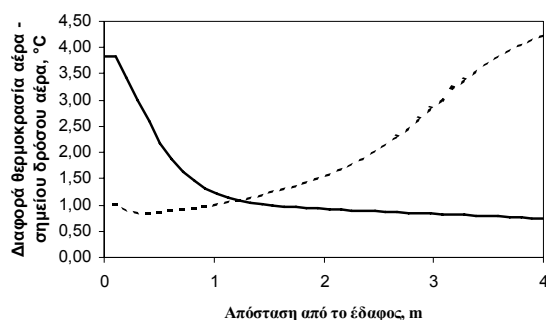
Και σε αυτήν την εξεταζόμενη περίπτωση η μεταβολή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι ποιοτικά παρόμοια με αυτήν της υγρασίας. Σε κατακόρυφο επίπεδο στο μέσο του θερμοκηπίου η θερμοκρασία του αέρα παραμένει σταθερή σε ένα ύψος έως και 3m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ πάνω από αυτό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

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Baille, A., 2004. Requirements and constraints in designing Mediterranean greenhouses. *CIGR congress* “New trends in Farm Buildings”, Evora, Portugal.
- 2 Wang, S., 1998. Measurement and modeling of natural ventilation in a large venlo-type greenhouse. *PhD Dissertation* 193pp
- 3 Kittas, C., Boulard, T., Bartzanas, T., Katsoulas, N., Mermier, M. 2002. Influence of an insect screen on greenhouse ventilation. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1083-1090
- 4 Shilo, E., Teitel, M., Mahrer, Y., Boulard, T., 2004. Air-flow patterns and heat fluxes in roof-ventilated multi-span greenhouse with insect-proof screens. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122(1-2), 3-20
- 5 Boulard, T.; Papadakis, G., Kittas, C. and Mermier, M., 1997. Air flow and associated sensible heat exchanges in a naturally ventilated greenhouse. *Agric. For. Meteorol.* 88, 111-119.
- 6 Boulard, T., Wang, S. and Haxaire, R., 2000. Mean and turbulent air flows and microclimate patterns in an empty greenhouse tunnel. *Agric. For. Meteorol.* 100, 169 – 181.
- 7 Mistriotis, A., Bot, G., P., A., Picuno, P. and Scarascia, Mugnozza, G., 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computational fluid dynamics. *Agric. For. Meteorol.* 85, 317-328.
- 8 Bartzanas, T., Kittas, C. and Boulard, T., 2004. Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse. *Biosystems Engineering* 88 (4): 479-490.
- 9 Hand, D.W., 1988. Effects of atmospheric humidity on greenhouse crops. *Acta Horticulturae* 229:143-158.
- 10 Bakker, R., 1984. Physiological disorders in cucumber under high humidities conditions and low ventilation rates in greenhouses. *Acta Horticulturae*, 156: 257-164
- 11 Mortensen, L.M., 1986. Effect of relative humidity on growth and flowering of some greenhouse plants. *Scientia Horticulturae* 29:301-307
- 12 Peiper U.M., Levav N., Geoola F., Seginer I., 1987. Experimental evaluation and mathematical model of an hygroscopic greenhouse dehumidifier, *Final Research Report. BARD Project I39082*, Bet-Dagan, Israel 1987
- 13 Boulard, T., Baille, A., Lagier, J., Mermier, M., Vanderschmitt, E., 1989. Water vapour transfer in a plastic house equipped with a dehumidification heat pump. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44: 191-204
- 14 De Hallauxe, D. and Gauthier, L., 1998. Energy consumption due to dehumidification of greenhouses under Northern latitudes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 69: 35–42
- 15 Patankar, S., V., 1980. Numerical heat transfer. *Hemisphere*, Washington
- 16 Launder, B., E. and Spalding, D., B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Comp. Meth. App. Mech Eng.* 3, 269-289.
- 17 Fluent, 1998. FLUENT, v.5. Fluent Europe Ltd, Sheffield, UK.
- 18 Boulard, T., Baille, A. Les Fortes Hygrométries sous serre. Conséquences sur les cultures et solutions techniques pour leur contrôle. Inra Station de Bioclimatologie d’Avignon, 1989.

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

Μ. Σουλιώτης¹, Ι. Τρυπαναγνωστόπουλος¹ και Α. Καυγά²

¹Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26504, Ρίο Πάτρας

Τηλ./Fax: 2610 997472, e-mail: msouliot@physics.upatras.gr

²Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών και Ανθοκομίας, ΤΕΙ Μεσολογγίου,
30200, Μεσολόγγι, Τηλ.: 26310 58234, e-mail: akavga@tei.mes.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

IRRADIATION AND HEATING CONTROL IN GREENHOUSES USING FRESNEL LENSES

M. Souliotis¹, Y. Tripanagnostopoulos¹ and A. Kavga²

¹Physics Department, University of Patras, 26504, Rio Patras, Greece

Tel./Fax: +302610 997472, e-mail: msouliot@physics.upatras.gr

²Department of Greenhouse Crops and Floriculture, Technical Education Institute of
Messolonghi, 30200, Messolonghi, Greece
Tel.: +3026310 58234, e-mail: akavga@tei.mes.gr

ABSTRACT

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

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

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

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

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

2. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

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

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

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

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

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

3. ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

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

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

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

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

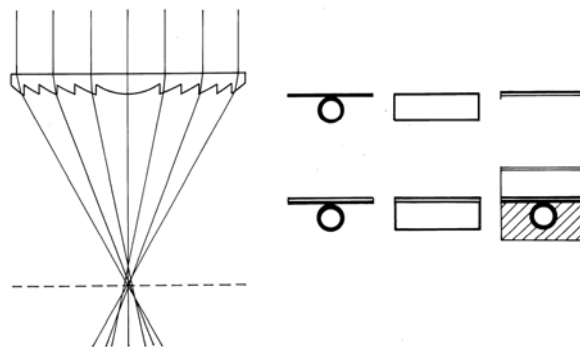
Με τη χρήση των φακών fresnel μπορεί να περιοριστεί η κατανάλωση ενέργειας για τον εξαερισμό των θερμοκηπίων στη διάρκεια της ημέρας, είναι πρακτικά εύκολη η αποθήκευση της θερμότητας για τη θέρμανση του χώρου στη διάρκεια της νύκτας και στην περίπτωση χρήσης φωτοβολταϊκών ως απορροφητή είναι δυνατή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

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

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

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

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

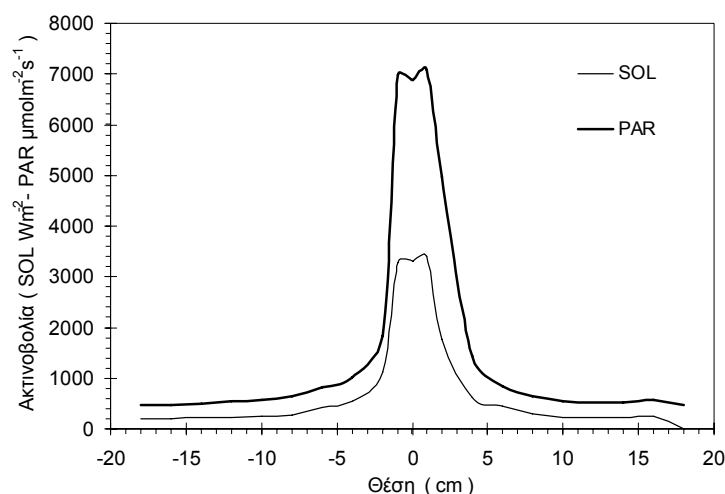


Εικ. 1: Τομή του φακού Fresnel και των διαφόρων τύπων απορροφητών

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

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

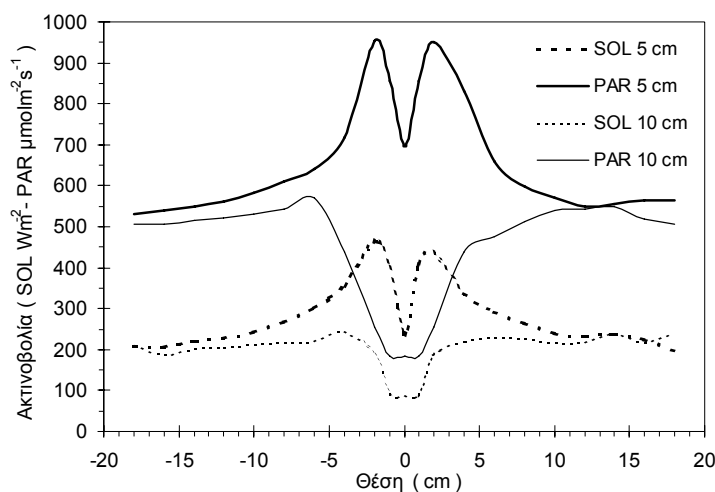
Εξετάζοντας τις ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων, μπορούν να εξαχθούν μερικά συμπεράσματα από τα οφέλη που αποκομίζονται από τη χρήση των γραμμικών φακών fresnel αντί των τυπικών γυάλινων καλυμμάτων. Υπολογίστηκαν έτσι οι ενεργειακές ανάγκες μιας μονάδας θερμοκηπίου, που καλύπτει επιφάνεια 500 m².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



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

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

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



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

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

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

Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

Effect of Vent Openings and Insect Screens on Greenhouse Ventilation

Kittas C, Katsoulas N, Bartzanas T

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

ABSTRACT

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

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

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

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

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

2. ΘΕΩΡΙΑ

2.1 Ενεργειακό ισοζύγιο του θερμοκηπίου

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

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

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

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

2.2. Προσομοιώματα φυσικού αερισμού

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

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

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

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

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

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

$$G = \frac{A_T}{2} C_d \sqrt{C_w} u \quad (4)$$

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

$$G = \frac{A_T}{2} C_d \sqrt{C_w} u + G_0 \quad (5)$$

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

$$N = 3600 \frac{G}{V_g} \quad (6)$$

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

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

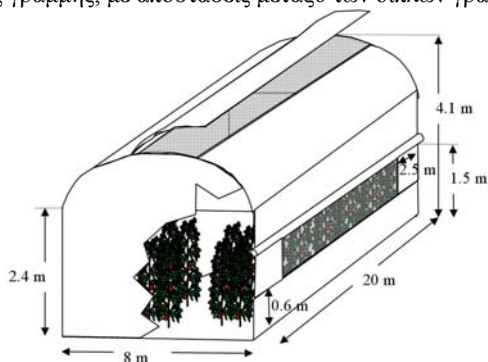
Οι μετρήσεις έγιναν σε ένα πλαστικό απλό τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο (Σχήμα 1), προσανατολισμένο Β-Ν, το οποίο βρίσκεται στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, κατά τη διάρκεια του 2000. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με πλαϊνά παράθυρα ($A_S=27\ m^2$) και παράθυρο οροφής ($A_R=18\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

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

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

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

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



Σχήμα 1. Το πειραματικό θερμοκήπιο

3.3. Κλιματικές μετρήσεις και μετρήσεις αερισμού

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

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

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

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

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

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

3.1 Σύγκριση των μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού αερισμού

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

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

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

3.2 Επίδραση του δικτύου εντομοστεγανότητας στον αερισμό

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

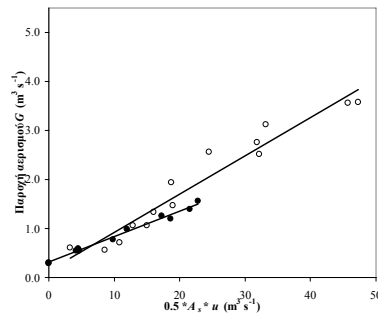
Χρησιμοποιώντας τις τιμές της παροχής αερισμού υπολογισμένες με τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης αερίου δείκτη και τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές με τη μέθοδο του ενεργειακού ισοζυγίου έγινε βαθμονόμηση της εξ. (5) με τη μέθοδο της μη γραμμικής παλινδρόμησης. Η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων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

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

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

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

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



Σχήμα 2. Μετρημένες τιμές του G συναρτήσει του γινομένου $0.5 A_s u$, για την περίπτωση του θερμοκηπίου με πλαϊνά παράθυρα, χωρίς (○) ή με (●) δίχτυ στα ανοίγματα αερισμού.

Οι ευθείες γραμμές επιτεύχθηκαν με γραμμική παλινδρόμηση. Με βάση την εξ. (6), οι υπολογισμένες τιμές N_0 που αντιστοιχούν στις τιμές G_0 του Πίνακα 2, ήταν 0.85 και 1.97 για την περίπτωση χωρίς δίχτυα και με δίχτυα, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι μικρές και παρόμοιες μ' αυτές που δίνονται στη βιβλιογραφία

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

3.3 Επίδραση του τύπου του παραθύρου στο ρυθμό αερισμού

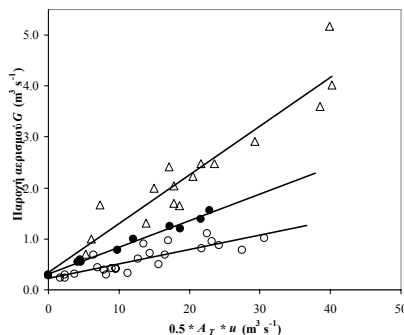
Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του τύπου του ανοίγματος στο ρυθμό ανανεώσεων του αέρα του θερμοκηπίου εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις: (α) αερισμός με πλαϊνά παράθυρα, (β) αερισμός με παράθυρα οροφής και (γ) αερισμός με παράθυρα οροφής και πλαϊνά. Και στις τρεις περιπτώσεις στα ανοίγματα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

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

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

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

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



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

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

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

Σχεδιασμός και μηχανική συμπεριφορά εύκαμπτων χαμηλών τούνελ με βιοδιασπώμενα φύλλα κάλυψης

Δ. Μπριασούλης

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

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

D.Briassoulis

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

ABSTRACT

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

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΤΟΥΝΕΛ

2.1 Καθορισμός φορτίων ανέμου με βάση τα Ευρωπαϊκά πρότυπα

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

2.1.1 Ανεμοπιέσεις

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

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

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

a) Το αντίστοιχο τμήμα του Ευρωκώδικα που εφαρμόζεται σε κυλινδρικές στέγες και τούνελ μπορεί να εφαρμοσθεί επίσης σε χαμηλά τούνελ.

b) Οι δυναμικές επιδράσεις στις εύκαμπτες κατασκευές χαμηλών τούνελ αγνοούνται.

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

2.1.2 Φορτία χιονιού

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

2.2 Αριθμητική προσομοίωση της μηχανικής συμπεριφοράς φύλλων κάλυψης χαμηλών τούνελ

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

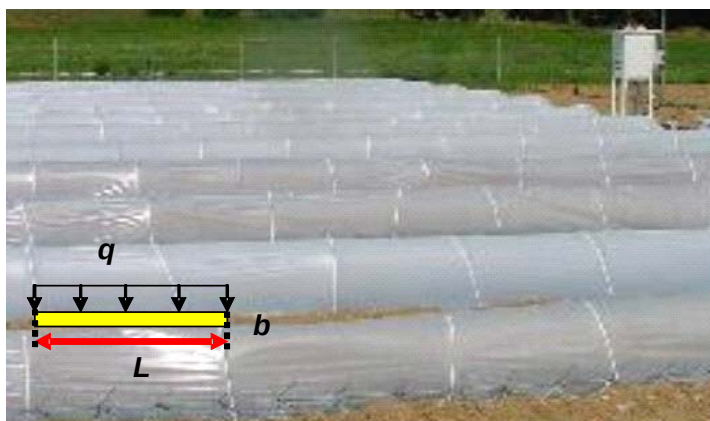
2.2.1 Χαμηλά τόξα υπό θετική πίεση

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

φύλλου ($L=0.5$) και του πάχους του φύλλου ($t=30\ \mu\text{m}$ και $20\ \mu\text{m}$), επιβεβαιώνεται μια σταθερή συμπεριφορά.

2.2.2. Χαμηλά τόξα υπό αρνητική πίεση

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



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

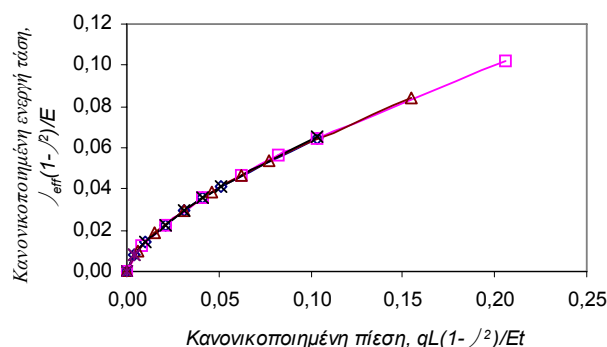
2.3 Σχεδιασμός φύλλων κάλυψης χαμηλών τούνελ

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

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

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

$$q_d = \gamma_{Q1} Q_{k1} = \left(\frac{t}{40}\right)(895.45L^2 - 2475.20L + 2055.60) \quad (2)$$



Σχήμα 1. Καμπύλες κανονικοποιημένων πιέσεων – ενεργών τάσεων, για επίπεδη λωρίδα χαμηλού τούνελ μήκους L και πάχους t , στηριγμένης στα άκρα από τα δύο τόξα, με μεταβλητούς λόγους t/L : $\diamond$, $t=60 \mu$, $L=1 \text{ m}$; $\square$, $t=30 \mu$, $L=1 \text{ m}$; $\triangle$, $t=20 \mu$, $L=0.5 \text{ m}$; $\times$, $t=60 \mu$, $L=1 \text{ m}$. Προσομοίωση πεπερασμένων στοιχείων για καμπύλη λωρίδα φύλλου πλάτους $b=8 \text{ cm}$; $*$, $t=60 \mu$, $L=1 \text{ m}$, και καμπύλη λωρίδα φύλλου πλάτους $b=20 \text{ cm}$

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΒΙΟΔΙΑΣΠΩΜΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΤΟΥΝΕΛ

3.1 Πειράματα πλήρους κλίμακας

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

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

3.2. Αποτελέσματα

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

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



(α)

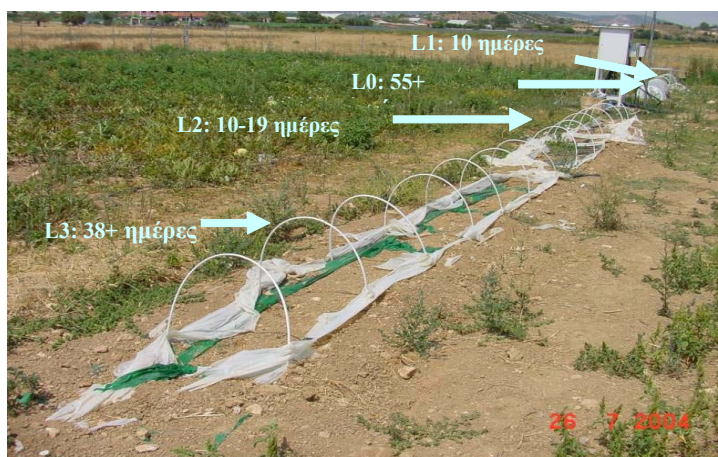


(β)



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

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



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

Το γεγονός ότι το πραγματικό πάχος των βιοδιασπόμενων φύλλων L1 και L2 ήταν περίπου $t=15\text{ }\mu$ εξηγεί πολύ καλά την πρόωρη αστοχία που παρατηρήθηκε με τα φύλλα αυτά υπό τις δεδομένες ταχύτητες ανέμου λαμβάνοντας υπ' όψη της μέγιστες ταχύτητες ανέμου που μετρήθηκαν (**Πίνακας 1**). Με βάση αυτά τα αποτελέσματα σχεδιάστηκε ένα τρίτο πείραμα μικρής κλίμακας τον χειμώνα του 2004-2005 για να διερευνηθεί η επίδραση του πραγματικού πάχους των φύλλων.

3.3 Πειράματα μικρής κλίμακας Χειμώνα

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

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

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

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

Πίνακας 1. Παράμετροι σχεδιασμού πειραματικών χαμηλών τούνελ

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

(*) L απόσταση τόξων εξαρτάται από τον σχεδιασμό των τόξων και όχι του φύλλου

(**) L απόσταση τόξων που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0.80 m.

Πίνακας 2. Αποστάσεις σχεδιασμού τόξων και πάχη φύλλων

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

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

Πίνακας 3. Παράμετροι σχεδιασμού πειραματικών χαμηλών τούνελ

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

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

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

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

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

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Briassoulis D. 2004. Mechanical design requirements for low tunnel biodegradable and conventional films. Biosystems Engineering, 87(2), 209-223.
- 2 Chandra R. and Rustgi R. 1998. Prog. Polym. Sci. 23, 1273–1335.
- 3 Feuilleley P. 2004. Ce plastique faussement biodégradable. La Recherche. N° 374, 52-54.
- 4 Briassoulis D. 2004. An Overview on the Mechanical Behaviour of Biodegradable Agricultural Films. Journal of Polymers and the Environment. 12(2), 65-81.
- 5 CEN. 1995. Eurocode-1: Basis of design and actions on structures- Part 2-4 : Actions on structures “Wind actions”. Comite Europeen de Normalisation, Brussels.
- 6 CEN. 1995. Eurocode-1: Basis of design and actions on structures- Part 2-3 : Actions on structures “Snow loads”. Comite Europeen de Normalisation, Brussels.
- 7 Briassoulis D. 2003b. Nonlinear behaviour of the RFNS element – large displacements and rotations, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 192 (26-27), 2909-2924.
- 8 Briassoulis D. 2005. Mechanical behaviour-full scale Mechanical Behaviour of Biodegradable Agricultural Films Under Real Field Conditions (submitted for publication).
- 9 G.Vox, E.hettini and G.Scarascia-Mugnozza G. (2004) "Radiometric properties of biodegradable films for horticultural protected cultivation", Greensys2004 International Conference "Sustainable Greenhouse Systems", 12-16 September 2004; Leuven, Belgium; Proceedings on CD, ISBN 907601924X; 8 pages, accepted for publication on Acta Horticulturae.

ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Νικόλαος Κατσούλας και Κωνσταντίνος Κίττας

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

USE OF ARTIFICIAL LEAVES FOR MONITORING AERODYNAMIC CONDUCTANCE IN GREENHOUSES

N. Katsoulas and C. Kittas

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

ABSTRACT

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

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

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

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

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

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Το θερμοκήπιο και η καλλιέργεια

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

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

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

2.2. Τεχνητά φύλλα

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

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

$$P_i = R_i I_p^2 / 2A_i \quad (1)$$

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

2.3. Μετρήσεις

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

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

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

2.4. Υπολογισμοί

2.4.1. Ταχύτητα του αέρα στο θερμοκήπιο.

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

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

2.4.2. Αεροδυναμική αγωγιμότητα φύλλων.

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

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

ενώ ενός μη θερμαινόμενου φύλλου δίνεται από τη σχέση:

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

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

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

2.4.3. Αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου.

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

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

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

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

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

2.5. Επεξεργασία και ανάλυση

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

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

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Ταχύτητα του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο

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

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

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

3.2. Αεροδυναμική αγωγιμότητα των φύλλων

3.2.1. Συσχέτιση με την ταχύτητα του αέρα

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

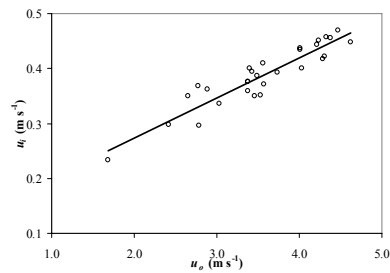
$$g_b = 0.89 u_o + 2.9 \quad (8)$$

για την 16^η Αυγούστου, με $R^2 = 0.76$.

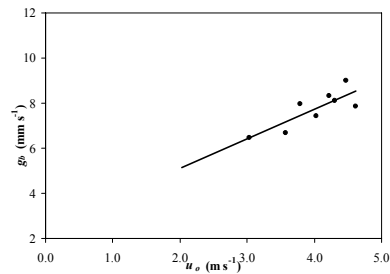
Λόγω της γραμμικής σχέσης μεταξύ των u_o και u_i [εξ. (7)], βρέθηκε παρόμοια σχέση μεταξύ της g_b και της u_i :

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

για την 16^η Αυγούστου, με $R^2 = 0.74$.



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



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

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

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

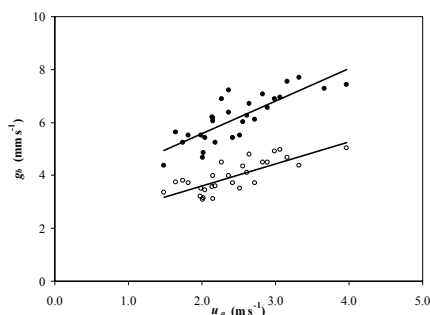
Τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων της g_b παρουσιάζονται συναρτήσει της u_o , στο Σχήμα 3. Οι σχέσεις που βρέθηκαν μεταξύ της g_b και της u_o , ήταν:

$$g_b = 0.83 u_o + 1.95 \quad (10a)$$

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

$$g_b = 1.23 u_o + 3.11 \quad (10b)$$

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



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

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

3.2.2. Συσχέτιση με την αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου.

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

$$g_b = 0.11 g_v + 2.9 \quad (11)$$

με $R^2 = 0.76$.

3.3. Ολική αεροδυναμική αγωγιμότητα του θερμοκηπίου

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

$$g_g = \frac{2 LAI g_b g_v}{2 LAI g_b + g_v} \quad (12)$$

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

$$g_g(LAI) = \frac{a LAI}{b LAI + c} \quad (13)$$

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

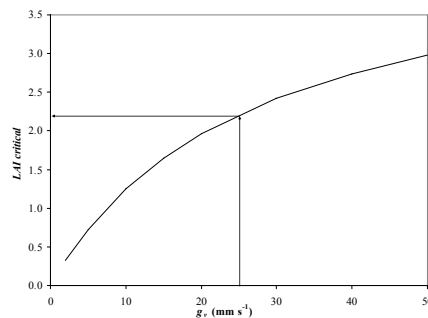
Καθώς οι αεροδυναμικές αντιστάσεις της καλλιέργειας και του θερμοκηπίου είναι συνδεδεμένες σε σειρά η μικρότερη από τις αντίστοιχες αγωγιμότητες g_a και g_v θα είναι ο περιοριστικός παράγοντας που θα καθορίζει το μέγεθος της ροής ενέργειας από την επιφάνεια της καλλιέργειας στον εξωτερικό αέρα. Έτσι,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

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

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

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

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



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

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

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

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

Βιβλιογραφία

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

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

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

Α. Σαπουνάς¹, Θ.Μπαρτζάνας², Χ. Νικήτα – Μαρτζοπούλου³, Κ.Κίττας²

¹Κέντρο Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών, Αγρόκτημα Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης,
Θέρμη 57001, Θεσσαλονίκη

²Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος. Οδός Φυτόκου Ν. Ιωνία Μαγνησίας,
38334 Βόλος

³Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας,
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών & Εξοπλισμού, Θεσσαλονίκη 54124 (229)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

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

At. Sapounas¹, T. Bartzanas², Ch. Nikita-Martopoulou³, C. Kittas²

¹Aristotle University of Thessaloniki, Center of Agricultural Structures Control, Thessaloniki, Greece

²University of Thessaly, School of Agricultural Sciences, Department of Agriculture, Crop Production
and Agricultural Environment, Volos, Greece

³Aristotle University of Thessaloniki, School of Agriculture, Dep. of Hydraulics, Soil Science and
Agricultural Engineering, Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

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

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Η διαστασιολόγηση του συστήματος φυσικού αερισμού και η ενσωμάτωση του στα κτηνοτροφικά κτίρια γίνεται κυρίως με εμπειρικά μοντέλα η αξιοπιστία των οποίων έχει αποτιμηθεί με πειραματικές διαδικασίες σε συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες και για συγκεκριμένα συστήματα φυσικού αερισμού, καθώς η διενέργεια πειραμάτων για διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και για διαφορετικά συστήματα φυσικού αερισμού είναι πρακτικά ανέφικτη, είτε λόγω αυξημένου κόστους είτε λόγω αδυναμίας συστηματικής μέτρησης ορισμένων παραμέτρων. Η εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων, όμως, κατέστησε εφικτή τη χρήση αριθμητικών μεθόδων στη προσομοίωση των ροών. Η χρήση των μεθόδων της υπολογιστικής ρευστομηχανικής (Computational Fluid Dynamics, CFD) παρέχει τη δυνατότητα εξέτασης διαφόρων μεταβλητών που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος φυσικού αερισμού χωρίς την ανάγκη χρονοβόρων και πολυέξοδων πειραμάτων.

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

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

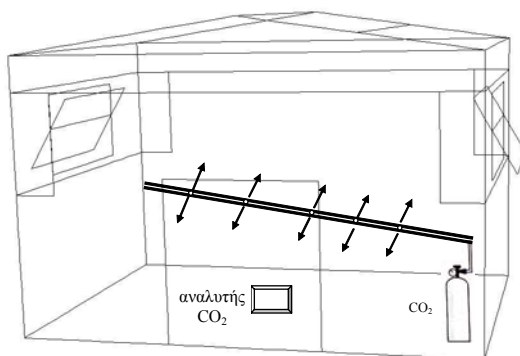
των ζωνών ανακυκλοφορίας του αέρα κυρίως στις περιπτώσεις όπου η ταχύτητά του έχει μικρές τιμές [13].

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

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικός προσδιορισμός του ρυθμού ανανέωσης του αέρα

Με σκοπό την πειραματική επιβεβαίωση του αριθμητικού προσομοιώματος προσδιορίστηκε ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα ενός πειραματικού κτηνοτροφικού κτιρίου που βρίσκεται εγκατεστημένο στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ. Πρόκειται για ένα αμφίρρικτο κτίριο με μήκος μήκος 5.7 m, πλάτος 4.25 m και ύψος 3.5 m (το ύψος του κορφιά είναι 3.92 m). Το κτίριο έχει δύο πλαϊνά παράθυρα αερισμού τα οποία περιστρέφονται κατά 90° γύρω από έναν άξονα που τα χωρίζει σε δύο τμήματα με λόγο 43/57 από πάνω προς τα κάτω και συνολική επιφάνεια 4.30 m² (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Πειραματικό κτηνοτροφικό κτίριο

Για τον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μείωσης της συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη [14]. Ως αέριο ανίχνευσης χρησιμοποιήθηκε το CO₂. Από φιάλη με CO₂ υπό πίεση, η οποία τοποθετήθηκε μέσα στο κτίριο, διοχετεύτηκε CO₂ διαμέσου ενός διάτρητου σωλήνα πολυαιθυλενίου ο οποίος τοποθετήθηκε κατά τη διαγώνιο σε ύψος 1.5 m από το δάπεδο ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη συγκέντρωση του CO₂ (Σχήμα 1). Πριν από κάθε πειραματική διαδικασία τα ανοίγματα αερισμού έμεναν για μεγάλο χρονικό διάστημα τελείως ανοιχτά, ώστε να επιτευχθεί ομοιομορφία μεταξύ της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου και αυτής στο εξωτερικό περιβάλλον. Έγιναν συνολικά 10 πειραματικές επαναλήψεις κάτω από διαφορετικές συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος (Πίνακας 1).

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

Πίνακας 1. Εξωτερικές κλιματικές συνθήκες για κάθε πειραματική διαδικασία

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

2.2 Μαθηματικό προσομοίωμα

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

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

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.

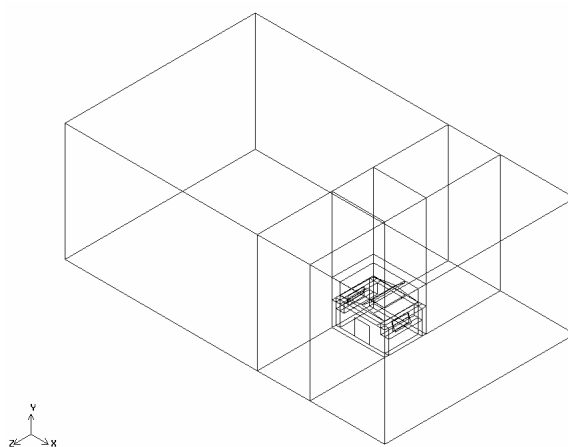
Στις προσομοιώσεις που έγιναν για την πειραματική επιβεβαίωση του αριθμητικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το standard $k - \epsilon$ μοντέλο τύρβης [12]. Εκτός του standard $k - \epsilon$ προσομοιώματος τύρβης ελέγχθηκε και η συμπεριφορά σε προβλήματα φυσικού αερισμού αγροτικών κτιρίων, των εξής προσομοιώματων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

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

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

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

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



Σχήμα 2. Πεδίο ροής γύρω από το πειραματικό κτηνοτροφικό κτίριο

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

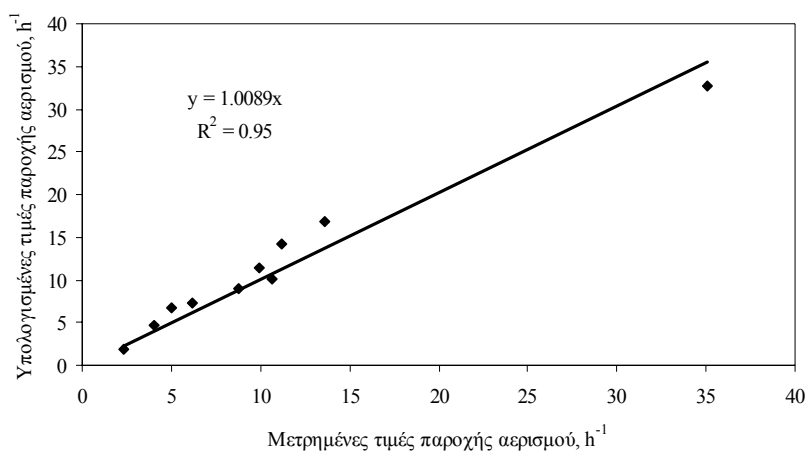
Το μοντέλο προσομοίωσης επιλύθηκε με οριακές συνθήκες που αντιστοιχούν σε κάθε πειραματική διαδικασία. Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο που ακολουθήθηκε και στον υπολογισμό του με βάση τα πειραματικά δεδομένα. Έτσι, πρώτα εξάγεται μια λύση του προβλήματος σε σταθερές συνθήκες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

προς CO₂ ίσο με 1/0.0007. Ο ρυθμός αερισμού υπολογίζεται από το χρόνο που απαιτήθηκε να μειωθεί η συγκέντρωση του CO₂ μέσα στο πειραματικό κτίριο, όπως ακριβώς υπολογίστηκε και κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Επιβεβαίωση αριθμητικού προσομοιώματος

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



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

3.2 Αποτίμηση αποτελεσματικότητας διαφόρων μοντέλων τύρβης

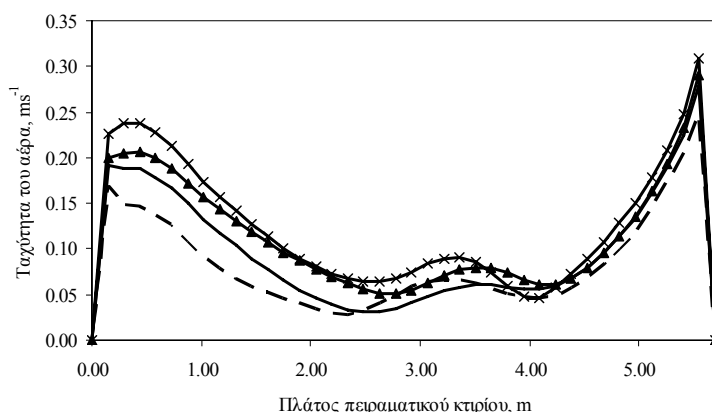
Με σκοπό να διερευνηθεί η συμπεριφορά των διαφορετικών μοντέλων τύρβης στην επίλυση του προβλήματος αερισμού του πειραματικού κτηνοτροφικού κτιρίου με την μέθοδο του αερίου ανίχνευσης, το μοντέλο προσομοίωσης για τις πειραματικές διαδικασίες '1' και '4' επιλύθηκε με χρήση των μοντέλων τύρβης 'RNG k -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

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

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

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

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



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

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

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

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

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Lindley, J.A., Whitaker J.H., 1996. Agricultural Buildings and Structures, *ASAE Publication*
- 2 Reynolds, A. M., 1997. A Model for Predicting Airborne Dust Concentrations within a Ventilated Airspace. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66: 103-109
- 3 Heber, A. J., Boon, C. R., Peugh, M. W., 1996. Air Patterns and Turbulence in an Experimental Livestock Building. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64: 209-226
- 4 Svidt, K., Zhang, G., Bjerg, B., 1998. CFD Simulation of Air Velocity Distributions in Occupied Livestock Buildings. *Proceedings of RoomVent'98, Sixth International Conference on Air Distribution in Rooms*. Stockholm, Sweden, pp. 491-496.
- 5 Campen, J.B. and Bot, G.P.A., 2003. Determination of Greenhouse-specific Aspects of Ventilation using Three-dimensional Computational Fluid Dynamics. *Biosystems Engineering*, 84 (1): 69-77.
- 6 Mistriotis, A., Bot, G., P., A., Picuno, P. and Scarascia, Mugnozza, G., 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computational fluid dynamics. *Agric. For. Meteorol*, 85, 317-328.
- 7 Bartzanas, T., Kittas, C. and Boulard, T., 2004. Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse. *Biosystems Engineering* 88 (4): 479-490.
- 8 Boulard T., Haxaire R., Lamrani M. A., Roy J. C., Jaffrin A., 1999. Characterization and Modelling of the Air Fluxes induced by Natural

- Ventilation in a Greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74: 135-144.
- 9 Mistriotis, A., Briassoulis D., 2002. Numerical estimation of the internal and external aerodynamic coefficients of a tunnel greenhouse structure with openings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34: 191 – 205
 - 10 Bartzanas, T., Boulard, T., Kittas, C., 2002. Numerical simulation of airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped with a insect - proof screen on the openings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34: 207 – 221.
 - 11 Briassoulis, D., 2004. Mechanical Design Requirements for Low Tunnel Biodegradable and Conventional Films. *Biosystems Engineering*, 87 (2): 209-223
 - 12 Launder E. B., Spalding D. B., 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3: 269-289.
 - 13 Fluent, 1998. FLUENT, v.5, Fluent Europe Ltd, Sheffield, UK
 - 14 Baptista F. J., Bailey B. J., Randall J. M., Meneses J. F. 'Greenhouse Ventilation Rate: Theory and Measurement with Tracer Gas Techinques'. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, 72, 363-374.
 - 15 Basiliou N. N., Martzopoulos G. G., Nikita-Martzopoulou C. 'Air flow pattern Outside and Inside a Double span Arch Type Greenhouse'. *Control Applications and Ergonomics in Agriculture, A Proccedings volume from the IFAC Workshop Athens, Greece, 15-17 June 1998.*

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΟΛΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Ν. Οικονόμου, Γρ. Λαμπρινός

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα αγροτικό κτίριο στέγασης ζώων πρέπει αφ' ενός να εξασφαλίζει την υγεία των ζώων και αφετέρου να περιορίζει κατά το δυνατόν τις θερμικές απώλειες. Ένας βασικός παράγοντας που καθορίζει τις απώλειες αυτές είναι η μόνωση του κτιρίου, που διαμορφώνει και τις τιμές των επιμέρους συντελεστών ολικής θερμοπερατότητας. Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό την πειραματική εκτίμηση του μέσου συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας $\bar{K}$ ενός υπαρκτού πειραματικού χοιροστασίου προπάχυνσης δανικού τύπου και τη σύγκρισή του με τον αντίστοιχο θεωρητικό. Η εκτιμηθείσα αυτή πειραματική τιμή ($\bar{K}_n = 2.83 \pm 0.23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) ασήμαντα διαφέρει από την θεωρητικά υπολογισθείσα μέση βαρυκεντρική τοιαύτη ($\bar{K}_o = 2.80 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$).

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE AVERAGE THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF FARM BUILDINGS

N. Oikonomou, G. Lambrinos

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

ABSTRACT

An animal house must secure animals' health and diminish building energy losses. The main factor that defines these losses, is building insulation, which influence the magnitude of the various overall heat transfer coefficients. Aim of this work, is the experimental evaluation of the mean overall heat transfer coefficient, $\bar{K}$, of an experimental scale piglet house of Danish type, and its comparison with the corresponding theoretical value. The resulted experimental value is $\bar{K}_{exp} = 2.83 \pm 0.23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, which is quite close to the theoretical weighted average value $\bar{K}_{th} = 2.80 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

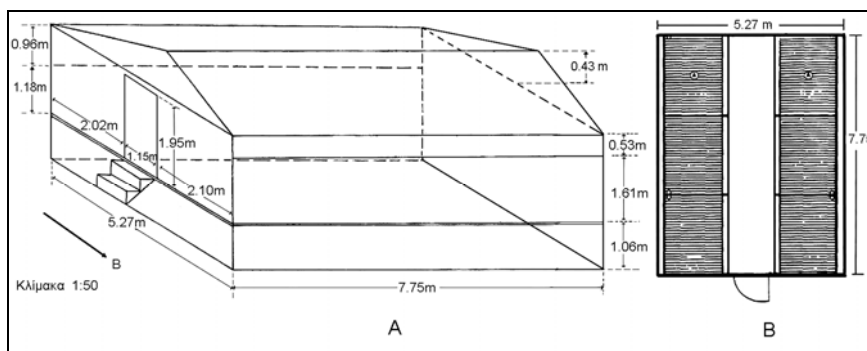
Ένα αγροτικό κτίριο στέγασης ζώων πρέπει αφ' ενός να εξασφαλίζει την υγεία των ζώων και αφ' ετέρου να περιορίζει κατά το δυνατόν τις θερμικές απώλειες. Ένας βασικός παράγοντας που καθορίζει τις απώλειες αυτές είναι η μόνωση του κτιρίου, η οποία διαμορφώνει και τις τιμές των επιμέρους συντελεστών ολικής θερμοπερατότητας. Η θερμότητα και η υγρασία που αποβάλλει ένα χοιρίδιο εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι το είδος του δαπέδου, η πυκνότητα των στεγαζόμενων ζώων, η περιεχόμενη υγρασία της τροφής, το επίπεδο διατροφής, η θερμοκρασία και η περιεχόμενη υγρασία του χώρου καθώς και η μέση δραστηριότητα του ζώου. Η απώλεια αισθητής θερμότητας από κάθε χοιρίδιο λαμβάνει χώρα και με τους τρεις τρόπους μετάδοσης της θερμότητας, αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία. Το σημαντικότερο ποσοστό εναλλαγής συμβαίνει με ακτινοβολία και με αγωγή [2]. Η απώλεια με αγωγή παρουσιάζεται κυρίως όταν το ζώο είναι ξαπλωμένο στο δάπεδο και όχι όταν στέκεται στα πόδια του. Η απώλεια θερμότητας με ακτινοβολία εξαρτάται από τη θερμοκρασία των εσωτερικών παρειών του χοιροστασίου. Όσον αφορά την απώλεια με συναγωγή αυτή θεωρείται αμελητέα αφού η ταχύτητα του περιβάλλοντα τα ζώα αέρα είναι πρακτικά μηδενική. Η απώλεια λανθάνουσας θερμότητας λαμβάνει χώρα λόγω της αναπνοής και της εξάτμισης υγρασίας από το σώμα του χοιριδίου [3]. Το σύνολο αυτό των εναλλαγών θερμότητας αποτελούν το θερμικό φορτίο των χοιριδίων, το οποίο και λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό των φορτίων, την κατασκευή και τον κλιματισμό του κτιρίου.

Η εργασία αυτή έχει σαν σκοπό τη σύγκριση του θεωρητικού και του πειραματικού μέσου ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας K ενός πειραματικού χοιροστασίου προπάχυνσης δανικού τύπου. Με τον τρόπο αυτό έγινε μία αντιπαραβολή μεταξύ των θεωρητικά υπολογισθέντων και πειραματικά εκτιμηθέντων μεγεθών ώστε να εντοπιστούν σφάλματα και σημεία που επιδέχονται βελτίωση, επηρεάζοντας φυσικά θετικά το ενεργειακό ισοζύγιο του χοιροστασίου.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Το χοιροστάσιο στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα βρίσκεται στο χώρο του Γ.Π.Α., ανήκει στον Τομέα Γ. Μηχανικής, και είναι τύπου «Χοιροστάσιο προπάχυνσης με δάπεδο πλήρως εσχαρωτό». Έχει σχήμα παραλληλεπίπεδου με προσανατολισμό Α-Δ, (σχ.1α), σχεδιασμένο να στεγάζει 68 χοιρίδια μέγιστου βάρους 45 κιλών το καθένα. Κάτω από την εσχαρωτή επιφάνεια (σχ.1β) υπάρχει τάφρος υποδοχής της υγρής κόπρου, βάθους περίπου 1m, και σύστημα απαγωγού με ανεμιστήρα για την απομάκρυνση των παραγόμενων αερίων (CO_2, NH_3).

Όλοι οι τοίχοι του χοιροστασίου, εκτός αυτών που περιβάλλουν την τάφρο, αποτελούνται από τα έξω προς τα μέσα από: σοβά, τούβλα, στρώση αέρα και λεπτό φύλλο κυματοειδούς αλουμινίου. Η δίρρηκτη στέγη είναι κατασκευασμένη από κυματοειδή λαμαρίνα. Η ψευδοροφή από αλουμίνιο είναι καλυμμένη από μία στρώση υαλοβάμβακα 2.5cm. Τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο τοίχο υπάρχουν παράθυρα (ανοίγματα) κατασκευασμένα από κυματοειδές διάφανές πλαστικό, με μεγαλύτερης διάστασης αυτό της νότιας πλευράς, ενώ η κεντρική είσοδος βρίσκεται στον ανατολικό τοίχο. Επειδή το χοιροστάσιο είναι πειραματικό η ενταλασσύμενη αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα μεταξύ ζώων και κτιρίου έχει εξασφαλισθεί με θερμική προσομοίωση των χοιριδίων προπάχυνσης. Η προσθήκη θερμότητας στο χώρο του χοιροστασίου



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

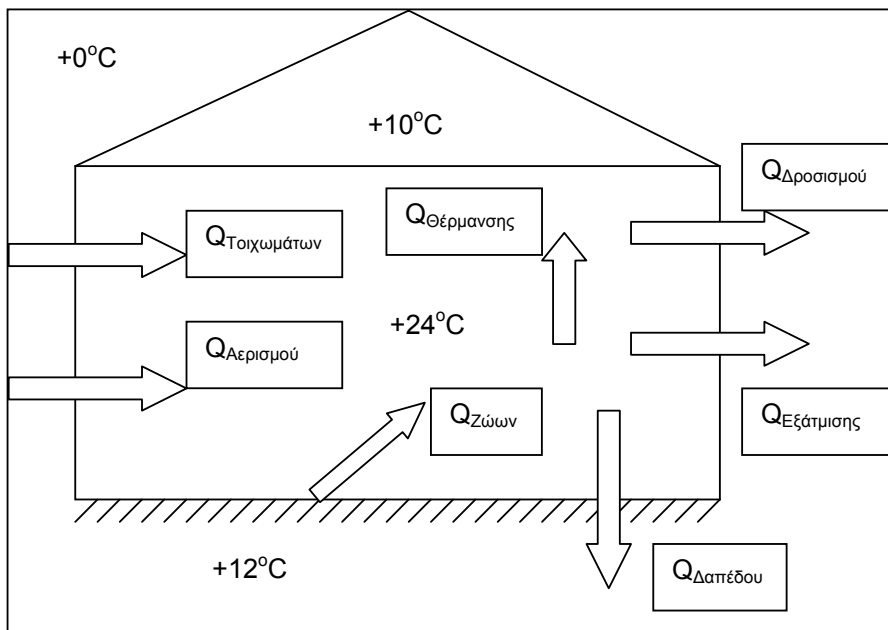
επετεύχθει με την εγκατάσταση μικρών αυτόνομων ηλεκτρικών μονάδων θέρμανσης (κουκουνάρες του 1kW) ικανών να αποδίδουν τέτοια θερμική ενέργεια ώστε να μπορούμε να πετύχουμε σταθερή θερμοκρασία στο χώρο.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα θερμικά χαρακτηριστικά του πειραματικού αυτού χοιροστασίου προπάχυνσης. Υπολογίστηκαν θεωρητικά οι επιμέρους συντελεστές θερμοπερατότητας των διαφόρων τμημάτων του χοιροστασίου και ο μέσος βαρυκεντρικός θεωρητικός ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου.

Πίνακας 1. Θερμικά χαρακτηριστικά χοιροστασίου

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

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

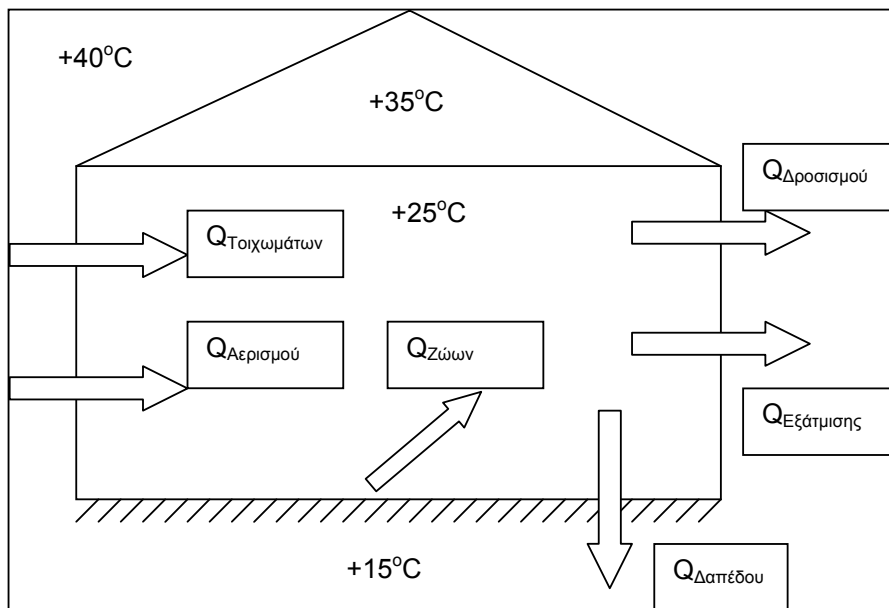


Σχήμα 2. Θερμικές εναλλαγές κτιρίου κατά το χειμώνα

Πίνακας 2. Θερμικά φορτία χειμώνα

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

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



Σχήμα 3. Θερμικές εναλλαγές κτιρίου κατά το θέρος

Πίνακας 3. Θερμικά φορτία θέρους

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

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

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

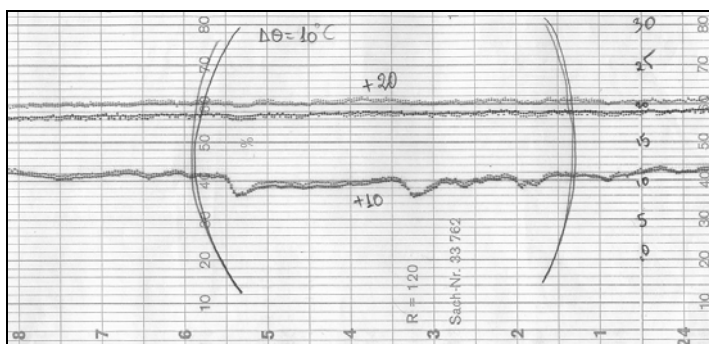
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

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

Πίνακας 4. Πειραματικές σειρές σταθεροποιημένης θερμικής κατάστασης.

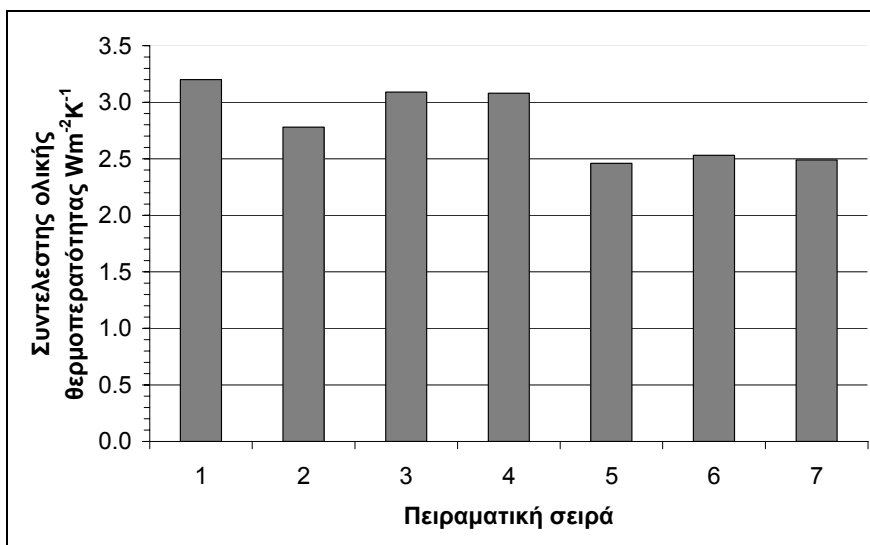
α/α	Διάρκεια h	Θ. Εξ. Περ. °C	Θ. Εσ. Περ. °C	Ηλ. Ενέργεια Θέρμανσης kWh
1	9	10	18	0.413
2	7	13	21	0.518
3	5	11	19	0.718
4	3	10	18	1.19
5	6	11	21	0.596
6	5	10	20	0.734
7	3	10	20	0.9

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



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

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



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

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

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή στο πειραματικό χοιροστάσιο προπάχυνσης θέρμανσης ρυθμιζόμενης ισχύος, αντίστοιχης με τις προβλεπόμενες θερμικές απώλειες του χειμώνα, ώστε να δημιουργείται σταθεροποιημένη θερμική κατάσταση μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος οδήγησε μετά από αρκετές πειραματικές σειρές (επτά τον αριθμό) στην εκτίμηση της μέσης τιμής του συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας. Η πειραματική αυτή τιμή ίση με $\bar{K}_n = 2,83 \pm 0,23 Wm^{-2} K^{-1}$ δε διαφέρει σημαντικά από τη

θεωρητικά υπολογισμένη μέση βαρυκεντρική τιμή που ήταν ίση με $\bar{K}_\theta = 2,80 Wm^{-2} K^{-1}$. Η πειραματική μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση του μέσου συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας κτιρίου αγνώστου κατασκευής αρκεί η εφαρμοζόμενη θερμική ισχύς να είναι επαρκής.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Black, J.L., Bray, H.J. and Giles, L.R., 1999. *The thermal and Infectious Enviroment*. In: A Quantitative Biology of the Pig. Kyriazakis, I. (Ed). Published by CABI New York.
- [2] Ekkel, D.,E., Hans, A.M., Spoolder, I.H. and Hopster, H., 2002. Lying characteristics as determinants for space requirements in pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. (80). p.19-30.
- [3] Lebret, B., Massabie, P., Granier, R., Juin, H., Mourot, J. and Chevillon, P., 2002. Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of dry-cured hams. *Meat Science*. (62). p.447-455.
- [4] Pedersen, S. and Rom, H.B., 1998. Diurnal variation in heat production from pigs in relation to animal activity. Conference on Agricultural Engineering AgEng 98, Oslo
- [5] Pond, W. G. and Maner, J. H., 1974. *Swine Production in Temperate and Tropical Enviroments*. W. H. Freeman and company. U.S.A.
- [6] Sallvik, K. and Pedersen, S., 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering vol.II: Animal and heat moisture production pp: 41-53. CIGR (Ed) Published by ASAE.

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

Π. Μαλέτσικα¹, Χ. Παπαϊωάννου¹, Α. Σιώμος², Κ. Κίττας¹

¹ Π. Θ. - Τμήμα Γ. Φ. Π. & Α. Π., Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου
Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

² Α. Π. Θ. – Γεωπονική Σχολή, Εργαστήριο Λαχανοκομίας, 54124 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

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

P. Maletsika¹, X. Papaioannou¹, A. Siomos², C. Kittas¹

¹University of Thessaly, Dept. of Agr. Crop Production and Agr. Env. Laboratory of
Agr. Constr. and Environ. Control, Fytokou St., 38446, N. Ionia, Magnesia, Greece.

²Aristotle University, Department of Horticulture, 54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

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

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

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

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

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

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

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα έγινε την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2004, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε δύο όμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια όπου το εμβαδόν του κάθε θερμοκηπίου ήταν ίσο με 160 m². Η θέρμανση των θερμοκηπίων γινόταν με επιδαπέδιους πλαστικούς σωλήνες και αερόθερμο, προκειμένου να διατηρηθεί ελάχιστη θερμοκρασία 15 και 21 °C τη νύχτα και την ημέρα αντίστοιχα, ενώ ο αερισμός γινόταν με πλευρικά ανοίγματα συνολικής επιφάνειας 27 m², όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 23 °C.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

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

Πίνακας 1. Συνολική παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών (kg/m²).

<i>Θερμοκήπιο(Μεταχείριση)</i>	<i>n(Αριθμ. Επαναλ.)</i>	
Θ1	4	7,990 β
Θ2	4	9,595 α

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

Πίνακας 2. Ποσοστό των καρπών που παρουσιάζουν προσβολές από έντομα

Στον παραπάνω πίνακα δεν παρουσιάζονται οι συγκομιδές κατά τις οποίες το

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

μέγεθος των προσβολών ήταν 0, 1, 2, 3.

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

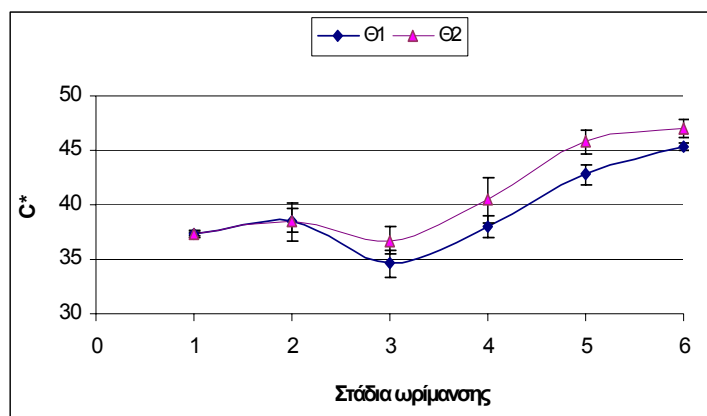
Συνεπώς, η μειωμένη συνολική εμπορεύσιμη παραγωγή καρπών που βρέθηκε στον μάρτυρα (Θ1), οφείλεται στο γεγονός ότι στο θερμοκήπιο αυτό παρατηρήθηκαν υψηλότερα ποσοστά μη εμπορεύσιμων καρπών λόγω των προσβολών από έντομα (Πιν. 1).

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

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

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

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



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

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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