

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

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

6^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

**Η Γεωργική Μηχανική και η Μηχανική
Βιοσυστημάτων στην εποχή των βιοκαυσίμων
και των κλιματικών αλλαγών**

Επιμέλεια Έκδοσης

Β. Αντωνόπουλος,

Π. Γεωργίου και Σ. Βουγιούκας

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

8-10 Οκτωβρίου 2009

Πρακτικά του 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής
Η Γεωργική Μηχανική και η Μηχανική Βιοσυστημάτων στην εποχή των
βιοκαυσίμων και των κλιματικών αλλαγών

ISBN 978-960-6865-12-1

Η αναπαραγωγή των εργασιών έχει γίνει με απευθείας φωτοαντιγραφή και την ευθύνη για το υλικό κάθε εργασίας έχουν οι συγγραφείς.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ) ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1993 με έδρα την Αθήνα και είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωργικών Μηχανικών (EurAgEng). Η ΕΓΜΕ οργανώνει κάθε δύο έτη το Πανελλήνιο Συνεδρίο της.

Ο παρόν τόμος αποτελεί τα πρακτικά του 6^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου της Γεωργικής Μηχανικής, που έλαβε χώρα στην Θεσσαλονίκη από 8-10 Οκτωβρίου 2009. Το θέμα του συνεδρίου ήταν «Η Γεωργική Μηχανική και η Μηχανική Βιοσυστημάτων στην εποχή των βιοκαυσίμων και των κλιματικών αλλαγών». Περιέχει 103 επιστημονικές ανακοινώσεις που παρουσιάστηκαν στο Συνέδριο. Όλες οι εργασίες κρίθηκαν από μέλη της Επιστημονικής Επιτροπής και άλλους ειδικούς επιστήμονες. Το συνέδριο οργανώθηκε υπό την αιγίδα της Γεωπονικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και υποστηρίχθηκε από τα μέλη του Τομέα Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής.

Στο Συνέδριο δόθηκε η ευκαιρία στο Επιστημονικό δυναμικό της χώρας μας να παρουσιάσει την πρόοδο της Επιστήμης και τις νέες μεθόδους προσέγγισης σε αντικείμενα που αφορούν τη διαχείριση των υδατικών και εδαφικών πόρων, τα γεωργικά μηχανήματα, τις αγροτικές κατασκευές, την επεξεργασία γεωργικών προϊόντων, την ενέργεια, τις νέες τεχνολογίες και το περιβάλλον.

Η Γεωργική Μηχανική τα τελευταία χρόνια μετεξελίχθηκε σε Μηχανική Βιοσυστημάτων διεθνώς αλλά και στη χώρα μας. Στη Μηχανική Βιοσυστημάτων αξιοποιούνται οι αρχές της μηχανικής και της βιολογίας για να δοθούν λύσεις σε προβλήματα που αφορούν τους ζωντανούς οργανισμούς και το φυσικό περιβάλλον. Έχει σαν στόχο την εξασφάλιση των απαραίτητων εφοδίων για τη ζωή: ασφαλή και επαρκή τρόφιμα για τη διατροφή, πόσιμο καθαρό νερό, καθαρά καύσιμα και πηγές ενέργειας, ασφαλές και υγιές περιβάλλον για τη διαβίωση.

Οι δύο προκλήσεις των ημερών είναι τα βιοκαύσιμα και η κλιματική αλλαγή. Είναι δύο θέματα που βρίσκονται στο επίκεντρο των ενδιαφερόντων των Μηχανικών Βιοσυστημάτων. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζεται από τις δραστηριότητες της Γεωργίας, αλλά και επηρεάζει την παραγωγικότητα φυτών και ζώων. Οι αναμενόμενες μεταβολές στη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία, τα πλημμυρικά φαινόμενα και τη ξηρασία θα επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών και τη διαβίωση των ζώων και του φυσικού περιβάλλοντος, όπου αναπτύσσονται και εκτρέφονται. Η διαχείριση της καλλιέργειας των αγρών ιδιαίτερα σε οργανικά εδάφη και των αποβλήτων των ζώων, επιβάλλεται για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, N₂O, CH₄). Η παραγωγή και η χρήση των βιοκαυσίμων αυξάνει συνεχώς. Συνδέεται, όμως με τη αύξηση της ζήτησης των προϊόντων ορισμένων καλλιεργειών, όπως αραβοσίτου, γεγονός που έχει επιπτώσεις στις τιμές τους και μερικές φορές στην ενίσχυση του επισιτιστικού προβλήματος και την κατασπατάληση υδατικών και εδαφικών πόρων.

Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες προς τα μέλη της Οργανωτικής και Επιστημονικής Επιτροπής του συνεδρίου, τους συγγραφείς και τους κριτές των εργασιών που αφιέρωσαν πολύτιμο χρόνο για την επιστημονικά αρτιότερη οργάνωση του συνεδρίου.

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

Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2009
Καθηγητής, Βασίλειος Ζ. Αντωνόπουλος
Πρόεδρος Οργανωτικής Επιτροπής

Οργανωτική Επιτροπή Συνεδρίου

Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ., πρόεδρος ΕΓΜΕ
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ., αντιπρόεδρος ΕΓΜΕ
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Παυλάτου-Βε Α., Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Βουγιούκας Σ., Επίκουρος Καθηγητής Α.Π.Θ., γραμματέας ΕΓΜΕ
Γεωργίου Π., Λέκτορας Α.Π.Θ., ταμίας ΕΓΜΕ
Τελόγλου Η., Επίκουρος Καθηγητής Α.Τ.Ε.Ι.Θ.
Ταμβακίδης Σ., Δρ. Γεωπόνος, υπάλληλος ΔΥ-ΠΚΜ
Εσκιάδης Δ., Πρόεδρος Εισαγωγέων-Κατασκευαστών Γεωργικών Μηχανημάτων
Ασχονίτης Β., Γραμματέας συνεδρίου

Επιστημονική Επιτροπή

Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Αντωνόπουλος Β., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Βουγιούκας Σ., Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ.
Γέμτος Θ., Καθηγητής Π.Θ.
Γεωργίου Π., Λέκτορας Α.Π.Θ.
Γιαννόπουλος Σ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Δαλέζιος Ν., Καθηγητής Π.Θ.
Ζήσης Θ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Καραμούζης Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Κατσούλας Ν., Λέκτορας Π.Θ.
Κερκίδης Π., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Κίττας Κ., Καθηγητής Π.Θ.
Λαμπρινός Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Μαρτζόπουλος Γ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μισοπολινός Ν., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπαμπατζιμόπουλος Χ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Μπριασούλης Δ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ., Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Παναγάκης Π., Επικ. Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παναγιωτόπουλος Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παπαδάκης Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.
Παπαμιχαήλ Δ., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παρισόπουλος Γ., ΕΘΙΑΓΕ
Παυλάτου-Βε Α., Αν. Καθηγήτρια Α.Π.Θ.
Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
Τσατσαρέλης Κ., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Κριτές Επιστημονικών Εργασιών

Αγγελοπούλου Κ.	Καλμπουρτζή Κ.	Μπόχτης Δ.
Ακριτίδης Κ.	Καλφούντζος Δ.	Μυστριώτης Α.
Αλεξίου Ι.	Κανακούδης Β.	Νάνος Γ.
Αλχανάκης Β.	Καραμούζης Δ.	Νάτσης Α.
Αλεξανδρίδης Θ.	Καραρίζος Π.	Νικήτα-Μαρτζοπούλου Χ.
Αναγνωστόπουλος Π.	Καρπούζος Δ.	Ντιούδης Π.
Αναγνωστοπούλου Χ.	Καρυδάς Χ.	Ξανθόπουλος Γ.
Αναστασιάδου-Παρθενίου Ε.	Κατσανίδης Ε.	Παναγάκης Π.
Αντωνόπουλος Β.	Κατσούλας Ν.	Παναγιωτόπουλος Κ.
Αραμπατζής Γ.	Κεραμίδας Β.	Παπαδάκης Γ.
Αργυροκαστρίτης Ι.	Κερκίδης Π.	Παπαδόπουλος Α.
Βαρζάκας Θ.	Κίττας Κ.	Παπαμιχαήλ Δ.
Βουγιούκας Σ.	Κολοκυθά Ε.	Παρισόπουλος Γ.
Βουδούρης Κ.	Κουνδουράς Σ.	Πατέρας Δ.
Βύρλας Π.	Κωστοπούλου Σ.	Παυλάτου-Βε Α.
Γέμτος Θ.	Κωτσόπουλος Θ.	Ράπτη Ε.
Γεωργίου Π.	Κωτσόπουλος Σ.	Σαπουντζής Μ.
Γιαννόπουλος Σ.	Λαζαρίδης Χ.	Σέμος Α.
Γιαννούλη Π.	Λαμπρινός Γ.	Ταμβακίδης Σ.
Γράβαλος Ι.	Λουκάς Α.	Τούλιος Λ.
Δαναλάτος Ν.	Μαλάμος Ν.	Τσατσαρέλης Κ.
Δεδούσης Α.	Μαμώλος Α.	Υψηλάντης Ι.
Δέρκας Ν.	Ματσή Θ.	Φερεντίνος Κ.
Δημητριάδης Α.	Μαυρογιαννόπουλος Γ.	Φουντάς Σ.
Διαμαντοπούλου Μ.	Μισοπολινός Ν.	Φράγκος Β.
Ελμαλόγλου Σ.	Μόσχου Δ.	Χατζηγιαννάκης Ε.
Ζαλίδης Γ.	Μπαμπατζιμόπουλος Χ.	Χρήστου-Βαρσακέλης Δ.
Ζήσης Θ.	Μπαρμπαγιάννης Ν.	Ψυχογιού Μ.
Καλαβρουζιώτης Ι.	Μπαρτζάνας Θ.	

Επικοινωνία – αλληλογραφία - πληροφορίες

Αντωνόπουλος Βασίλης

Καθηγητής Α.Π.Θ.

Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
54124 Θεσσαλονίκη

Τηλ. 2310-998745, 2310-998716, 2310-998752

Fax: 2310-998767

E-mail: vasanton@agro.auth.gr, egme2009@gmail.com

Internet: www.egme.gr, www.egme2009.web.auth.gr

EurAgEn: www.eurageng.org

ΧΟΡΗΓΟΙ

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



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΩΝ



Scientact a.Ε.



ΑΓΡΕΚ

Κ. ΣΑΜΑΝΤΟΥΡΟΣ Α.Ε.



ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ

Θερμικήτια – Μεταλλικά Κτίρια - Εξοπλισμός
ΒΙ.Π.Ε.Θ ΣΙΝΔΟΥ Τ.Θ. 1144, 570 22 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
TEL. +30-2310-797001/3 FAX :+30-2310-797004
Web. www.geotherm.gr , E.mail : geotherm@otenet.gr

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ



Υδατικοί Πόροι

- ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ – ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SWBACROS
Χ. Καλλιτσάρη, Π. Γεωργίου και Χ. Μπαμπατζιμόπουλος 3
- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΟΡΥΖΩΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΗΣ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ VAN GENUCHTEN
Β.Γ. Ασχονίτης και Β.Ζ. Αντωνόπουλος..... 11
- Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΙΟΥ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ
ΚΑΙ ΣΤΗ ΒΑΘΙΑ ΔΙΗΘΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ
ΑΡΔΕΥΣΗΣ
Ε. Διαμαντόπουλος και Σ. Ελμαλόγλου..... 19
- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ WAVE ΣΤΙΣ
ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ
Ι.Γ. Αλεξίου, Δ.Μ. Παπαμιχαήλ και Β.Ζ. Αντωνόπουλος 27
- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΓΡΟ ΥΠΟ
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
SWMS_3D
Β.Ζ. Αντωνόπουλος και Σ.Α. Κωτσόπουλος..... 35
- ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SALTMED ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ
ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
Δ. Καλφούντζος, R. Ragab, Π. Βύρλας, Π. Καλφούντζος και Δ. Πατέρας 43
- ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΥ
ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΡΤΑΣ
Ι.Α. Τσιρογιάννης και Σ. Τριάντος..... 51
- ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ WET ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ
ΥΓΡΑΣΙΑΣ
Γ. Κάργας και Π. Κερκίδης..... 59
- ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΕΣΣΕΡΕΙΣ ΔΙΑΔΟΧΙΚΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΣΤΗΝ
ΑΘΗΝΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ
ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ
Κ.Π. Μουστρής, Ι.Κ. Λαρίσση και Α.Γ. Παλιατσός..... 67
- ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΓΝΩΣΕΙΣ
ΚΑΙΡΟΥ ΓΙΑ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Ι. Πυθαρούλης..... 75
- ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΧΕΙΜΩΝΑ
Γ. Δημόκας, Κ. Κίττας και Μ. Tchamitchian 83
- ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
Χ. Ράπτη, Χ. Ευαγγελίδης και Γ. Αραμπατζής 91
- ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΣΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ
Β.Θ. Αμπας, Ε.Α. Μπαλτάς, Δ.Μ. Παπαμιχαήλ και Π.Ε. Γεωργίου..... 99

- ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΙΟΝΗΣΗΣ ΔΥΟ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ
ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
*Ι. Αργυροκαστρίτης, Σ. Φραγκίστα, Χ. Βαμβακούλας, Θ. Δαμιανίδης,
Σ. Αλεξανδρή και Π. Παπαστυλιανού..... 107*
- ΜΙΚΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΓΙΑ
ΠΑΤΑΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΡΚΑΔΙΑ
Ν. Προύτσος, Α. Λιακατάς, Α. Κοτρώζου και Σ. Αλεξανδρή..... 115
- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (ΣΥΜΒΙΒΑΣΤΙΚΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ) ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΛΙΒΑΔΙΟΥ ΛΑΡΙΣΗΣ
Π. Καρασαββίδης, Χ. Τζιμόπουλος και Χ. Ευαγγελίδης..... 123
- ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ
ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΝΕΣΤΟΥ
Χ. Τζιμόπουλος, Σ. Γιαννόπουλος και Χ. Ευαγγελίδης..... 131
- ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ BOUSSINESQ
ΓΙΑ ΤΗ ΜΗ ΜΟΝΙΜΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ
Η. Τελόγλου και Θ. Ζήσης..... 139
- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΤΩΝ
ΔΙΑΣΤΡΩΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ TOKSÖZ - KIRKHAM
Μ.Ε. Θεοχάρης 147
- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΗΣ
ΠΡΕΣΠΙΑΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ
Γ. Παρισόπουλος, Μ. Μαλακού, Γ. Σαπουντζάκης και Μ. Γιαμούρη 155
- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΙΣ
ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΕΣ ΑΠΟΡΡΟΕΣ
Κ. Σούλης, Π. Λόντρα, Δ. Αλωνιστιώτη, Ε. Πολλάλης και Ι. Βαλιάντζας..... 163
- ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ
ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
Κ. Χατζηπαραδείση, Κ. Τολίκα και Ν. Θεοδοσίου..... 171

Εδαφικοί Πόροι

-
- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΒΕΣΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΝΡΚ ΣΤΗ
ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΠΝΟΥ
(VIRGINIA) ΣΕ ΟΞΙΝΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΗΝ ΘΕΣΣΑΛΙΑ
Ε. Σταυρινός, Α. Δημήτρου, Γ. Ζαλίδης, Ν. Μισσοπολινός, Γ. Μπίλας..... 181
 - ΧΡΗΣΗ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΑΠΟ ΚΑΛΑΜΙΩΝΕΣ (*Phragmites australis*) ΓΙΑ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΟΜΠΟΣΤΑΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
Α. Τσιμπέλη, Α. Παυλάτου-Βε, Σ. Κωστοπούλου, Α. Μαμάλος και Κ. Καλμπουρτζή..... 189
 - ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΚΑΙ ΤΗ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΑΛΑΤΟΥΧΟΥ-ΝΑΤΡΙΩΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
Σ.Κ. Κωστοπούλου και Σ. Τάτσης 197
 - ΔΟΚΙΜΗ ΤΗΣ USLE ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ
Δ. Πατέρας, Χ. Τερζοπούλη και Θ. Γέμτος 205
 - ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΟΞΙΝΑ ΚΑΙ ΑΣΒΕΣΤΩΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ
Β. Αντωνιάδης, Δ. Μπαχτσεβανίδης και Φ. Χαντζής 213

- Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΟΜΑΛΩΝ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
Π.Σ. Βαγγελάτου, Θ.Ε. Σιμιτοπούλου και Κ.Χ. Αγγελόπουλος..... 221
- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΟ ΚΡΙΘΑΡΙ
Χ. Πασχαλίδης, Β. Καββαδίας, Δ. Πετρόπουλος, Α. Κορίκη και Α. Πανδής..... 229
- ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΦΟΡΤΙΟ
Χ. Χαλβατζής και Ι.Κ. Καλαβρουζιώτης 235

Υπολογιστικά Μοντέλα στη Γεωργική Μηχανική

- ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΞΩΔΟΥΣ ΡΟΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΤΟΞΩΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ
Δ.Α. Κατέρης, Ι.Ν. Ντάντος, Σ. Παπουτσή–Ψυχουδάκη και Β.Π. Φράγκος..... 245
- ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΕΚΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΑΥΤΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΓΡΑΦΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΔΕΣΜΗΣ (H-ADCP)
Σ. Βουγιούκας, Δ. Παπαμιχαήλ, Π. Γεωργίου και Δ. Παπαδήμος..... 253
- ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΥΟ ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ
Ι.Ν. Ντάντος, Δ.Α. Κατέρης, Σ. Παπουτσή–Ψυχουδάκη και Β.Π. Φράγκος..... 261
- ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ & ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ
Κ. Μπαζεβάνου, Δ. Φεΐδαρος, Δ. Παπαναστασίου, Θ. Μπαρτζάνας και Κ. Κίττας 269
- ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΕ ΤΥΠΙΚΟ ΤΟΞΩΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ
Θ. Μπαρτζάνας, Δ. Φεΐδαρος, Α. Μπαζεβάνου και Κ. Κίττας..... 277
- ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ ΜΕ ΦΥΤΕΜΕΝΗ ΟΡΟΦΗ
Δ. Φεΐδαρος, Κ. Μπαζεβάνου, Θ. Μπαρτζάνας και Κ. Κίττας..... 285

Τεχνολογία Περιβάλλοντος

- ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΑΛΓΗ ΚΑΙ ΜΕ ΜΑΚΡΟΦΥΤΑ (DUCKWEED) ΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΟΘΡΟΛΥΜΑΤΩΝ
Φ.Η. Παπαδόπουλος και Β.Α. Τσιχριντζής 295
- ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΕ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΞΙΑΣ
Φ.Δ. Γάλλιον, Δ.Κ. Καρπούζος και Δ. Καραμούζης 303
- ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΕΥΡΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ
Α. Πανώρας, Α. Ηλίας, Ε. Χατζηγιαννάκης, Γ. Αραμπαζής, Α. Ζδράγκας, Α. Παναγόπουλος, Σ. Σωτηράκη, Η. Παρούσης, Γ. Πανώρας, Θ. Μπόγιας, Α. Σουπίλας και Α. Νούλα..... 311
- ΑΖΩΤΟΥΧΟΣ ΛΙΠΑΝΣΗ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕ ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ
Ν. Δαναλάτος, Σ. Αρχοντούλης, Δ. Μπαρτζιάλης, Α. Σιάνου, Δ. Ζαϊτούδης..... 321
- ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
Δ. Μπριασούλης, Μ. Χισκάκης, Ε. Μπάμπου, Σ. Αντίοχος και Κ. Παπάδη..... 329

- ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]
Α.Β. Κουβέλας και Κ.Χ. Αγγελόπουλος..... 341
- ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ
ΣΕ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΣΜΟ
Δ.Κ. Παπαναστασίου, Δ. Φεΐδαρος, Α. Μπαζεβάνου, Θ. Μπαρτζάνας και Κ. Κίττας..... 349
- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΕΙΦΟΡΙΑΣ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΟΜΑΛΩΝ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ
Θ.Ε. Σιμιτοπούλου, Π.Σ. Βαγγελάτου και Κ.Χ. Αγγελόπουλος..... 357

Οικονομικά Θέματα Γεωργικής Μηχανικής

- ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ
ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ
Α.Γ. Λιάπης, Π.Ε. Γεωργίου και Δ.Μ. Παπαμιχαήλ..... 367
- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΩΝ
ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
Δ. Παγίδης και Δ. Λατινόπουλος..... 375
- ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ
ΑΡΔΕΥΣΗΣ
Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Ε. Μυγδάκος και Χ. Παπανικολάου..... 383
- ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ
ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ
Π. Γεωργίου και Κ. Βουδούρης..... 391
- ΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΡΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ
ΘΕΣΣΑΛΙΑ
Α. Ταγαράκης, Χ. Καραμούτης, Χ. Καβαλάρης, Ε. Μυγδάκος και Θ.Α. Γέμτος..... 399
- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΛΑΧΑΝΟΥ:
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
Ε. Μυγδάκος, Α. Ρεζίτης, Ι. Σωτηρόπουλος και Μ. Ζώζουλα..... 407
- ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2006-2007
Ε. Μυγδάκος, Α. Ρεζίτης και Χ. Κελεπούρης..... 415

Γεωργικά Μηχανήματα - Εξοπλισμοί

- ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΑΘΙΣΜΑ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΣΕ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ
*Θ. Γιαλαμάς, Δ. Κατέρης, Ι. Γράβαλος, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος,
Χ. Δημητριάδης, Κ.Α. Τσατσαρέλης και Θ.Α. Γέμτος*..... 425
- ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ DIESEL
Ι. Γράβαλος, Ζ. Τσιρόπουλος, Θ. Γιαλαμάς, Δ. Κατέρης και Π. Ξυραδάκης..... 433
- ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ
Ι. Γράβαλος, Θ. Γιαλαμάς, Δ. Κατέρης, Ζ. Τσιρόπουλος και Π. Ξυραδάκης..... 441
- Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΑΙΘΕΡΙΟΥ ΕΛΑΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΒΑΝΤΑ
Χ.Ι. Δημητριάδης, J.L. Brighton, Ι.Φ. Κόκκορας, Μ.Ι. Κόκκορα και Θ. Γιαλαμάς..... 449
- ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ
ΔΙΣΚΟΣΒΑΡΝΑ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ
Χ.Κ. Κοτσακιώτη και Κ.Α. Τσατσαρέλης..... 457

• ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ <i>Α. Σβέρκου, Α. Νάτσης, Γ. Λαμπρινός και Θ.Α.Γέμτος</i>	465
• ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΑΘΙΣΜΑ ΤΟΥ ΧΕΙΡΙΣΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΡΟΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ <i>Θ.Α. Γιαλαμάς, Ι. Γράβαλος, Δ. Κατέρης, Π. Ξυραδάκης, Ζ. Τσιρόπουλος, Κ.Α. Τσατσαρέλης, Δ. Μόσχου και Θ.Α. Γέμτος</i>	471
• ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΘΑΡΟΥ ΗΛΙΕΛΑΙΟΥ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ & ΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ <i>Α. Μπαλαφούτης, Α. Παπαγιαννοπούλου, Α. Γερονικολού, Α. Νάτσης και Γ. Παπαδάκης</i>	479
• ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ <i>Σ. Πασιτόπουλος, Σ. Φουντάς και Θ. Γέμτος</i>	489
• ΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΟΩΘΗΤΗ ΓΑΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ <i>Π.Β. Καραρίζος, Ε.Α. Καραγιάννης, Ε.Ν. Λάμπου και Μ.Γ. Καλαϊτζή</i>	497
• ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ <i>Ε.Α. Καραγιάννης, Π.Β. Καραρίζος, Ε.Ν. Λάμπου και Κ.Π. Ζάννης</i>	505
• ΧΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ <i>Ε.Α. Καραγιάννης, Π.Β. Καραρίζος, Ε.Ν. Λάμπου και Μ.Γ. Καλαϊτζή</i>	513
• ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΣΠΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ <i>Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης και Θ.Α. Γέμτος</i>	521
• ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ <i>Ι.Γ. Αμπατζίδης, Ι.Α. Σπανομήτρος και Δ.Χ. Χατζημπεντέλης</i>	531

Αγροτικές Κατασκευές

• ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΤΟΞΩΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ <i>Χ. Παπαϊωάννου, Ν. Κατσούλας και Κ. Κίττας</i>	541
• ΣΥΜΒΟΛΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΩΣ ΥΔΡΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ <i>Γ. Ντίνας και Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου</i>	549
• ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ <i>Α. Γιαννούλης, Α. Μυστριώτης και Δ. Μπριασούλης</i>	557
• ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ ΥΔΡΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ <i>Γ. Ντίνας, Ε. Καρανίκας και Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου</i>	567
• ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ <i>Κ. Κίττας, Ν. Κατσούλας, Θ. Μπαρτζάνας, Χ. Λύκας και Μ. Τσετσελίδου</i>	575

- ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΕΦΑΠΙΑΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ (BATCH DIGESTERS) ΣΤΗ ΜΕΣΟΦΙΛΗ ΖΩΝΗ
Π. Κούγιας, Α. Βέργος, Θ. Κωτσόπουλος και Γ. Μαρτζόπουλος 583

Νέες Τεχνολογίες στη Γεωργική Μηχανική

- ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ
Ι.Γ. Αμπατζίδης και Σ.Γ. Βουγιούκας..... 593
- ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΗΛΙΑΣ ΜΕ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕΣΩ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
Α.Α. Κουτσοστάθης, Δ. Μπόχτης, Α. Αγγελόπουλου, Σπ. Φουντάς και Θ. Γέμτος 601
- ΒΑΘΜΟΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΠΟΡΟΦΥΤΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ
Κ. Πεπονάκης, Ν. Κατσούλας και Κ. Κίττας 609
- ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΝΩΠΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΟΠΩΡΟΦΟΡΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ
Ι.Γ. Αμπατζίδης και Σ.Γ. Βουγιούκας..... 617
- ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΖΙΖΑΝΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΙΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ
Σ. Φουντάς, Κ. Μπουλουλής, Κ. Αγγελοπούλου, Ν. Γιαννόπουλος, Θ. Γέμτος, Γ. Νάνος, Α. Παρασκευόπουλος και Μ. Γαλάνης..... 625
- ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΦΥΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΚΕΡΑΣΜΟΥ ΠΟΛΥΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
Δ. Μόσχου..... 633
- ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΟΝ LGR ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ
Α. Ξενάκης, Α. Περλεπές, Π. Κίκiras και Γ. Σταμούλης..... 641
- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ Π. ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΕΦΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
Χ. Καρυδάς, Β. Αντωνόπουλος, Γ. Ζαλίδης, Δ. Παπαμιχαήλ και Ν. Συλλαίος..... 649
- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ
Γ. Στουγιάννης, Α. Περλεπές, Σ. Φουντάς, Θ.Α. Γέμτος και Π. Κίκiras..... 657
- ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
Δ.Δ. Μπόχτης, S.G. Sørensen, O. Green, A. Klose και K.A. Andersen..... 665
- ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΥΡΩΣΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
Α.Γ. Σολδάτος, Σ.Γ. Σαφαρίδης και Κ.Γ. Αρβανίτης 673
- ΧΡΗΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΕΓΓΥΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΦΩΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΡΑΧΙΔΑΣ
Α. Περιστέρόπουλος, Γ. Βελλίδης, Σ. Φουντάς και Θ.Α. Γέμτος..... 681

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Εξοικονόμηση Ενέργειας στη Γεωργία

- ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΡΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ
Χ. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Α. Ταγαράκης και Θ.Α. Γέμτος 691

• Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΡΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ <i>Θ.Α. Γέμτος, Χρ. Καβαλάρης, Χρ. Καραμούτης και Σπ. Φουντάς</i>	699
• ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΟΡΓΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ <i>Χ. Παπανικολάου και Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη</i>	707
• ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ <i>Κ.Χ. Αγγελόπουλος, Α.Β. Κούβελας, Α. Καμπράνης, Α.Ν. Θεοδωρακοπούλου</i>	715
• ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΥΡΟΓΑΛΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΥΓΡΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ <i>Αν. Κακούρος, Δ. Γεωργακάκης και Β. Φούντα</i>	721
• ΝΕΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ <i>Α. Λεβέντη και Γρ. Λαμπρινός</i>	729
• ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ <i>Μ. Χιονίδης και Γρ. Λαμπρινός</i>	737

Μετασυλλεκτική – Μετασυγκομιστική Τεχνολογία

• Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ» ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ <i>Α. Χριστόπουλος, Κ. Ρεκούμη και Ε. Μανωλοπούλου</i>	747
• ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΝΩΠΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΨΕΥΔΟΚΑΡΠΟΥ <i>Γ.Δ. Νάνος, Στ. Λεοντόπουλος και Θ. Γέμτος</i>	755
• Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΗΛΩΝ ΑΠΟ ΜΩΛΩΠΙΣΜΟΥΣ <i>Γ.Δ. Νάνος, Σ. Λεοντόπουλος και Θ. Γέμτος</i>	763
• ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟ ΑΕΡΑ ΕΔΩΔΙΜΟΥ ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ <i>AGARICUS BISPORUS</i> <i>Θ. Σωτηριάδης, Ε. Π. Αγγλογάλλος, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός</i>	771
• ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΣΕ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΑΛΙΕΥΜΑΤΩΝ <i>Ε.Γ. Χατζής, Κ.Δ. Σιαφαρίκας και Στ. Ψυχογιού</i>	779
• ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ» ΜΗΛΩΝ <i>GOLDEN DELICIOUS</i> ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ <i>Ε.Γ. Χατζής, Ε. Μανωλοπούλου, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός</i>	787
• ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΤΟΜΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ <i>AGARICUS BISPORUS</i> <i>Ε-Π. Αγγλογάλλος, Θ. Σωτηριάδης, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός</i>	795
• ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΑΜΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΩΣ ΒΙΟΜΑΖΑ <i>Α.Ν. Δημητριάδης</i>	805
• ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΤΡΙΩΝ ΣΤΕΛΕΧΩΝ ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ <i>AGARICUS BISPORUS</i> <i>Α. Κέφη, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Μανωλοπούλου και Γρ. Λαμπρινός</i>	815

- ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΟΥ ΜΗΛΟΥ»
Delicious Pilafa
Ε. Μανωλοπούλου, Γρ. Λαμπρινός, Γ. Ξανθόπουλος, Ε. Χατζής και
Ε. Αραβαντινός–Καρλάτος..... 823
- ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
Στ. Ψυχογιού, Α. Κατσογιάννη, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Ξανθόπουλος
Ε. Χατζής και Γρ. Λαμπρινός 831
- ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΑΖΑΣ ΝΩΠΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕ ΨΥΞΗ
Στ. Ψυχογιού, Α. Κατσογιάννη, Ε. Μανωλοπούλου, Γ. Ξανθόπουλος και
Γρ. Λαμπρινός..... 841
- ΤΕΧΝΗΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ ΛΕΥΚΩΝ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ
AGARICUS BISPORUS ΣΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ
Θ. Σωτηριάδης, Π–Ε Αγγλογάλλος, Γ. Ξανθόπουλος και Γρ. Λαμπρινός 849

Ευρετήριο Συγγραφέων **857**

Θεματικό Ευρετήριο **863**

6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο
της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος



ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΤΟΞΩΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Χ. Παπαϊωάννου¹, Ν. Κατσούλας² και Κ. Κίττας³

¹Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων (πρώην Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων), Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τ.Ε.Ι. Λάρισας, 41110, Λάρισα

^{2,3}Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος,

Τμήμα Γεωπονίας. Φ. Π. & Α. Π., Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,

Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

E-mail: ¹xrpapa@teilar.gr, ²nkatsoul@uth.gr, ³ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία μελετάται η επίδραση των ανοιγμάτων αερισμού, της κόμης της καλλιέργειας και των οπτικών ιδιοτήτων του καλύμματος του θερμοκηπίου στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η διαφορετική διαπερατότητα των καλυμμάτων στην υπεριώδη ακτινοβολία προκάλεσε τις μεγαλύτερες αλλαγές κυρίως στην υπεριώδη περιοχή, τα ανοίγματα προκάλεσαν αύξηση των τιμών της διαπερατότητας σε όλες τις φασματικές περιοχές κυρίως στη θέση που βρίσκεται κοντά σε αυτά (έως 75%), ενώ η κόμη της καλλιέργειας τροποποίησε επίσης την κατανομή της ακτινοβολίας καθ' ύψος στο θερμοκήπιο.

Λέξεις κλειδιά: διαπερατότητα, χωρική κατανομή, υλικό κάλυψης.

SPATIAL SOLAR RADIATION DISTRIBUTION UNDER MODIFIED ARCHED GREENHOUSE

Ch. Papaioannou¹, N. Katsoulas² and C. Kittas³

¹Dept. of Biosystems Engineering (fr. Agricultural Machinery and Irrigation), Sch. of Agr. Technology, Technological Educational Institute of Larissa, 41110, Larissa Greece

²Lab. of Agricultural Constructions and Environmental Control,

Dept. of Agriculture Crop Prod. & Rural Env., University of Thessaly,

Fytokou St., 38446, N. Ionia, Greece

E-mail: ¹xrpapa@teilar.gr, ²nkatsoul@uth.gr, ³ckittas@uth.gr

ABSTRACT

Aim of the study was the investigation of the influence of greenhouse ventilation openings, of the crop and of the greenhouse cover materials' optical properties on light quality and quantity spatial distribution in the greenhouse. The differences in UV-absorption properties of the cover materials affected the light quality distribution inside the greenhouse especially near the side openings. The vegetation also created alternations in the profile of transmissivity spatial distribution along the greenhouse area.

Key words: transmissivity, spatial distribution, greenhouse openings.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποιότητα και ποσότητα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου και η κατανομή της σε αυτό εξαρτάται κυρίως από τη διαπερατότητα του καλύμματος, ενώ σημαντικό ρόλο σχετικά με την ποσότητα έχει ο σκελετός του θερμοκηπίου. Παράλληλα όταν το κάλυμμα του θερμοκηπίου δεν είναι περατό σε ορισμένα μήκη κύματος (π.χ. UV ακτινοβολία) η ύπαρξη ανοιγμάτων αερισμού και η είσοδος της ακτινοβολίας μέσα από αυτά, μπορεί να διαφοροποιήσει την ποιότητα της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Τέλος, καθώς η καλλιέργεια δεν απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία με την ίδια ένταση σε όλα τα μήκη κύματος, η ύπαρξή της μπορεί να διαφοροποιεί την ποιότητα της ακτινοβολίας καθ' ύψος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Για τον χαρακτηρισμό της μορφογενετικά ενεργού ακτινοβολίας (*MAR*) των φωτοϋποδοχέων των φυτών που σχετίζονται με το κρυπτόχρωμα, χρησιμοποιείται ο λόγος της ροής των φωτονίων στο φάσμα του μπλε προς το κόκκινο, B/R και του μπλε προς το κοντινό υπέρυθρο B/FR. (Rajapakse et al., 1992, Maas et al., 1995), ενώ στις καλλιέργειες υπό κάλυψη, ο συνηθέστερος τρόπος για να μετρηθεί η τιμή του φυτοχρώματος, είναι ο καθορισμός του λόγου της ροής των φωτονίων στο κόκκινο φάσμα, προς το κοντινό υπέρυθρο R/FR (Mortensen and Stromme, 1987).

Οι Tourdonet et al. (2001) και Wang and Boulard (2000), χαρτογραφώντας τις τιμές της διαπερατότητας θερμοκηπίου τύπου τούνελ στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώ δεν βρήκαν διαφορές στον διαμήκη άξονα του θερμοκηπίου, βρήκαν διαφορές κατά μήκος του εγκάρσιου άξονα του θερμοκηπίου. Ανακοίνωσαν λοιπόν ότι η περατότητα έχει μέγιστη τιμή στο κέντρο, ίση με 70% και στη συνέχεια η τιμή αυτή μειώνεται συμμετρικά εκατέρωθεν ως την τιμή 50%, στην άκρη των πλαϊνών τοίχων. Οι παραπάνω ερευνητές μέτρησαν οι μεν πρώτοι την περατότητα σε θερμοκήπιο με προσανατολισμό Βορρά-Νότο και οι δεύτεροι αφού μέτρησαν την περατότητα σε θερμοκήπιο με προσανατολισμό Ανατολή-Δύση, στη συνέχεια έκαναν προσομοίωση σε θερμοκήπιο με προσανατολισμό Βορρά-Νότου. Και στις δύο περιπτώσεις η καλλιέργεια που υπήρχε στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν καλλιέργεια μαρουλιού στο έδαφος.

Όσον αφορά στην επίδραση της καλλιέργειας στην ποιότητα της ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, βρέθηκε ότι η καλλιέργεια τροποποιεί την ποιότητα της ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, λόγω της διαφορετικής ανάκλασης των φύλλων σε κάθε περιοχή του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα φύλλα των φυτών απορροφούν ισχυρά τα φωτόνια της μπλε και κόκκινης ακτινοβολίας, ενώ η απορρόφηση στο πράσινο και στο μακρινό κόκκινο (FR) δεν είναι ισχυρή και αρκετά φωτόνια των συγκεκριμένων φασμάτων, ανακλώνται από τη φυλλική επιφάνεια προς το περιβάλλον ως διάχυτη ακτινοβολία (Ballaré et al. 1995).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η διερεύνηση της επίδρασης των πλαϊνών ανοιγμάτων αερισμού του θερμοκηπίου της κόμης της καλλιέργειας τομάτας και των οπτικών ιδιοτήτων του καλύμματος του θερμοκηπίου, στην ποιότητα της ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

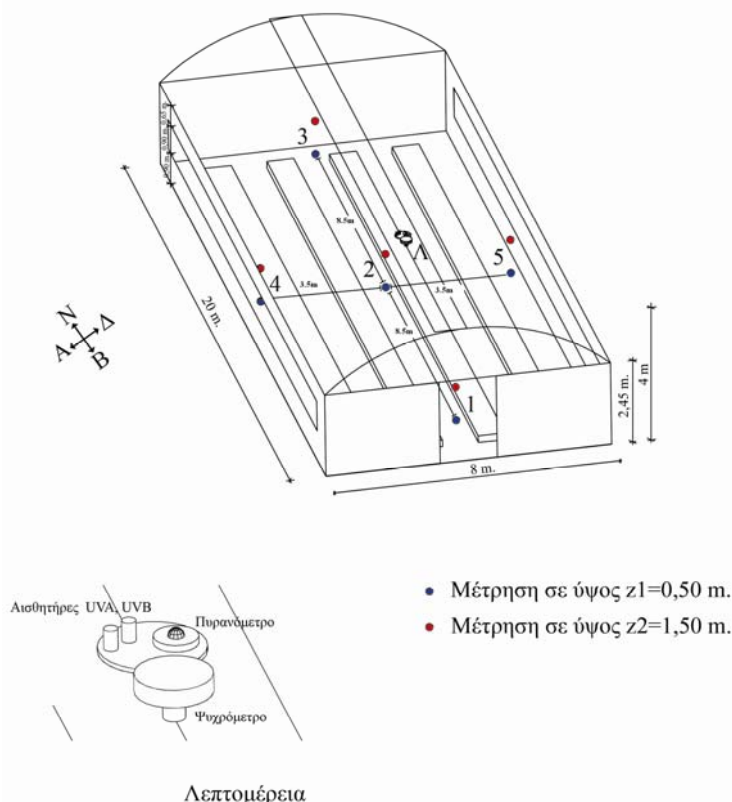
Σε δύο τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια C-PE (κοινό κάλυμμα) και UV-PE (απορροφητικό κάλυμμα στην υπεριώδη ακτινοβολία) μετρήθηκε στον αγρό (*in situ*) η διαπερατότητα του θερμοκηπίου κατά μήκος των 2 αξόνων συμμετρίας του [διαμήκη και εγκάρσιο (Σχ. 1)].

Ο αερισμός των θερμοκηπίων γινόταν με τη βοήθεια παραθύρων τοποθετημένων στις διαμήκεις πλευρές του θερμοκηπίου, τα οποία άνοιγαν αυτόματα όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό ξεπερνούσε τους 23°C. Στο θερμοκήπιο υπήρχε υδροπονική

καλλιέργεια τομάτας εγκατεστημένη σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0.33 m επί της γραμμής και 0.75 m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, με πυκνότητα 2.4 φυτά/m². Το κλάδεμα και η διαμόρφωση της κόμης γινόταν σύμφωνα με την τεχνική που ακολουθείται από τους παραγωγούς (μονοστέλεχη, το ύψος της οποίας κατά την περίοδο διεξαγωγής των μετρήσεων έφθανε τα 2.0 m).

Οι μετρήσεις έγιναν με φορητό φασματοφωτόμετρο (τύπου *LI-1800 LI-COR, Lincoln, NE, USA*) και από το πηλίκο της τιμής που μετρούνταν στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προς την τιμή που μετρούνταν έξω από το θερμοκήπιο, προέκυψε η διαπερατότητα του θερμοκηπίου στην περιοχή του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας από τα 300 nm έως τα 1100 nm. Οι μετρήσεις έγιναν για την περίπτωση με ανοιχτά ή κλειστά παράθυρα σε δύο επίπεδα καθ' ύψος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ($Z_1=0.5$ m και $Z_2=1.5$ m από το έδαφος του θερμοκηπίου) και για περιόδους με (8.7.2004 έως 9.7.2004) ή χωρίς (3.8.2004 έως 9.8.2004) καλλιέργεια. Έγινε προσπάθεια οι ομάδες των μετρήσεων εσωτερικά των θερμοκηπίων καθώς και οι αντίστοιχες εξωτερικές τιμές (από τη διαίρεση των οποίων θα εξαγονταν η περατότητα κάθε θέσης) να μη διαφέρουν χρονικά περισσότερο από 10 min, ώστε οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας εξωτερικά να είναι συγκρίσιμες. Οι μετρήσεις γίνονταν κατά το ηλιακό μεσημέρι (11:00 – 13:00) τους θερινούς μήνες, απουσία νεφών. Οι 3 φασματικές περιοχές για τις οποίες έγιναν οι αναλύσεις, ήταν οι UV-A (315-380 nm), BLUE (400-500 nm) και PAR (400-700 nm).

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η UV-A (315- 380 nm) και η UV-B (290-315 nm) ακτινοβολία μέσα και έξω από τα θερμοκήπια.



Σχήμα 1. Θέσεις δειγματοληψίας με το φορητό φασματοφωτόμετρο και θέσεις αισθητήρων μέτρησης UV-A και UV-B ακτινοβολίας, του πυρανόμετρου και του ψυγρόμετρου.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΑΞΟΝΩΝ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

3.3.1. Εγκάρσιος άξονας

Όταν δεν υπήρχε καλλιέργεια στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με το απορροφητικό κάλυμμα στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV-PE), παρατηρήθηκε μείωση των τιμών της διαπερατότητας κατά τη μετάβαση από τη νοτιοανατολική (ΝΑ) στη βορειοδυτική θέση (ΒΔ) του θερμοκηπίου, ανεξάρτητα αν τα παράθυρα ήταν ανοιχτά ή κλειστά. Η μείωση αυτή ήταν εμφανέστερη στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας, χωρίς όμως να παύει να ισχύει και στις άλλες δύο περιοχές του φάσματος που μετρήθηκαν δηλαδή τη BLUE και PAR φασματική περιοχή. Συγκεκριμένα χωρίς την καλλιέργεια, στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας, η διαφορά στις τιμές της διαπερατότητας μεταξύ των ακραίων θέσεων (4 και 5) του εγκάρσιου άξονα του θερμοκηπίου ήταν για το κάτω επίπεδο 35% και 50% αντίστοιχα για ανοιχτά ή κλειστά παράθυρα και 58% και 48% για το επάνω επίπεδο, επίσης αντίστοιχα (Πίνακας 1). Με την παρουσία της καλλιέργειας παρατηρήθηκε μεν η ίδια τάση μείωσης της διαπερατότητας στην υπεριώδη ακτινοβολία κατά τη μετάβαση από τη ΝΑ στη ΒΔ θέση του εγκάρσιου άξονα του θερμοκηπίου, αλλά αυτό συνέβη μόνο στην περίπτωση κατά την οποία τα παράθυρα του θερμοκηπίου ήταν ανοιχτά, όπου η διαφορά μεταξύ των ακραίων θέσεων (δηλ των θέσεων 4 και 5) ήταν 26% και 49% στα κάτω και επάνω επίπεδα αντίστοιχα (Πίνακας 2).

Πίνακας 1. Σύγκριση της διαπερατότητας (%) του εγκάρσιου άξονα του θερμοκηπίου UV-PE στα δύο επίπεδα, χωρίς καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

		επίπεδο Z ₁			επίπεδο Z ₂		
	Θέση	4	2	5	4	2	5
UVA	Κλειστά	16α	12αβ	8β	16α	11αβ	8β
	Ανοιχτά	23α	13b	15b	19α	12ab	8b
BLUE	Κλειστά	58γ	56δ	51ε	57δ	54ε	56δε
	Ανοιχτά	58c	58c	52d	65c	59d	53e
PAR	Κλειστά	68ζ	59η	61η	65ζ	61η	64ζ
	Ανοιχτά	65e	64e	59f	73f	66g	62h

Πίνακας 2. Σύγκριση της διαπερατότητας (%) του εγκάρσιου άξονα του θερμοκηπίου UV-PE στα δύο επίπεδα, με καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

		επίπεδο Z ₁			επίπεδο Z ₂		
	Θέση	4	2	5	4	2	5
UVA	Κλειστά	10α	8α	8α	13α	11α	9α
	Ανοιχτά	18α	9c	14b	16α	10ab	8b
BLUE	Κλειστά	40γ	46β	40γ	50γ	59β	60β
	Ανοιχτά	44e	46d	39f	58c	54d	55d
PAR	Κλειστά	49ε	55δ	49ε	58ζ	67ε	69δ
	Ανοιχτά	53h	55g	47i	66e	59g	62f

Όταν τα παράθυρα ήταν κλειστά, στο κάτω επίπεδο (Z₁) παρατηρείται διαφοροποίηση στις τιμές της διαπερατότητας του εγκάρσιου άξονα στις BLUE και PAR φασματικές περιοχές. Δηλαδή οι τιμές της διαπερατότητας μειώνονται εκατέρω-

θεν του κέντρου, κατά 10% έως 15% (Πίνακας 2). Φαίνεται ότι η παρουσία της φυτικής μάζας τροποποιεί την κατανομή της ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο κατά τον εγκάρσιο άξονα, λόγω της διαφορετικής απορρόφησης του φύλλου της καλλιέργειας, σε συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και για την περίπτωση του θερμοκηπίου μάρτυρα (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).

3.3.1. Διαμήκης άξονας

Όσον αφορά στις τιμές της διαπερατότητας στον διαμήκη άξονα του θερμοκηπίου, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε καμιά περιοχή του φάσματος. Συγκεκριμένα, όταν τα παράθυρα του θερμοκηπίου ήταν ανοιχτά και δεν υπήρχε καλλιέργεια στο εσωτερικό του, η διαπερατότητα του διαμήκους άξονα στο φάσμα της UV-A περιοχής στο Z_1 επίπεδο κυμαίνονταν μεταξύ του 12% και 13%, ενώ για τις άλλες δύο περιοχές του φάσματος μεταξύ του 56% και 59%, και 58% και 60% για τις BLUE και PAR περιοχές, αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες τιμές για το επίπεδο Z_2 ήταν 11%–13%, 58%–59% και 64%–66%, αντίστοιχα (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Σύγκριση της διαπερατότητας (%) του διαμήκους άξονα του θερμοκηπίου UV-PE στα δύο επίπεδα, χωρίς καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

		επίπεδο Z_1			επίπεδο Z_2		
Θέση		1	2	3	1	2	3
UVA	Κλειστά	16α	14α	15α	12α	11α	11 ^a
	Ανοιχτά	12a	13a	13a	13a	11a	11a
BLUE	Κλειστά	58β	58β	58β	58β	55β	58β
	Ανοιχτά	58b	57b	56b	59b	59b	58b
PAR	Κλειστά	66γ	65γ	63γ	66ζ	67ε	68δ
	Ανοιχτά	58c	59c	60c	66c	66c	64c

Πίνακας 4. Σύγκριση της διαπερατότητας (%) του διαμήκους άξονα του θερμοκηπίου UV-PE στα δύο επίπεδα, με καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

		επίπεδο Z_1			επίπεδο Z_2		
	Θέση	1	2	3	1	2	3
UVA	Κλειστά	9α	8α	9 ^α	12α	11α	12 ^α
	Ανοιχτά	9a	9a	8a	13a	10ab	10b
BLUE	Κλειστά	46β	45β	48β	60γ	59β	59β
	Ανοιχτά	46b	46b	47b	57c	54b	57b
PAR	Κλειστά	56γ	57γ	55γ	69γ	67γ	65γ
	Ανοιχτά	54c	55c	55c	62c	59c	62c

3.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Αν και το θερμοκήπιο ήταν καλυμμένο με απορροφητικό κάλυμμα στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας, εντούτοις φάνηκε ότι στο συγκεκριμένο φάσμα, το περιβάλλον του δεν επηρεάστηκε από τον εμπλουτισμό του με την ακτινοβολία που εισήλθε από τα παράθυρα, σε κανένα από τα 2 επίπεδα (Πίνακας 5). Με την παρουσία της καλλιέργειας στο εσωτερικό του ιδίου θερμοκηπίου, ενώ στο επάνω επίπεδο (Z_2) στο φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας οι τιμές της διαπερατότητας παρέμειναν ανεπηρέαστες από τη διάνοιξη των παραθύρων στο κάτω επίπεδο (Z_1) η διαπερατότητα

αυξήθηκε όταν άνοιξαν τα παράθυρα κατά 46 % και 68% αντίστοιχα στις θέσεις 4 και 5 (Πίνακας 6). Μάλιστα και για τις τρεις περιοχές του φάσματος, οι διαφορές οι οποίες προέκυψαν από τη διερεύνηση της μεταβολής της διαπερατότητας σε συγκεκριμένες θέσεις τόσο στον εγκάρσιο όσο και στον διαμήκη άξονα του θερμοκηπίου λόγω της διάνοιξης των παραθύρων, ήταν οι μεγαλύτερες στις θέσεις δίπλα στα παράθυρα, δηλαδή τις θέσεις 4 και 5 (Πίνακας 5, 6).

Πίνακας 5. Τιμές της διαπερατότητας (%) του διαμήκους (θέσεις 1, 2, 3) και του εγκάρσιου άξονα (θέσεις 4, 2, 5) του θερμοκηπίου UV-PE όταν τα παράθυρα είναι κλειστά (K) ή ανοικτά (A) στα 2 επίπεδα, χωρίς καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$)

Θέση		επίπεδο Z ₁					επίπεδο Z ₂				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
UVA	K	12a	12b	12c	6d	8e	12a	11b	11c	18d	8e
	A	15a	14b	13c	22d	14e	13a	12b	10c	21d	8e
BLUE	K	57a	56c	54e	60g	53i	57a	56c	55e	61g	53i
	A	51b	59d	58f	58h	53i	61b	60d	53f	69h	53i
PAR	K	64a	60c	58e	69g	62i	63a	62c	62e	68g	61i
	A	60b	64d	64f	66h	62i	68b	67d	55f	77h	61i

Πίνακας 6. Τιμές της διαπερατότητας (%) του διαμήκους (θέσεις 1, 2, 3) και του εγκάρσιου άξονα (θέσεις 4, 2, 5) του θερμοκηπίου UV-PE όταν τα παράθυρα είναι κλειστά (K) ή ανοικτά (A) στα 2 επίπεδα, με καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

Θέση		επίπεδο Z ₁					επίπεδο Z ₂				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
UVA	K	10a	9b	9c	10d	6f	13a	11b	11c	12d	9e
	A	9a	9b	9c	18e	17g	12a	10b	11c	14d	8e
BLUE	K	50a	48c	48d	39e	40g	63a	60c	56e	46g	63a
	A	47b	47c	49d	41f	44h	58b	57d	59f	53h	58b
PAR	K	59a	57c	56e	48f	50g	72a	68c	56e	53g	69i
	A	56b	56d	57e	49f	52h	66b	64d	66f	60h	64j

3.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το θερμοκήπιο με το κοινό κάλυμμα (C-PE) εμφάνισε αυξημένη διαπερατότητα στο φάσμα της UV-A ακτινοβολίας σε σχέση με το θερμοκήπιο το οποίο ήταν καλυμμένο με απορροφητικό κάλυμμα στην υπεριώδη ακτινοβολία, είτε υπήρχε καλλιέργεια μέσα στο θερμοκήπιο (Πίνακας 9, 10) είτε όχι. Εν γένει στο φάσμα της UV-A ακτινοβολίας, όταν υπήρχε καλλιέργεια στα θερμοκήπια, το θερμοκήπιο με το κοινό κάλυμμα εμφάνισε στο επάνω επίπεδο μέχρι και 79 % ή 76 % αυξημένη διαπερατότητα από το θερμοκήπιο το οποίο ήταν καλυμμένο με απορροφητικό κάλυμμα στην υπεριώδη ακτινοβολία για ανοιχτά και ή κλειστά τα παράθυρα αντίστοιχα. Και στο κάτω επίπεδο η διαφορά αυτή ήταν επίσης αρκετά μεγάλη όταν τα παράθυρα ήταν κλειστά, ενώ όταν τα παράθυρα ήταν ανοιχτά, παρατηρήθηκαν μικρότερες διαφορές (58 %).

Πίνακας 7. Σύγκριση της διαπερατότητας (%) σε συγκεκριμένες θέσεις του διαμήκους (1, 2, 3) και εγκάρσιου άξονα (4, 2, 5) για παράθυρα ανοικτά, χωρίς καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

	Θέση	επίπεδο Z_1					επίπεδο Z_2				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
UVA	C-PE	31a	32c	32e	27g	38h	34a	33c	29e	21g	36h
	UV-PE	14b	12d	12f	23g	16i	12b	12d	12f	17g	8i
BLUE	C-PE	54a	56c	57d	55f	59h	59a	58b	56c	53e	60g
	UV-PE	58b	58c	59e	57g	51i	58a	59b	59d	60f	53h
PAR	C-PE	59a	63c	61d	63f	66h	67a	66c	69d	60f	65h
	UV-PE	66b	64c	66e	65g	57i	64b	65c	66e	68g	621i

Πίνακας 8. Σύγκριση της διαπερατότητας (%) σε συγκεκριμένες θέσεις του διαμήκους (1, 2, 3) και εγκάρσιου άξονα (4, 2, 5) για παράθυρα κλειστά, χωρίς καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

	Θέση	επίπεδο Z_1					επίπεδο Z_2				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
UVA	C-PE	33a	33c	30e	20g	32h	33a	31c	31e	18g	35h
	UV-PE	15b	12d	12f	15g	7i	12b	11d	11f	14g	9i
BLUE	C-PE	59a	59b	57d	50f	57h	58a	55c	54e	47g	60i
	UV-PE	60a	56c	60e	57g	50i	60b	53d	60f	53h	59i
PAR	C-PE	67a	67c	64e	59g	64i	64a	63c	60e	55g	67i
	UV-PE	69b	59d	68f	66h	59j	67b	61d	67f	62h	67i

Πίνακας 9. Σύγκριση της διαπερατότητας (%) μεταξύ των θερμοκηπίων σε συγκεκριμένες θέσεις του διαμήκους (1, 2, 3) και εγκάρσιου άξονα (4, 2, 5) όταν τα παράθυρα είναι ανοικτά, με καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

	Θέση	επίπεδο Z_1					επίπεδο Z_2				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
UVA	C-PE	24a	21c	20e	20g	32h	36a	37c	36e	23g	38h
	UV-PE	9b	9d	8f	19g	10i	11b	10d	11f	18g	8i
BLUE	C-PE	42a	35c	36e	42g	47i	56a	52c	55e	63g	52i
	UV-PE	44b	46d	44f	48h	34j	62b	64d	64f	59h	64j
PAR	C-PE	48a	36c	37e	51g	55i	62a	54c	59e	72g	61i
	UV-PE	53b	54d	53f	58h	41j	71b	73d	72f	68h	73j

Πίνακας 10. Σύγκριση της διαπερατότητας (%) μεταξύ των θερμοκηπίων σε συγκεκριμένες θέσεις του διαμήκους (1, 2, 3) και εγκάρσιου άξονα (4, 2, 5) όταν τα παράθυρα είναι κλειστά, με καλλιέργεια. (Διαφορετικά γράμματα στην ίδια γραμμή υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά για επίπεδο σημαντικότητας $p=0.05$).

	Θέσεις	επίπεδο Z_1					επίπεδο Z_1				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
UVA	C-PE	24a	26c	26e	14g	25h	32a	32c	37e	20g	37h
	UV-PE	8b	8d	9f	11g	6i	12b	11d	11f	15g	9i
BLUE	C-PE	40a	44c	44d	37f	46h	58a	58c	60e	54g	59i
	UV-PE	43b	44c	48e	41g	40i	56b	57d	63f	50h	62j
PAR	C-PE	44a	50c	46e	46g	54i	66a	65c	68e	63g	68i
	UV-PE	52b	53d	58f	51h	49j	62b	63d	72f	59h	69i

Στις άλλες δύο περιοχές του φάσματος δηλαδή στις περιοχές της BLUE και της PAR ακτινοβολίας χωρίς την καλλιέργεια, θα μπορούσε να διατυπωθεί ότι η διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων στη διαπερατότητα στα αντίστοιχα φάσματα ήταν μηδαμινή, γιατί βρέθηκαν μικρότερες διαφορές μέχρι και 14%. Όταν υπήρχε καλλιέργεια στα θερμοκήπια η διαφορά αυτή ήταν μεγαλύτερη.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς της εργασίας θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την βιομηχανία «Πλαστικά Κρήτης Α.Ε.» για την παροχή των πλαστικών φύλλων κάλυψης των πειραματικών θερμοκηπίων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ballaré, C.L., Barnes, P.W. & Flint, S.D., 1995. *Inhibition of hypocotyl elongation by ultraviolet- B radiation in de-etiolating tomato seedlings. 1. The photoreceptor.* Physiologia Plantarum 93: 584–592.
- Maas, F.M., Bakx, E.J., 1995. *Effects of light on growth and flowering of Rosa Hybrida “Mercedes”.* Journal of the American Society for horticultural Science, 120, 571-576.
- Mortensen, L.M., Stormme, E., 1987. *Effects of light quality on some greenhouse crops.* Scientia Horticulturae, 33, 27-36.
- Rajapakse, N.C., Kelly, J.W., 1992. *Regulation of the American Society of Horticulture Science.* 117, 481-485.
- Tourdonet, S., Meynard, J.-M., Lafolie, F., Jean Roger-Estrade, J., Jacques Lagier, J., Seiollotte, M., 2001. *Non-uniformity of environmental conditions in greenhouse lettuce production increases the risk of N pollution and lower product quality.* Agronomie 21, 297-309.
- Wang, S., Boulard, T., 2000. *Measurement and prediction of solar radiation distribution in full-scale greenhouse tunnels.* Agronomie 20, 41-50.

ΣΥΜΒΟΛΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΩΣ ΥΔΡΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Γ. Ντίνας* και Χ. Νικήτα- Μαρτζοπούλου

Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη

*E-mail: gntinas@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αξιολογηθεί η θερμική συμπεριφορά ενός υβριδικού ηλιακού συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας και η συμβολή του στη θέρμανση ενός θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το σύνθετο αυτό ηλιακό σύστημα αποτελείται από σακούλες πολυαιθυλενίου με νερό, πάνω στις οποίες τοποθετήθηκαν υπόστρωμα πετροβάμβακα υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι σακούλες πολυαιθυλενίου με νερό, παρόλο που καλύπτονται εν μέρει, από τα υποστρώματα της υδροπονικής καλλιέργειας, συμβάλλουν σημαντικά στην κάλυψη των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου, ακόμη και το χειμώνα. Με την εφαρμογή του υβριδικού ηλιακού συστήματος μειώθηκε η χρήση συμβατικών καυσίμων για τις ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου σε ποσοστό που φτάνει το 22.4%.

Λέξεις κλειδιά: φιλμ πολυαιθυλενίου πληρωμένο με νερό, εξοικονόμηση ενέργειας, χειμερινή καλλιεργητική περίοδος.

CONTRIBUTION OF ENERGY SAVING HYBRID SOLAR SYSTEM USED AS A HYDROPONIC GUTTER IN GREENHOUSE HEATING

G. Ntinás* and Ch. Nikita- Martzopoulou

Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece

*E-mail: gntinas@agro.auth.gr

ABSTRACT

Aim of this research is to evaluate the thermal performance of an energy saving hybrid solar system and its contribution in heating a greenhouse, during winter. This complex solar system is composed of water filled polyethylene sleeves, above which substrates of hydroponic tomato were placed. According to the results, the polyethylene sleeves with water, although they were partly covered by the substrates of hydroponic culture, they contribute considerably in covering the thermal needs of a greenhouse, even in winter period. The application of this system resulted in a decrease of the conventional fuel consumption for heating the greenhouse that reached 22.4%.

Key words: sleeve of polyethylene filled with water, energy saving, winter cultivation

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θερμοκήπιο, αν και αποτελεί από μόνο του ένα συλλέκτη ηλιακής ενέργειας, δεν μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλα ποσά θερμότητας, ιδίως όταν επικρατούν δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες (συννεφιά, ψυχροί άνεμοι, βροχή κ.α.). Η καλλιέργεια θερμοκηπιακών προϊόντων εκτός εποχής και ειδικά κατά τη διάρκεια του χειμώνα οδηγεί σε αύξηση του κόστους παραγωγής, λόγω της ανάγκης εγκατάστασης μόνιμου συστήματος θέρμανσης. Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες για τη θέρμανση των θερμοκηπίων με συμβατικά καύσιμα, φθάνουν τα 7-8l καυσίμου ανά τετραγωνικό μέτρο, μόνο στις νότιες περιοχές της Ευρώπης (Caouris et al., 1989).

Ένα απλό σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιείται στα θερμοκήπια είναι αυτό που αποτελείται από σπирάλ σωλήνες πολυπροπυλενίου (PP-R) με διάμετρο Φ25mm, οι οποίοι τοποθετούνται στο έδαφος, κατά μήκος των γραμμών καλλιέργειας και διαμέσου των οποίων κυκλοφορεί ζεστό νερό. Η τοποθέτηση των σωλήνων θέρμανσης στο επίπεδο του εδάφους έχει το πλεονέκτημα ότι ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία προς το πλαστικό κάλυψης και το εξωτερικό περιβάλλον (Poronvski, 1986). Ωστόσο, οι ενεργειακές κρίσεις, οι διακυμάνσεις των τιμών των συμβατικών καυσίμων και η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας έχουν οδηγήσει σε εκτενείς προσπάθειες αξιοποίησης των ήπιων μορφών ενέργειας, όπως η γεωθερμική ενέργεια (Nikita-Martzopoulou, 2002) και η ηλιακή ενέργεια (Graziadellis and Traka-Mavrona, 1999). Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης, που χρησιμοποιούν ως θερμικό μέσο το νερό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκήπια με αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού της συμβατικής ενέργειας που καταναλώνεται για την κάλυψη των θερμικών αναγκών τους (Santamouris et al., 1994), ιδιαίτερα τη χειμερινή περίοδο. Το παθητικό ηλιακό σύστημα, που παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα και συγκέντρωσε το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών ήταν αυτό που αποτελείται από διαφανείς πλαστικές σακούλες με νερό, οι οποίες τοποθετούνται στο έδαφος, δίπλα από τις γραμμές της καλλιέργειας. Το σύστημα αυτό συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου κατά 2-4°C, αλλά καλύπτει μέχρι και 20-40% του καλλιεργούμενου εδάφους (Santamouris et al., 1994 και Graziadellis and Traka-Mavrona, 1999).

Για να ξεπεραστεί το μειονέκτημα του μειωμένου χώρου για καλλιέργεια, τα φυτά είναι δυνατό να τοποθετηθούν πάνω στην πλαστική σακούλα (υδροπονική καλλιέργεια), η οποία μπορεί να πληρωθεί με μεγαλύτερο όγκο νερού. Η εφαρμογή του συγκεκριμένου παθητικού ηλιακού συστήματος σε θερμοκήπιο με συμπληρωματική θέρμανση από πλαστικούς σωλήνες με νερό, συνέβαλε σε εξοικονόμηση ενέργειας κατά την ανοιξιάτικη περίοδο της τάξης του 36% (Ντίνας κ.α., 2007).

Στο παρόν πείραμα μελετήθηκε η συμβολή του παραπάνω συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας, που αποτελείται από πλαστικές σακούλες με νερό και περιφερειακούς σωλήνες PE σε συνδυασμό με υδροπονική εγκατάσταση, στη διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, καθώς και στην κατανάλωση συμβατικής ενέργειας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Δύο τυπικές ημέρες επιλέχθηκαν για μετρήσεις, μία κατά την οποία επικρατούσε συννεφιά και μία με πλήρη ηλιοφάνεια.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διενεργήθηκε από το Νοέμβριο του 2008 μέχρι το Μάρτιο του 2009, σε δύο ίσα τμήματα των 70m² με ενδιάμεσο διαχωριστικό διάδρομο, ενός τροποποιημένου τοξωτού θερμοκηπίου του Κέντρου Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών, (Κ.Ε.Γ.Κ.), που λειτουργεί υπό την εποπτεία του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Εξοπλισμού, στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ.. Το συνολικό εμβαδό του θερμοκηπίου είναι 154m², κάθε τμήμα έχει μήκος 10m και πλάτος 7m, το ύψος της υδρορροής είναι 2.1m

και το ύψος του κορφιά 3.6m. Το θερμοκήπιο έχει κατεύθυνση B-N (25° ως προς το Βορρά). Ο σκελετός του θερμοκηπίου αποτελείται από γαλβανισμένο σίδηρο, ενώ το υλικό κάλυψης από πολυαιθυλένιο, (PE). Για τις ανάγκες αερισμού των δύο τμημάτων υπήρχαν δύο πλαϊνά παράθυρα και δύο οροφής τα οποία είχαν ρυθμιστεί να λειτουργούν αυτόματα και ανεξάρτητα για κάθε τμήμα. Η κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας για τη λειτουργία τους ήταν 21°C άνω της οποίας τα παράθυρα άνοιγαν και κάτω της οποίας έκλειναν, σταδιακά. Στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου υπήρχε συμβατικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο αποτελείται από καυστήρα φυσικού αερίου και δίκτυο πλαστικών σωλήνων για τη κυκλοφορία του θερμικού μέσου (νερό) γύρω από τις γραμμές καλλιέργειας. Η κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης και στα δύο τμήματα ήταν 16°C.

Στο πρώτο τμήμα του θερμοκηπίου που θα καλείται πειραματικό, εγκαταστάθηκε το υβριδικό ηλιακό σύστημα κατά μήκος των πέντε σειρών των φυτών. Το παθητικό ηλιακό σύστημα απαρτιζόταν από δύο μέρη: α) μία κυλινδρική πλαστική σακούλα PE με πάχος 200μm, περίμετρο 152cm, διάμετρο 48.4cm, μήκος 7m και β) δύο περιφερειακούς σωλήνες PE, εκατέρωθεν της σακούλας, τους οποίους διαπερνούσε ρεύμα αέρα προερχόμενο από αεραντλία, από το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οι περιφερειακοί σωλήνες είχαν πάχος 200μm, περίμετρο 20cm, διάμετρο 6.4cm και μήκος 6.86m. Οι σακούλες πληρώθηκαν με νερό από το αρδευτικό σύστημα του θερμοκηπίου. Η κάθε σακούλα περιείχε 1287l νερού. Το σύστημα τοποθετήθηκε επάνω σε μαύρο πλαστικό εδαφοκάλυψη, ενώ στους διαδρόμους τοποθετήθηκε λευκό πλαστικό εδαφοκάλυψη για την αντανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και για να αποτρέπεται η ανάπτυξη ζιζανίων και η εξάτμιση από το έδαφος. Μεταξύ των περιφερειακών σωλήνων και πάνω στην πλαστική σακούλα τοποθετήθηκαν υποστρώματα πετροβάμβακα μήκους 1m. Οι κυλινδρικοί σωλήνες είχαν κατά μήκος 2 οπές ανά μέτρο από τις οποίες εξερχόταν μέρος του περιεχόμενου αέρα προς τα υποστρώματα. Η παροχή της αεραντλίας ($Q=1600\text{m}^3/\text{h}$), εξασφάλιζε απόλυτη πληρότητα του εσωτερικού όγκου των περιφερειακών σωλήνων με αέρα. Οι περιφερειακοί σωλήνες χρησιμοποιούνταν ως πλαϊνά τοιχώματα για την απομάκρυνση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος. Η θέρμανση του πειραματικού μέρους γινόταν με το υβριδικό ηλιακό σύστημα και εφόσον δεν μπορούσαν να καλυφθούν οι απαιτήσεις θέρμανσης λειτουργούσε συμπληρωματικά το συμβατικό σύστημα με καυστήρα φυσικού αερίου.

Στο δεύτερο τμήμα του θερμοκηπίου που θα καλείται μάρτυρας, οι πλάκες πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν πάνω σε πλαστική υδρορροή. Οι ανάγκες θέρμανσης καλύπτονταν εξολοκλήρου από το συμβατικό σύστημα θέρμανσης. Το έδαφος στο τμήμα του μάρτυρα καλύφθηκε αποκλειστικά με λευκό πλαστικό εδαφοκάλυψη.

Στην υδροπονική καλλιέργεια τόσο του πειράματος, όσο και του μάρτυρα χρησιμοποιήθηκαν 105 φυτά τομάτας (υβρίδιο *Elpida* sp.), 21 σε κάθε μονή σειρά καλλιέργειας. Σε κάθε πλάκα πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν 3 φυτά σε απόσταση 33cm μεταξύ τους. Η άρδευση των φυτών γινόταν με θρεπτικό διάλυμα μέσω σταλακτών. Το υδροπονικό σύστημα ήταν ανοιχτό, ενώ η απορροή ρυθμίστηκε κατασκευαστικά με τη δημιουργία κλίσης 1% και στα δύο τμήματα. Σε κάθε παρασκευή θρεπτικού διαλύματος γινόταν μέτρηση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Portable pH/mV/oC Meter HANNA Instruments HI8424
- Portable Multi- Range Conductivity/TDS Meters HANNA Instruments HI8733

Καθόλη τη διάρκεια του πειράματος προσαρμόστηκε ένα σύστημα μέτρησης και καταγραφής (Data logger CR10), των ακόλουθων δεδομένων: 1) της θερμοκρασίας και

της υγρασίας αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου, 2) της θερμοκρασίας του υποστρώματος της καλλιέργειας, 3) της θερμοκρασίας του νερού που περιέχεται μέσα στη σακούλα πολυαιθυλενίου και 4) της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο ηλιακής ακτινοβολίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης ήταν:

- 17 αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου PT-100, (4 αέρα, 1 νερού και 12 υποστρώματος)
- Ένα πυρανόμετρο τάξης A
- 4 αισθητήρες υγρασίας- θερμοκρασίας αέρα (HD 9809 T)
- 4 αισθητήρες υγρασίας- θερμοκρασίας αέρα (HOBO H8)
- Ολοκληρωμένος εξωτερικός μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος αποτελείται από ανεμόμετρο, ανεμοδείκτη, θερμόμετρο, πυρανόμετρο και υγρασιόμετρο

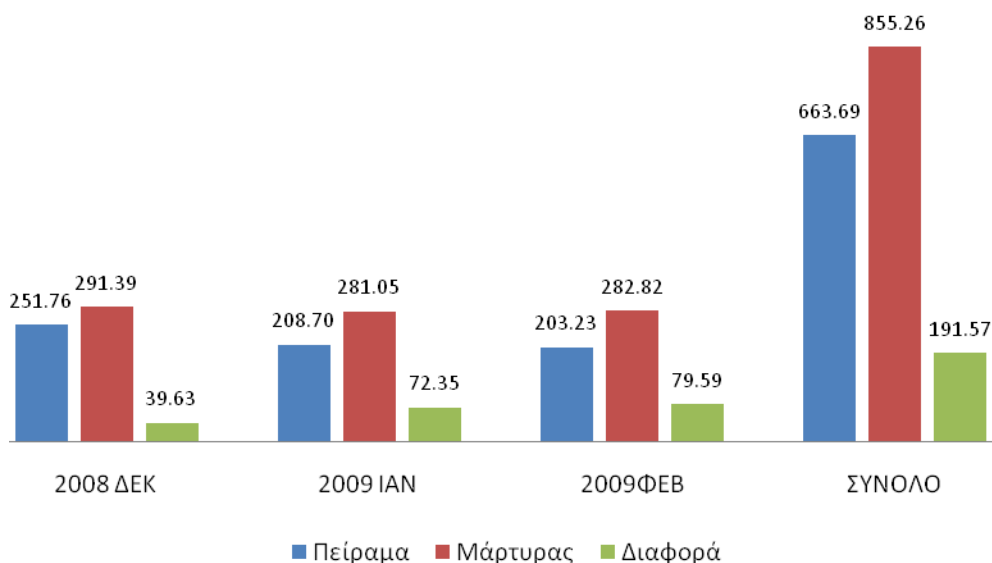
Η συλλογή και η επεξεργασία των μετρήσεων γινόταν σε καταγραφικό δεδομένων το οποίο ήταν συνδεδεμένο με υπολογιστή στο Κ.Ε.Γ.Κ.. Ο υπολογιστής είχε εγκατεστημένο λογισμικό, το οποίο υποστήριζε τη λήψη και καταγραφή των δεδομένων. Οι μετρήσεις τόσο από τους αισθητήρες (PT-100, HD9809 T), όσο και από το πυρανόμετρο καταγράφονταν ανά 5 λεπτά, ενώ παράλληλα υπήρχε η δυνατότητα παρακολούθησης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες (HOBO H8) λειτουργούσαν αυτόνομα και οι μετρήσεις τους ήταν δυνατό να αποθηκευτούν ανά 5 λεπτά. Στον ίδιο υπολογιστή κατέληγαν και οι μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό. Επίσης, τοποθετήθηκαν ωρομετρητές με σκοπό τη μέτρηση και την καταγραφή του χρόνου λειτουργίας του συμβατικού συστήματος θέρμανσης για τα δύο τμήματα του θερμοκηπίου. Από τα παραπάνω στοιχεία εκτιμήθηκε η εξοικονόμηση ενέργειας στο πειραματικό τμήμα. Επιπλέον, μελετήθηκε η συμβολή της σύνθετης πλαστικής σακούλας με νερό, στη διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου, σε σχέση με τις συνθήκες που επικρατούν το χειμώνα στο εξωτερικό περιβάλλον.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε προηγούμενο πείραμα (Ντίνας κ.α., 2007), παρουσιάστηκε η επίδραση του σύνθετου υβριδικού ηλιακού συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας στη θέρμανση ενός θερμοκηπίου, κατά την ανοιξιάτικη περίοδο. Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν αποτελέσματα που αφορούν στη συμβολή της σύνθετης πλαστικής σακούλας με νερό στη θέρμανση του θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια του χειμώνα και πιο συγκεκριμένα για τους μήνες από Δεκέμβριο έως και Φεβρουάριο. Στο διάστημα αυτό η καλλιέργεια είχε ύψος περίπου 2m και στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του έτους.

Στο Σχήμα 1 αποτυπώνεται η κατανάλωση ενέργειας από το συμβατικό σύστημα θέρμανσης για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του πειραματικού τμήματος και του μάρτυρα. Το σύνολο ωρών λειτουργίας του καυστήρα φυσικού αερίου για το μάρτυρα ανήλθε σε 855.26 ώρες. Στο πειραματικό τμήμα όπου εγκαταστάθηκαν οι σύνθετες πλαστικές σακούλες με νερό, ο ωρομετρητής κατέγραψε 663.69 ώρες συνολικής λειτουργίας. Όπως φαίνεται από τη στήλη της διαφοράς λειτουργίας σε ώρες, η λειτουργία του συμβατικού συστήματος θέρμανσης στο πείραμα είναι σημαντικά μειωμένη για κάθε μήνα, παρόλο που το πείραμα διεξάγεται κατά τη χειμερινή περίοδο. Έτσι, η συνολική διαφορά λειτουργίας ανάμεσα στα δύο τμήματα ανήλθε στις 191.57 ώρες.

Ώρες λειτουργίας του συμβατικού συστήματος θέρμανσης (h)



Σχήμα 1. Σύνολο ωρών λειτουργίας του συμβατικού συστήματος θέρμανσης για τη χρονική διάρκεια από Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο.

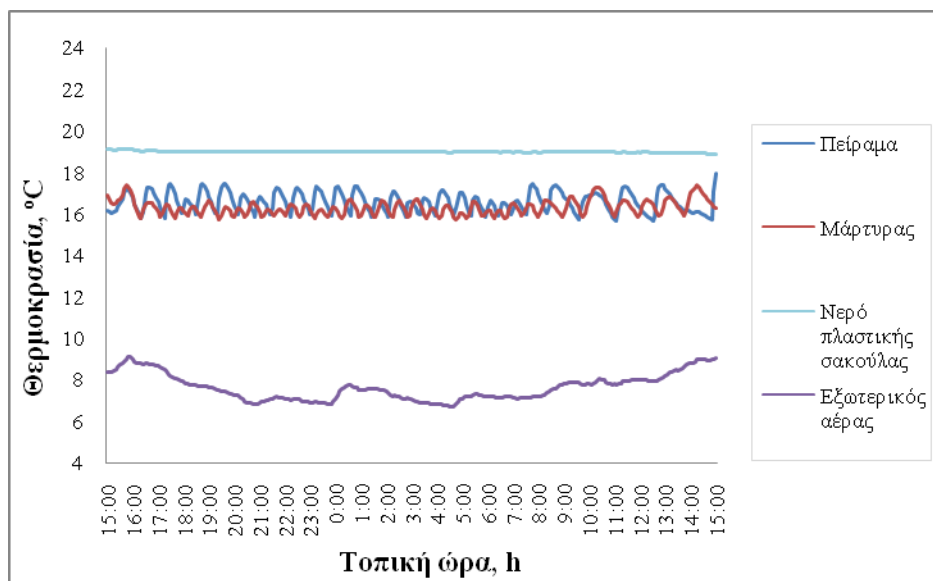
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μηνιαία και η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας στο πειραματικό τμήμα που είχε ενσωματωμένο το σύνθετο υβριδικό ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι ακόμη και τη χειμερινή περίοδο, κατά την οποία το ποσοστό της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο ηλιακής ακτινοβολίας δεν επαρκεί για να αυξήσει τη θερμοκρασία του νερού της σακούλας, το νερό αποθηκεύει θερμική ενέργεια με μεταφορά και ακτινοβολία, από τους πλαστικούς σωλήνες του συμβατικού συστήματος θέρμανσης (θερμοκρασία νερού σακούλας PE < θερμοκρασία νερού πλαστικών σωλήνων θέρμανσης). Όταν η θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει τη σακούλα με νερό είναι μικρότερη από εκείνη του νερού, μεταφέρεται θερμότητα από το νερό της σακούλας στον περιβάλλοντα αέρα με μεταφορά και ακτινοβολία. Έτσι, το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας για το σύνολο της έρευνας αγγίζει το 22.4%.

Μηνιαία και Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας



Σχήμα 2. Μηνιαία και συνολική εξοικονόμηση ενέργειας.

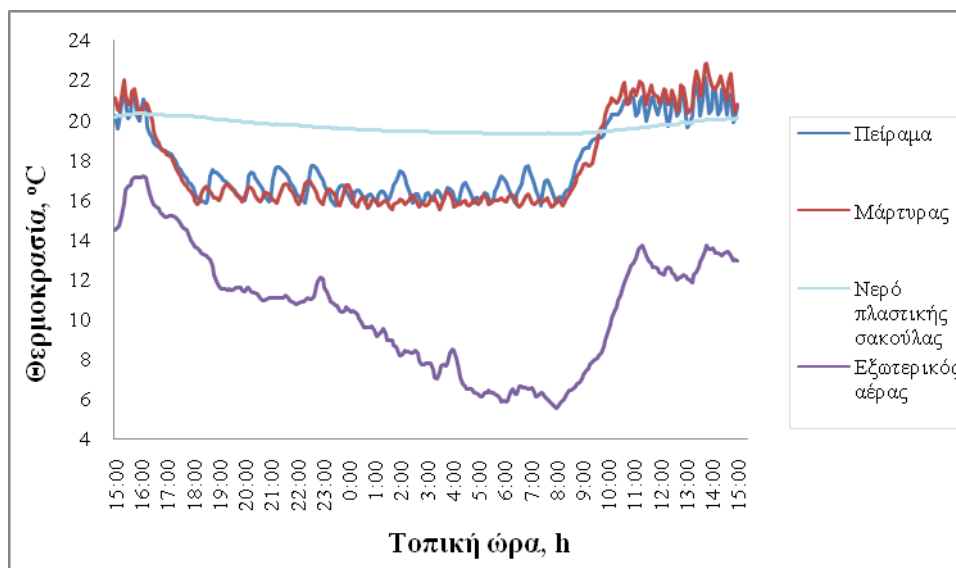
Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας στον αέρα των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου, στο νερό της πλαστικής σακούλας και στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου χωρίς ηλιοφάνεια, οπότε το συμβατικό σύστημα θέρμανσης λειτουργούσε συνεχώς.



Σχήμα 3. Η διακύμανση της θερμοκρασίας στον αέρα των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου, στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος και στο νερό της πλαστικής σακούλας, κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου χωρίς ηλιοφάνεια.

Όπως φαίνεται η θερμοκρασία του νερού παραμένει σχεδόν σταθερή στους 19°C καθόλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Παρόλο που δεν αποθηκεύει θερμική ενέργεια από τον ήλιο, κατά τη διάρκεια της ημέρας, το νερό απορροφά θερμική ενέργεια από τη θερμότητα που παρέχει το συμβατικό σύστημα θέρμανσης και την αποδίδει στον αέρα του θερμοκηπίου με μεταφορά και ακτινοβολία. Τα δύο τμήματα δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τη διακύμανση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα, αλλά όπως προκύπτει από τους ωρομετρητές το χρονικό διάστημα που λειτουργεί το συμβατικό σύστημα για το μάρτυρα φτάνει τις 12.21 ώρες, ενώ για το πείραμα φτάνει τις 8.15 ώρες.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας στον αέρα των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου, στο νερό της πλαστικής σακούλας και στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου με ηλιοφάνεια. Το συμβατικό σύστημα θέρμανσης σταματά να λειτουργεί το χρονικό διάστημα που επικρατεί ηλιοφάνεια, καθώς η θερμοκρασία αέρα των δύο τμημάτων υπερβαίνει τους 16°C . Η θερμοκρασία του νερού της σακούλας αυξάνεται τη διάρκεια της ημέρας κατά 1°C , αφού μέρος της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο ηλιακής ακτινοβολίας εισέρχεται στις σακούλες και αποθηκεύεται στο νερό με τη μορφή θερμότητας. Άμεσο αποτέλεσμα είναι η μείωση του εύρους της θερμοκρασίας αέρα στο πειραματικό τμήμα στους 6.41°C , με ελάχιστη θερμοκρασία αέρα τη νύχτα στους 15.69°C και μέγιστη την ημέρα στους 22.10°C , συγκριτικά με το τμήμα του μάρτυρα που παρουσιάζει ελάχιστη θερμοκρασία αέρα τη νύχτα στους 15.50°C και μέγιστη την ημέρα στους 22.81°C και εύρος θερμοκρασιών αέρα που φτάνει τους 7.31°C . Τέλος, σύμφωνα με τους ωρομετρητές το χρονικό διάστημα που λειτουργεί το συμβατικό σύστημα για το μάρτυρα και το πείραμα είναι 5.04 και 2.90 ώρες αντίστοιχα.



Σχήμα 4. Η διακυμάνση της θερμοκρασίας στον αέρα των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου, στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος και στο νερό της πλαστικής σακούλας, κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου με ηλιοφάνεια.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εγκατάσταση του υβριδικού ηλιακού συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας, που αποτελείται από πλαστικές σακούλες με νερό και περιφερειακούς σωλήνες PE, και χρησιμοποιείται ως υδρορροή υδροπονικής καλλιέργειας, εκτός από ένα πολύ καλό σύστημα αντιπαγετικής προστασίας για τα φυτά την άνοιξη, μπορεί να συνεισφέρει στην κάλυψη των θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα, με αξιόλογα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Caouris, Y., Kittas, C. and Santamouris, M., 1989. *Regional monthly estimation of greenhouses energy consumption: application to Greece*. Solar & Wind Techn.. 6(3): 225-233.
- Grafiadellis, M. and Traka-Mavrona, E., 1999. *Heating greenhouses with solar energy - new trends and developments*. In: Choukr-Allah R. (Editor), Protected cultivation in the Mediterranean region, CIHEAM. Paris, pp. 119-134.
- Nikita-Martzopoulou, C., 2002. *Agricultural Aspects of Geothermal Heating in Greenhouses*. Proc. of the International Course on Geothermal Energy for District Heating, Agricultural and Agro- Industrial Uses, Thessaloniki, Greece.
- Ντίνας, Γ., Κούγιας, Π., Νικήτα-Μαρτζοπούλου, Χ., 2007. *Έλεγχος περιβάλλοντος σε θερμοκήπια με ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας συνδυασμένο με υδρορροή υδροπονίας*. Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Λάρισα, σελ 372-379.
- Popovski, K., 1986. *Location of heating installations in greenhouses for low temperature heating fluids*. In: Industrial Thermal Effluents for Greenhouse Heating (O'Flaherty T, ed), pp. 51-55. European Cooperative Networks on Rural Energy. CNRE Bulletin No. 15. Proceedings of CNRE Workshop, Dublin, Ireland, 17-19 September.
- Santamouris, M., Balaras, C.A., Daskalaki, E. and Vallindras, M., 1994. *Passive solar agricultural greenhouses: A worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes*. Solar Energy, 53(5): 411-426.

ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Α. Γιαννούλης, Α. Μυστριώτης και Δ. Μπριασούλης
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 11855
E-mail: sosat1012@yahoo.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης της μηχανικής και αεροδυναμικής συμπεριφοράς ενός μη περατού πετάσματος ελαστικής στήριξης με τις ανεμοπιέσεις που αναπτύσσονται από την δράση προσπίπτοντος ανέμου κάθετα στο πέτασμα. Η αριθμητική προσομοίωση του μοντέλου CFD για υπολογισμό των ανεμοπιέσεων πραγματοποιήθηκε για διάφορες γωνίες κλίσης ισορροπίας του πλαισίου. Οι γωνίες κλίσης ισορροπίας υπολογίστηκαν από την αλληλεπίδραση του ελαστικού συστήματος στήριξης του πετάσματος και των ανεμοπιέσεων που υπολογίστηκαν με ανάλυση CFD για διάφορες ταχύτητες ανέμου. Στόχος της μελέτης είναι να αναδειχθεί η μείωση των ανεμοπιέσεων και των αντίστοιχων εντατικών μεγεθών που αναπτύσσονται στο πέτασμα ελαστικής στήριξης. Τα αποτελέσματα δείχνουν σε μεγάλες γωνίες κλίσης, άνω των 30^0 , πολύ σημαντικές μειώσεις στις πιέσεις ανέμου και τα εντατικά μεγέθη. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε υπολογίζοντας το συνολικό συντελεστή πίεσης. Η εργασία συνεχίζεται με την μελέτη περατών πετασμάτων με ελαστική στήριξη και εύκαμπτων περατών και μη πετασμάτων.

Λέξεις κλειδιά: ελαστική στήριξη, εντατικά μεγέθη, συντελεστής πίεσης, φορτία ανέμου.

2D NUMERICAL SIMULATION OF THE INTERACTION BETWEEN WIND LOADING AND AN ELASTIC SUPPORTED PANEL

A. Giannoulis, A. Mistriotis and D. Briassoulis
Department of Agricultural Engineering, Agricultural University of Athens,
75 Iera Odos Street, 11855 Athens, Greece
E-mail: sosat1012@yahoo.com

ABSTRACT

The purpose of this paper is the study of the interaction between an elastically supported impermeable panel and wind forces taking into account only the normal wind direction. The aim of the study was to investigate the reduction of wind loads and the state of stresses on an elastically supported panel. CFD simulations have been conducted for different angles of slope. The angles of slope at equilibrium were calculated from the interaction between the elastic supporting system of the panel and the wind pressures calculated through CFD analysis for various wind velocities. In this way the wind pressure decrease on the panel was calculated for each wind velocity. The present results show that for a slope higher than 30^0 reductions in both wind loads and stresses on the panel are significant. In each case analysis was carried out by calculating mean net pressure coefficient on the panel. As a next step, permeable elastically supported panels as well as panels constructed of flexible materials will be studied.

Key words: elastic support, net pressure coefficient, state of stress, wind loads.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανεμοφράκτες αποτελούσαν πάντοτε μια εύκολη και μη δαπανηρή λύση για την αντιμετώπιση υψηλών ανέμων τοπικά. Η χρήση τους αρχικά είχε επικεντρωθεί στην προστασία των καλλιεργείων. Αν και κατά μεγάλο ποσοστό ακόμη χρησιμοποιούνται στη γεωργία, πλέον η χρήση τους έχει επεκταθεί. Έχουν βρει εφαρμογή στην προστασία ευαίσθητων κατασκευών, στην αντιμετώπιση της ηχορύπανσης αλλά και σε θέματα ασφάλειας των πεζών (pedestrian comfort).

Στη βιβλιογραφία υπάρχει εκτενής μελέτη των ανεμοφρακτών που βρίσκονται τοποθετημένοι στο έδαφος. Έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες που αφορούν τις μέσες πιέσεις (mean pressures) όπως επίσης μελέτες που αφορούν τις μέγιστες στιγμιαίες τιμές πίεσης ανέμου σε ένα ανεμοφράκτη (peak pressures), (Robertson et al., 1998). Έχει γίνει λεπτομερής ανάλυση σχετικά με τα τμήματα ενός ανεμοφράκτη που δέχονται μεγαλύτερα φορτία (Letchford and Robertson, 1999; Robertson et al., 1996) και εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά αστοχίας όπως και σε ποια τμήματα η πίεση λόγω του προσπίπτοντα ανέμου είναι σταθερή. Έχουν μελετηθεί ακόμη οι αλλαγές που προκαλούνται στα φορτία που ασκούνται σε ένα ανεμοφράκτη αν αλλάξουν τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά (Letchford and Holmes, 1994; Robertson et al., 1997(b)). Πραγματοποιήθηκαν επίσης αριθμητικές προσομοιώσεις για να διαπιστωθεί κατά πόσο τα μοντέλα προσομοίωσης είναι αποδοτικά και αξιόπιστα (Robertson et al., 1995; 1997(a)) μετά από σύγκριση με πλήρους κλίμακας πειράματα.

Αθροιστικά σε όλα τα παραπάνω, περατοί ανεμοφράκτες έχουν γίνει αντικείμενο μελέτης λόγω της εξομάλυνσης των τυρβωδών φαινομένων που προκαλούν (Bradley and Mulhearn, 1983; Lee and Kim, 1999; Packwood, 2000; Ranga Raju, 1988). Τέλος, συγκρίσεις για την ανάδειξη των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των περατών ανεμοφρακτών έχουν επίσης πραγματοποιηθεί (Perera, 1981).

Όλες οι παραπάνω μελέτες αφορούν αποκλειστικά και μόνο ανεμοφράκτες οι οποίοι είναι κάθετοι στο επίπεδο του εδάφους. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα που προήλθαν από δυσδιάστατη αριθμητική προσομοίωση πλαισίου του οποίου επιτρέπεται η στροφή περί την βάση ανάλογα με την ένταση του ανέμου με τη χρήση ελαστικής στήριξης. Τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης συγκρίνονται και συσχετίζονται με τα αποτελέσματα πειράματος πλήρους κλίμακας (υπό εξέλιξη).

Στόχος είναι να παρουσιαστεί και αναδειχθεί το υψηλό ποσοστό μείωσης των ανεμοπιέσεων και των εντατικών μεγεθών για ένα πέτασμα στο οποίο δίνεται η δυνατότητα να μεταβάλλει την κλίση του μέσω της ελαστικής του στήριξης, σε αλληλεπίδραση με την ταχύτητα του ανέμου. Κυρίως για γωνίες μεγαλύτερες των 30° όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια της εργασίας παρατηρούνται σημαντικές μειώσεις. Στα πλαίσια των σχεδιαστικών αναγκών που περιλαμβάνουν και τα λειτουργικά χαρακτηριστικών ενός ανεμοφράκτη, που είναι η κάλυψη της υπήνεμης περιοχής του (shelter effect), δεν έγινε μελέτη για πολύ μεγάλες γωνίες ($\theta \leq 50^\circ$).

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

2.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Η λειτουργία της ελαστικής στήριξης βασίζεται στη χρήση ελατηρίων συγκεκριμένης σταθεράς της οποίας η τιμή έχει καθοριστεί σύμφωνα με τις ανάγκες του πειράματος πλήρους κλίμακας το οποίο όπως προαναφέρθηκε βρίσκεται υπό εξέλιξη. Μελετήθηκε με τη βοήθεια της αριθμητικής προσομοίωσης η αεροδυναμική και μηχανική συμπεριφορά του πετάσματος υπό διαφορετικές γωνίες κλίσης ισορροπίας του πετάσματος, μέχρι την τιμή των 50° . Οι γωνίες αυτές, όπως και κάθε γωνία κλίσης του

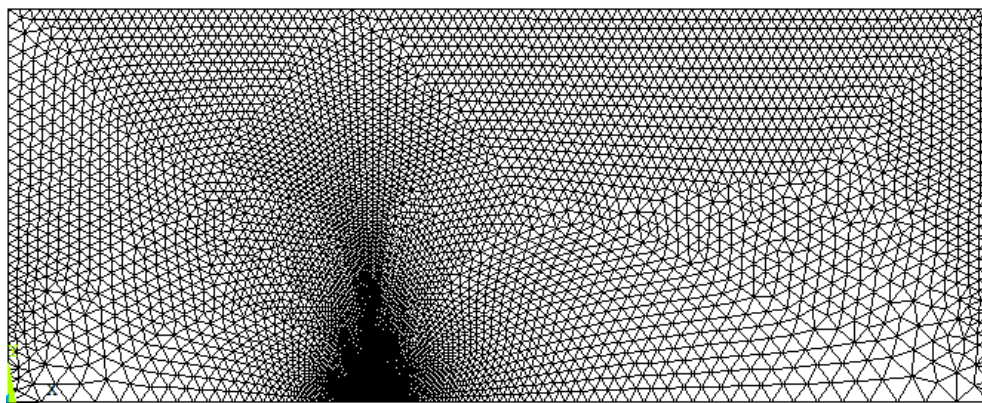
πλαίσιου, αποτελούν θέσεις ισορροπίας του συστήματος άνεμος – πλαίσιο με ελαστική στήριξη, για συγκεκριμένη τιμή ανεμοπίεσης πάνω στο πλαίσιο. Οι γωνίες κλίσης ισορροπίας υπολογίσθηκαν από την αλληλεπίδραση του ελαστικού συστήματος στήριξης του πετάσματος και των ανεμοπιέσεων που υπολογίσθηκαν με ανάλυση CFD για διάφορες ταχύτητες ανέμου. Η ανεμοπίεση για την οποία το σύστημα ισορροπεί υπολογίσθηκε με τη βοήθεια μη γραμμικής ανάλυσης. Πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί του μέσου συνολικού συντελεστή πίεσης ($\text{mean } C_{p_net}$) ώστε να είναι εφικτός ο υπολογισμός της συνολικής πίεσης και των εντατικών μεγεθών πάνω στο πέτασμα και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αυτά του κατακόρυφου πετάσματος.

2.2. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Η αριθμητική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε υπολογιστικά με τη βοήθεια του προγράμματος ANSYS-FLOTTRAN και κατ' επέκταση με τη βοήθεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων που το υπολογιστικό αυτό πρόγραμμα χρησιμοποιεί. Δημιουργήθηκε ένα μοντέλο πετάσματος δυο διαστάσεων και θεωρήθηκε πως η διάταξη αυτή βρίσκεται σε μια δυσδιάστατη επίσης ορθογώνια ανεμοσήραγγα. Το πλέγμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιωθεί η διάταξη στο σύνολό της (ανεμοσήραγγα και πέτασμα) αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό στοιχείων (elements) για κάθε περίπτωση γωνίας κλίσης του πετάσματος ελαστικής στήριξης που μελετήθηκε, όπως και για την περίπτωση μη ελαστικής στήριξης, ο οποίος ήταν 52822 elements.

Οι διαστάσεις της ανεμοσήραγγας ήταν 100 και 40m κατά τους x,y άξονες αντίστοιχα ή ισοδύναμα 33,3h και 13,3h κατά την παραπάνω αντιστοιχία, όπου h θεωρούμε το ύψος του πετάσματος, $h = 3m$

Τα στοιχεία τα οποία αποτελούσαν το πλέγμα στην αριθμητική προσομοίωση ήταν τριγωνικά. Μια απεικόνιση της δομής του πλέγματος της ανεμοσήραγγας παρουσιάζεται στην *Εικόνα 1*.

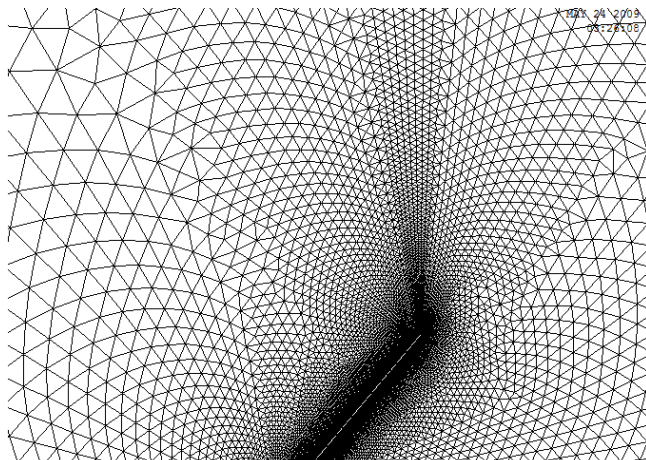


Εικόνα 1. Συνολική μορφή πλέγματος της ανεμοσήραγγας.

Στην *Εικόνα 1* παρουσιάζεται συνολικά το πλέγμα το οποίο έχει δομηθεί με τριγωνικά στοιχεία. Στην περιοχή όπου διακρίνεται η αύξηση των στοιχείων είναι η περιοχή πλησίον του πετάσματος. Η δομή του πλέγματος ακολουθεί τη μορφή αυτή διότι τα πιο έντονα αεροδυναμικά φαινόμενα, και κατά κύριο λόγο τα τυρβώδη, εμφανίζονται γύρω από το πέτασμα, στην υπήνεμη και προσήνεμη πλευρά του. Για το λόγο αυτό, το πλέγμα γίνεται λεπτομερέστερο, δηλαδή αποτελείται από μεγαλύτερο αριθμό στοιχείων καθώς πλησιάζουμε το πλαίσιο. Στην *Εικόνα 1* το πλαίσιο το οποίο είναι υπό γωνία 40° δεν είναι διακριτό.

Στην *Εικόνα 2* γίνεται εμφανής η δομή της διακριτοποίησης της περιοχής περί το κεκλιμένο πέτασμα. Η εικόνα αυτή είναι μια μεγέθυνση του πλέγματος της *Εικόνας 1*, κοντά στην περιοχή του πετάσματος. Από την *Εικόνα 2* μπορεί να γίνει αντιληπτή η

λογική διαφοροποίησης του πλέγματος, δηλαδή η ανάγκη εντονότερης διακριτοποίησης στην περιοχή του πετάσματος.



Εικόνα 2. Μεγέθυνση του πλέγματος στην προσήνεμη και υπήνεμη περιοχή του πλαισίου για την περίπτωση κλίσης 40° .

Τα εξωτερικά στοιχεία που καλύπτουν τα όρια της ανεμοσήραγγας έχουν μέγεθος $1m$ ενώ αυτά στην εξωτερική επιφάνεια του πετάσματος $0.005m$ ή αντίστοιχα αδιαστατοποιώντας με το ύψος h του πλαισίου $0.33h$ και $0.00167h$.

2.3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΥΡΒΗΣ

Το μοντέλο τύρβης το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην αριθμητική προσομοίωση είναι το μοντέλο $k-\varepsilon$ RNG. Το μοντέλο αυτό είναι μια βελτιωμένη μορφή του μοντέλου *standard k-ε* και προτιμήθηκε διότι το τελευταίο υπερεκτιμά σε πολλές περιπτώσεις τις τιμές της κινητικής ενέργειας της τύρβης, όπως σε ροές που προσπίπτουν σε εμπόδια και αντιμετωπίζει συγκεκριμένα, πρόβλημα στα σημεία όπου υπάρχουν απότομες μεταβολές στην κλίση της ταχύτητας (Awbi, 1991). Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από τον τρόπο με τον οποίο το ίδιο το μοντέλο αντιμετωπίζει τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας της τύρβης σε θερμότητα. Το μοντέλο $k-\varepsilon$ RNG αντιμετωπίζει πιο αποτελεσματικά την μετατροπή της κινητικής ενέργειας της τύρβης σε θερμότητα. Δεν υποθέτει ομοιόμορφη απόσβεση των στροβίλων κάθε μεγέθους όπως το *standard k-ε*, αλλά κάποιοι στρόβιλοι φιλτράρονται.

Επίσης το $k-\varepsilon$ RNG είναι ένα από τα μοντέλα που μπορεί να δώσει αποτελέσματα χωρίς να καταναλώνει σημαντικό υπολογιστικό χρόνο, ανάλογα βέβαια με το εκάστοτε πρόβλημα.

2.4. ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου στην είσοδο της ανεμοσήραγγας ορίστηκε το λογαριθμικό προφίλ. Η ταχύτητα V_z σε συνάρτηση με το ύψος z δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_z = \frac{u_*}{K} \ln \left(\frac{z + z_0}{z_0} \right) \quad (1)$$

z : ύψος, V_z : ταχύτητα στο ύψος z , u_* : ταχύτητα τριβής, z_0 : τραχύτητα επιφάνειας, K : σταθερά του Von Karman (≈ 0.41)

Οι οριακές συνθήκες στην είσοδο της ανεμοσήραγγας παρέχουν επίσης το προφίλ των τυρβωδών χαρακτηριστικών του ανέμου, δηλαδή της κινητικής ενέργειας της

τύρβης k και του ρυθμού απόσβεσης της κινητικής ενέργειας της τύρβης ε (Richards and Hoxey, 1993).

$$k = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}} \quad \text{και} \quad \varepsilon = \frac{u_*^2}{K(z + z_0)} \quad (2)$$

Όπου $C_\mu (=0.09)$ είναι μια από τις σταθερές του μοντέλου.

Στα άνω και κάτω όρια της ανεμοσήραγγας γίνεται χρήση των συνθηκών μη εισχώρησης δηλαδή οι ταχύτητες κατά τη διεύθυνση κάθετα προς τα όρια της ανεμοσήραγγας ισούνται με μηδέν. Στην κάτω επιφάνεια συγκεκριμένα θεωρούμε και τη συνθήκη μη ολίσθησης γεγονός που προκύπτει από την ύπαρξη τριβής στην επιφάνεια αυτή. Η άνω επιφάνεια θεωρείται λεία και δε χρησιμοποιείται σε αυτή η συνθήκη μη ολίσθησης. Τέλος, στην έξοδο θεωρούμε την πίεση ίση με μηδέν για τη σωστή προσομοίωση της ροής η οποία οδηγείται από τον ορισμένο χώρο της ανεμοσήραγγας σε πολύ μεγαλύτερο χώρο (εκτόνωση).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν η δυσδιάστατη προσομοίωση της αλληλεπίδρασης πετάσματος ελαστικής στήριξης με τα προσπίπτοντα φορτία ανέμου. Οι γωνίες κλίσης ισορροπίας του πετάσματος υπολογίστηκαν από την αλληλεπίδραση του ελαστικού συστήματος στήριξης του και των ανεμοπιέσεων που υπολογίστηκαν με ανάλυση CFD για διάφορες ταχύτητες ανέμου. Η ανεμοπίεση για την οποία το σύστημα ισορροπεί υπολογίστηκε με τη βοήθεια μη γραμμικής ανάλυσης. Για διάφορες κλίσεις ισορροπίας πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των μέσων συντελεστών πίεσης C_{p-net} όπως και των εντατικών μεγεθών πάνω στο πέτασμα και συγκρίθηκαν με αυτά ενός αντίστοιχης στήριξης πλαισίου χωρίς όμως ελαστική στήριξη. Το τελευταίο επιτυγχάνεται αν θεωρήσουμε την τιμή της σταθεράς των ελατηρίων να τείνει προς το άπειρο. Προσομοιώθηκαν και υπολογίστηκαν οι μέσοι συντελεστές πίεσης C_{p-net} για διάφορες γωνίες κλίσης του πετάσματος μέχρι και τις 50° .

Όπως προαναφέρθηκε, οι απαιτήσεις σχεδιασμού και η λογική χρήσης ενός πλαισίου ως ανεμοφράκτη είναι αυτή που δεν επέτρεψε την προσομοίωση και μελέτη μεγαλύτερων γωνιών διότι για γωνίες άνω των 50° ο ανεμοφράκτης χάνει ουσιαστικά την ιδιότητά του ως μέσο προστασίας της υπήνεμης πλευράς του. Να αναφερθεί ότι ο συντελεστής πίεσης δίνεται από τη σχέση:

$$C_{p-net} = \frac{P_{net}}{\left(\frac{1}{2}\right) \rho V^2} \quad (3)$$

όπου P_{net} η συνολική πίεση που ασκείται πάνω στο πέτασμα ισούται με την πίεση της προσήνεμης επιφάνειας αφαιρώντας την πίεση που δέχεται η υπήνεμη πλευρά:

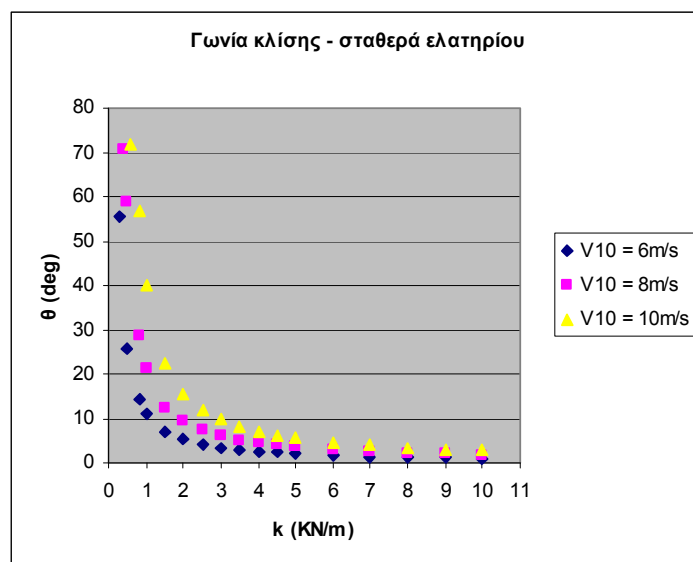
$$P_{net} = P_{windward_face} - P_{leeward_face} \quad (4)$$

Όπου ρ η πυκνότητα και V η ταχύτητα αναφοράς (ο παρονομαστής είναι η δυναμική πίεση και ουσιαστικά αδιαστατοποιεί την τιμή της πίεσης) που έχει οριστεί στην εργασία αυτή σε ύψος 3m, που είναι το ύψος του πετάσματος.

Το σύστημα ανέμου – πλαισίου ελαστικής στήριξης ισορροπεί σε συγκεκριμένη γωνία ισορροπίας για μια δεδομένη ταχύτητα ανέμου και σταθερά ελατηρίων, κάτω από την αντίστοιχη, στην δεδομένη ταχύτητα του ανέμου και κλίση του πετάσματος,

ανεμοπίεση. Ο υπολογισμός της πίεσης αυτής έγινε με τη βοήθεια μη γραμμικής ανάλυσης θεωρώντας σαν αρχική κλίση του πετάσματος τη μηδενική (κατακόρυφη θέση). Για δεδομένη ταχύτητα ανέμου και δεδομένη ελαστικότητα του συστήματος στήριξης του πετάσματος, οι υπολογισμοί ακολούθησαν την εξής αλληλουχία: Σε κάθε νέα υποτιθέμενη κλίση του πλαισίου υπολογιζόταν η τιμή της ανεμοπίεσης πάνω στο πλαίσιο με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων συντελεστών πίεσης της αριθμητικής προσομοίωσης CFD για την κλίση αυτή. Στη συνέχεια υπολογιζόταν η μηχανική απόκριση του πετάσματος ελαστικής στήριξης, και η απαιτούμενη μεταβολή των ελαστικών δυνάμεων στήριξης για επίτευξη ισορροπίας του συστήματος ανεμοπίεσεις – αντιδράσεις ελαστικής στήριξης πετάσματος. Αυτό είχε σαν συνέπεια την διόρθωση της αρχικής υπόθεσης για την κλίση του πετάσματος υπό τις δεδομένες συνθήκες ανέμου-ελαστικότητας του συστήματος στήριξης. Μετά την διόρθωση της κλίσης, ο κύκλος των υπολογισμών ανεμοπίεσεων-νέας κλίσης ισορροπίας επαναλαμβανόταν μέχρι την επίτευξη σύγκλισης. Στη σύγκλιση η δύναμη πάνω στο πλαίσιο έπαυε να μεταβάλλεται όπως και η απόκριση του συστήματος, με βάση ορισμένα κριτήρια σύγκλισης. Όταν η ανάλυση έφτανε στη σύγκλιση τότε γινόταν ο υπολογισμός των εντατικών μεγεθών.

Τα εντατικά μεγέθη υπολογίστηκαν για διάφορες γωνίες κλίσης ισορροπίας σαν συνάρτηση της ελαστικότητας της κατασκευής (μεταβάλλοντας τις σταθερές των ελατηρίων στήριξης) και της ταχύτητας του προσπίπτοντος ανέμου.



Εικόνα 3. Η μεταβολή της γωνίας κλίσης της ελαστικά στηριζόμενης κατασκευής συναρτήσει της σταθεράς k το ελατηρίου για τρεις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.

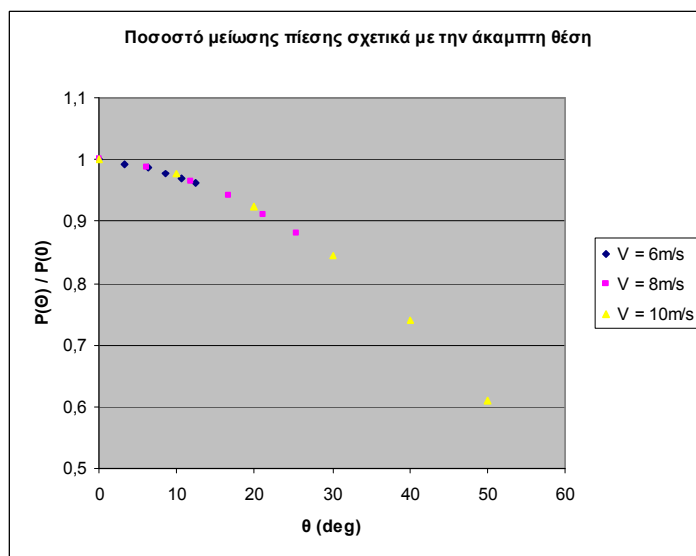
Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η απόκριση της κατασκευής για μεταβολές της σταθεράς του ελατηρίου και για τρεις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου μετρημένες σε ύψος $10m$. Στις μεγάλες τιμές της σταθεράς k του ελατηρίου (πολύ σκληρά ελατήρια) οι διαφορές είναι πολύ μικρές για τις κλίσεις και σχεδόν ανεξάρτητες της ταχύτητας. Μέχρι την τιμή σταθεράς ελατηρίου των 3 KN/m οι διαφορές κλίσης του πετάσματος είναι της τάξης των 5° . Για τιμές μικρότερες όμως (ελαστικό σύστημα) οι διαφορές είναι σημαντικές. Για $k = 1\text{ KN/m}$ οι κλίσεις είναι 10° , 20° και 40° για ταχύτητες ανέμου 6 , 8 και 10 m/s , αντίστοιχα.

Στην Εικόνα 4 δίδεται η σχέση της μείωσης της ανεμοπίεσης με την αρχική κάθετη θέση του ως προς το επίπεδο του εδάφους $P(\theta=0)$, για τρεις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου. Για μικρές ταχύτητες και συγκεκριμένη ελαστικότητα είναι λογικό η απόκριση της κατασκευής να είναι μικρότερη αυτής στην περίπτωση μεγαλύτερης

ταχύτητας ανέμου. Παρόλα αυτά και στις τρεις περιπτώσεις υπάρχει εμφανής μείωση της ανεμοπίεσης πάνω στο πλαίσιο. Η περίπτωση που ενδιαφέρει ιδιαίτερα είναι αυτή της μεγαλύτερης ταχύτητας. Η μείωση είναι έντονη αγγίζοντας το 15% στην κλίση 30° και φτάνει μέχρι και 40% περίπου για γωνία κλίσης 50°. Η μείωση της πίεσης ακολουθεί μια συγκεκριμένη παραβολική καμπύλη η οποία μπορεί να υπολογιστεί για κάθε γωνία από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{P(\theta)}{P(0)} = -0.0001\theta^2 - 0.0011\theta + 1.0 \quad (5)$$

Δεν πρέπει βέβαια να παραληφθεί και η ανάγκη ταυτόχρονης αποτελεσματικής προστασίας της υπήνεμης περιοχής. Παρόλα αυτά ένα πέτασμα με γωνία κλίσης της κατασκευής, μέσα στα όρια της παρούσας ανάλυσης, μπορεί να αποδίδει σημαντικά στο θέμα της προστασίας και παράλληλα να δέχεται πολύ μειωμένη επιβάρυνση φορτίων ανέμου με αντίστοιχη μείωση κόστους.

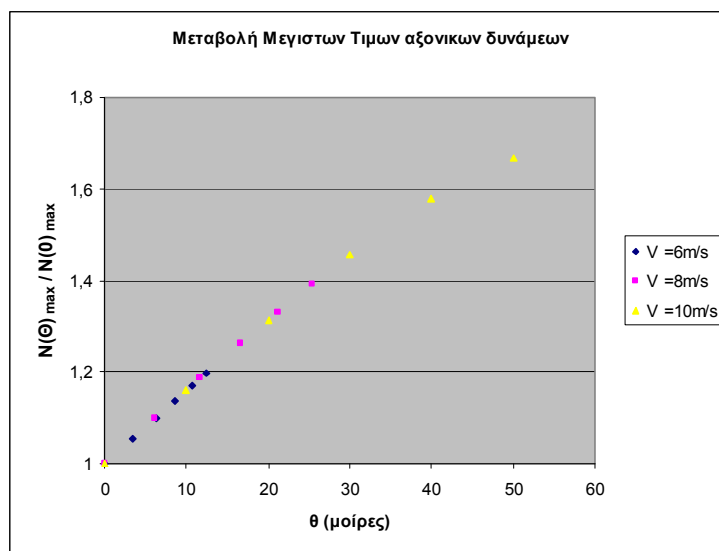


Εικόνα 4. Η μείωση της πίεσης πάνω στο πέτασμα συναρτήσει της γωνίας κλίσης θ , για τρεις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.

Η εφαρμογή ελαστικής στήριξης στην κατασκευή του πετάσματος προκαλεί και μείωση των εντατικών μεγεθών σχεδιασμού, αντίστοιχη της μείωσης των ανεμοπιέσεων. Για μια δεδομένη γωνία κλίσης ισορροπίας που αποκτά το πλαίσιο υπό την πίεση του ανέμου παρουσιάζεται μείωση στις τέμνουσες δυνάμεις και ροπές κάμψης που ασκούνται στα δομικά στοιχεία της ελαστικά στηριζόμενης κατασκευής ανάλογη της μείωσης των ανεμοπιέσεων. Αυτό γιατί οι σχέσεις των πιέσεων ανέμου και των εντατικών μεγεθών είναι γραμμικές, αφού το σύστημά στήριξης, αποτελούμενο από ελατήρια, είναι γραμμικά ελαστικό. Άρα οι μειώσεις των εντατικών μεγεθών σχεδιασμού τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης είναι ακριβώς ίδιες και εξίσου σημαντικές με τις μειώσεις των ανεμοπιέσεων.

Σε αντίθεση με τις ανεμοπιέσεις και τις τέμνουσες δυνάμεις και ροπές κάμψης, οι αξονικές δυνάμεις των δομικών στοιχείων του πετάσματος αυξάνουν με την αύξηση της κλίσης ισορροπίας (Εικόνα 5). Ο λόγος για την συμπεριφορά αυτή είναι ότι η συνιστώσα του ελατηρίου που καταπονεί αξονικά το πέτασμα αυξάνει λόγω μείωσης της γωνίας μεταξύ ελατηρίου και πετάσματος, με την αύξηση της κλίσης ισορροπίας. Η αύξηση της αξονικής δύναμης με την αύξηση της κλίσης ισορροπίας, παρά την μείωση των ανεμοπιέσεων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στον δομικό σχεδιασμό του συστήματος. Θα

πρέπει να εξετασθούν πιθανά προβλήματα λόγω της επίδρασης των αξονικών δυνάμεων στη μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής και να γίνει πρόσθετος έλεγχος για καμπτικό λυγισμό. Πάντως, μόνο εάν οι αξονικές δυνάμεις είναι σημαντικές, η αύξησή τους με την αύξηση της κλίσης ισορροπίας είναι πιθανόν να επηρεάσει τον τελικό σχεδιασμό των δομικών στοιχείων του πετάσματος και να μειώσουν σε κάποιο βαθμό την θετική επίπτωση της μείωσης των ανεμοπιέσεων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της κατασκευής του πειράματος πλήρους κλίμακος της εργασίας αυτής, η αύξηση της αξονικής δύναμης δεν επηρέασε τον σχεδιασμό των δομικών στοιχείων με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η αύξηση της απόστασης των υποστυλωμάτων του πετάσματος ανάλογα με την μείωση των ανεμοπιέσεων.



Εικόνα 5. Αύξηση των μέγιστων τιμών των αξονικών δυνάμεων συναρτήσει της γωνίας κλίσης θ , για τρεις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε μελέτη αριθμητικής προσομοίωσης της αλληλεπίδρασης πετάσματος με ελαστική στήριξη με τον άνεμο που προσπίπτει πάνω στο πέτασμα. Μελετήθηκε η αεροδυναμική και μηχανική συμπεριφορά του πετάσματος υπό διαφορετικές γωνίες κλίσης ισορροπίας του πετάσματος, μέχρι την τιμή των 50° . Η ανεμοπίεση για την οποία το σύστημα ισορροπεί υπολογίστηκε με τη βοήθεια μη γραμμικής ανάλυσης. Πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί του μέσου συνολικού συντελεστή πίεσης ($\text{mean } C_{p_net}$) ώστε να είναι εφικτός ο υπολογισμός της συνολικής πίεσης και των εντατικών μεγεθών πάνω στο πέτασμα και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά του κατακόρυφου πετάσματος.

Η καμπύλη μείωσης των πιέσεων πάνω στο πέτασμα απεικονίζει μια παραβολή δίνοντας σημαντικές μειώσεις πίεσης για μεγάλες γωνίες. Παρατηρήθηκε μικρή μείωση για μικρές γωνίες κλίσης μικρότερη του 10% της αρχικής τιμής του συνολικού συντελεστή πίεσης πάνω στο πέτασμα. Για γωνίες άνω των 30° και μέχρι τις 50° , οι μειώσεις για τις πιέσεις πάνω στο πέτασμα θεωρούνται αρκετά σημαντικές και κυμαίνονται από 15% ως και 40%. Αυτό καθιστά κρίσιμη την επιλογή της μέγιστης επιτρεπόμενης γωνίας κλίσης κατασκευής ενός πετάσματος με ελαστική στήριξη ώστε να μην αποδυναμωθεί η αποτελεσματική λειτουργία του ως προστατευτικό μέσο, όσο αφορά την υπήνεμη περιοχή του. Η 2D προσομοίωση δείχνει πως στις 30° , όπου οι μειώσεις των ανεμοπιέσεων πάνω στο πέτασμα γίνονται σημαντικές, παρατηρείται προστασία της υπήνεμης πλευράς εξίσου σημαντική με την περίπτωση του άκαμπτου πετάσματος. Στις 50° αρχίζουν να παρατηρούνται εντονότερες απώλειες στην κάλυψη της υπήνεμης

πλευράς του πετάσματος. Συνεπώς απαιτείται διερεύνηση των επιπτώσεων που έχουν κλίσεις στο εύρος 30° - 50° , στην προστατευόμενη ζώνη ώστε να σχεδιαστεί ένα βέλτιστο τόσο σε προστασία όσο και κατασκευαστικά-οικονομικά σύστημα. Οι επιπτώσεις της κλίσης ισορροπίας στο υπήνεμο πεδίο προστασίας του πετάσματος είναι υπό μελέτη μέσω του πειράματος πλήρους κλίμακας.

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της προσπάθειας να μελετηθούν εύκαμπτα υλικά ως υλικά στήριξης γεωργικών κατασκευών. Αρχικός στόχος ο οποίος καλύπτεται από την παρούσα εργασία είναι ο υπολογισμός της μείωσης των πιέσεων πάνω σε πέτασμα με ελαστική στήριξη (υπό κλίση ισορροπίας), όπως και των εντατικών μεγεθών στα δομικά στοιχεία της κατασκευής. Ήδη, πείραμα πετάσματος πλήρους κλίμακας με ελαστική στήριξη βρίσκεται σε εξέλιξη καθώς και τρισδιάστατη προσομοίωση της οποίας τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με το πλήρους κλίμακας πείραμα με στόχο να ελεγχθεί η αξιοπιστία του αριθμητικού μοντέλου και να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις στην προστατευόμενη υπήμενη ζώνη. Ακόμη τα αποτελέσματα της δυσδιάστατης προσομοίωσης θα τεθούν σε σύγκριση με την τρισδιάστατη προσομοίωση και το πλήρους κλίμακας πείραμα με στόχο την ανάδειξη της σημαντικότητας της επίδρασης της τρίτης διάστασης (3D effects). Πιθανώς οι επιδράσεις της τρίτης διάστασης να αποφέρουν ακόμα πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα όσο αφορά τη μείωση της συνολικής πίεσης πάνω στο πέτασμα. Τα αποτελέσματα της τρέχουσας έρευνας θα παρουσιαστούν σε επόμενες εργασίες.

Ευχαριστίες

Η εργασία υποστηρίχτηκε από το πρόγραμμα ΠΕΝΕΔ200 (660) της ΓΓΕΤ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Awbi, H.B., 1991. *Ventilation in Buildings*. E & FN Spon, London, G. Britain. Chapter 7.
- Bradley, E.F. and Mulhearn, P.J., 1983. *Development of velocity and shear stress distributions in the wake of a porous shelter fence*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 15: 145-156.
- Lee, S.J. and Kim, H.B., 1999. *Laboratory measurements of velocity and turbulence field behind porous fences*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 80: 311-326.
- Letchford, C.W. and Holmes, J.D., 1994. *Wind loads on free-standing walls in turbulent boundary layer*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 51: 1-27.
- Letchford, C.W. and Robertson, A.P. 1999. *Mean wind loading at the leading ends of free-standing walls*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 79: 123-134.
- Packwood, A.R., 2000. *Flow through porous fences in thick boundary layers: Comparisons between laboratory and numerical experiments*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 88: 75-90.
- Perera, M.D.A.E.S., 1981. *Shelter behind two-dimensional solid and porous fences*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 8: 93-104.
- Ranga Raju, K.G., Garde, R.J., Singh, S.K., Singh, N., 1988. *Experimental study on characteristics of flow past porous fences*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 29: 155-163.
- Richards, P.J. and Hoxey, R.P., *Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the k-ε turbulence model*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 46 & 47 (1993) 145-153.
- Robertson, A.P., Hoxey, R.P. and Richards, P.J., 1995. *Design code, full-scale and numerical data for wind loads on free-standing walls*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 57: 203-214.
- Robertson, A.P., Hoxey, R.P., Short, J.L., Ferguson, W.A., Osmond, S., 1996. *Full-scale testing to determine the wind loads on free-standing wall*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 60: 123-137.

- Robertson, A.P., Hoxey, R.P. and Richards, P.J., Ferguson, W.A., 1997. *Full-scale measurements and computational predictions of wind loads on free-standing-walls*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 67&68: 639-646.
- Robertson, A.P., Hoxey, R.P., Short, J.L., Ferguson, W.A., Blackomore, P.A., 1997. *Wind loads on boundary walls : Full-scale studies*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 69-71: 451-459.
- Robertson, A.P., Hoxey, R.P., Short, J.L., Ferguson, W.A., Blackomore, P.A., 1998 *Prediction of structural loads from fluctuating wind pressures: Validation from full-scale force and pressure measurements*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 74-76: 631-640.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΜΕ ΥΔΡΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Γ. Ντίνας*, Ε. Καρανίκας και Χ. Νικήτα-Μαρτζοπούλου
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη
*E-mail: gntinas@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η διακύμανση της υγρασίας σε θερμοκήπιο, στο οποίο εγκαταστάθηκε υβριδικό ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας συνδυασμένο με υδροπονική καλλιέργεια τομάτας σε υπόστρωμα πετροβάμβακα. Το υπόστρωμα τοποθετήθηκε πάνω σε σακούλα πολυαιθυλενίου που πληρώθηκε με νερό. Σε δεύτερο τμήμα του θερμοκηπίου, που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας, εφαρμόστηκε συμβατικό σύστημα θέρμανσης και το υπόστρωμα τοποθετήθηκε πάνω σε πλαστική υδρορροή. Η εφαρμογή του σύνθετου υβριδικού ηλιακού συστήματος οδήγησε σε υψηλότερες τιμές σχ. υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου, αλλά βελτίωσε το έλλειμμα κορεσμού στον αέρα του θερμοκηπίου.

Λέξεις κλειδιά: υβριδικό ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας, έλλειμμα κορεσμού, διακύμανση σχ. υγρασίας, θερμοκήπιο

VARIATION OF HUMIDITY IN GREENHOUSE USING ENERGY SAVING HYBRID SOLAR SYSTEM COMBINED WITH HYDROPONY

G. Ntinias*, E. Karanikas and Ch. Nikita-Martzopoulou
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
School of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece
*E-mail: gntinas@agro.auth.gr

ABSTRACT

In the present research the fluctuation of air humidity was investigated in a greenhouse, where energy saving hybrid solar system was installed combined with hydroponic tomato cultivation in rockwool substrates. The substrate was placed above a polyethylene sleeve filled with water. In another part of the greenhouse, which was used as control, conventional heating system was applied and the substrate was placed on a plastic gutter. The application of the particular complex hybrid solar system led to higher air relative humidity but improved the vapour pressure difference of air in the greenhouse.

Key words: energy saving hybrid solar system, vapour pressure difference, variation of relative humidity, greenhouse.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι παραγωγοί των θερμοκηπιακών προϊόντων καλούνται να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες σε θέρμανση, λόγω των χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών και τα υψηλά ποσοστά υγρασίας, λόγω του περιορισμένου αερισμού. Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν το μικροκλίμα του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια την ανάπτυξη των φυτών είναι η περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς. Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα στις καλλιέργειες, κυρίως διότι δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την εμφάνιση και ταχεία εξάπλωση μυκητολογικών ασθενειών (Hand, 1988).

Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση του ενεργειακού κόστους στα θερμοκήπια, οδήγησε σε εκτενείς προσπάθειες αξιοποίησης των ήπιων μορφών ενέργειας όπως είναι η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από βιομάζα και η ηλιακή ενέργεια (Kittas et al., 1999; Nikita-Martzopoulou, 2002).

Η εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων, όπως το παθητικό ηλιακό σύστημα με πλαστικές σακούλες με νερό, κατά μήκος των γραμμών καλλιέργειας, οδήγησε σε εξοικονόμηση ενέργειας σε θερμαινόμενα θερμοκήπια της τάξης του 8% (θεωρητικοί υπολογισμοί) (Mavrogianopoulos and Kyritsis, 1993). Σύμφωνα με τους Santamouris et al. (1994) και Grafiadellis and Traka-Mavrona (1999), οι πλαστικές σακούλες με νερό συνέβαλαν στην αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα, μη θερμαινόμενων θερμοκηπίων κατά 2-4°C, αλλά κάλυπταν μέχρι και 20-40% του εδάφους του θερμοκηπίου. Ακόμη, με την εγκατάσταση παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης η σχετική υγρασία του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου μειώθηκε κατά 6-12% (Grafiadellis, 1990). Ωστόσο, οι πλαστικές σακούλες με νερό δεν βρήκαν ευρεία εφαρμογή, κυρίως λόγω του μεγάλου και πολύτιμου χώρου που καταλαμβάνουν μέσα στο θερμοκήπιο.

Το παθητικό ηλιακό σύστημα που αποτελείται από πλαστικές σακούλες με νερό δεν είναι δυνατόν να καλύψει τις θερμικές ανάγκες των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ακόμη και στις μεσογειακές κλιματικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο ένα συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης που θα λειτουργεί με συμβατικό καύσιμο, ώστε να διατηρείται η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα πάνω από τους 12-13°C. Σε προηγούμενη έρευνα μελετήθηκε ένα υβριδικό ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας που αποτελείται από πλαστικές σακούλες με νερό και περιφερειακούς σωλήνες PE, που δεν τοποθετήθηκαν δίπλα στις γραμμές καλλιέργειας, αλλά η καλλιέργεια, επειδή ήταν υδροπονική, εγκαταστάθηκε πάνω στις πλαστικές σακούλες. Με αυτόν τον τρόπο υπήρχε η δυνατότητα να εφαρμοστούν σακούλες πολυαιθυλενίου μεγαλύτερων διαστάσεων, οι οποίες πληρώθηκαν με αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα νερού συγκριτικά με προηγούμενες έρευνες. Επιπλέον, εξαλείφθηκε το μειονέκτημα της κάλυψης μεγάλου χώρου καλλιεργούμενης έκτασης από τις σακούλες. Επειδή, και αυτό το σύστημα δεν μπορεί να καλύψει εξολοκλήρου τις θερμικές ανάγκες ενός θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, στο θερμοκήπιο υπήρχε και συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης. Το υβριδικό ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να συντελέσει στην εξοικονόμηση ενέργειας και κατά συνέπεια στη μειωμένη κατανάλωση συμβατικού καυσίμου για τη θέρμανση θερμοκηπίων σε ποσοστό που φτάνει το 36% (Ντίνας κ.α., 2007), ειδικά κατά την ανοιξιάτικη περίοδο.

Σε συνέχεια της παραπάνω έρευνας, αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της διακύμανσης της υγρασίας του αέρα σε ένα θερμοκήπιο, στο οποίο εγκαταστάθηκε υβριδικό ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας συνδυασμένο με υδροπονική μεταχείριση. Από προηγούμενο πείραμα, διαπιστώθηκε ότι το υβριδικό ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας συντελεί στην ομαλότερη διακύμανση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα. Επειδή η υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

επηρεάζει άμεσα τα φυτά, κρίθηκε σκόπιμο να ερευνηθεί η επίδραση του παραπάνω συστήματος στη σχετική υγρασία, και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα του θερμοκηπίου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα διενεργήθηκε από το Νοέμβριο του 2008 μέχρι το Μάρτιο του 2009 σε τροποποιημένο τοξωτό πειραματικό θερμοκήπιο του Κέντρου Ελέγχου Γεωργικών Κατασκευών, (Κ.Ε.Γ.Κ.), που λειτουργεί υπό την εποπτεία του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Εξοπλισμού, στο αγρόκτημα του Α.Π.Θ. Ο σκελετός του θερμοκηπίου αποτελείται από γαλβανισμένο σίδηρο, ενώ το υλικό κάλυψης από πλαστικό πολυαιθυλένιο, (PE). Το συνολικό εμβαδό του θερμοκηπίου είναι 154m² και για το σκοπό του πειράματος χωρίστηκε σε δύο ίσα τμήματα των 70m² με ενδιάμεσο διαχωριστικό διάδρομο. Κάθε τμήμα έχει μήκος 10m και πλάτος 7m. Το ύψος της υδρορροής είναι 2.1m και το ύψος του κορφιά 3.6m. Το θερμοκήπιο έχει κατεύθυνση B-N (25° ως προς το Βορρά). Για τις ανάγκες αερισμού του κάθε τμήματος υπήρχε ένα πλαϊνό παράθυρο και ένα οροφής τα οποία είχαν ρυθμιστεί να λειτουργούν αυτόματα και ανεξάρτητα. Η κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας για τη λειτουργία τους ήταν 21°C άνω της οποίας τα παράθυρα άνοιγαν και κάτω της οποίας έκλειναν, σταδιακά. Το έδαφος του θερμοκηπίου καλύφθηκε με λευκό πλαστικό εδαφοκάλυψη για την αντανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και για να αποτρέπεται η ανάπτυξη ζιζανίων και η εξάτμιση από το έδαφος.

Στο πειραματικό μέρος εγκαταστάθηκε υβριδικό ηλιακό σύστημα κατά μήκος των πέντε σειρών των φυτών. Το παθητικό ηλιακό σύστημα απαρτιζόταν από δύο μέρη: α) μία κυλινδρική πλαστική σακούλα PE που πληρώθηκε με νερό και β) δύο περιφερειακούς σωλήνες PE, εκατέρωθεν της σακούλας, τους οποίους διαπερνούσε ρεύμα αέρα προερχόμενο από αεραντλία, από το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Μεταξύ των περιφερειακών σωλήνων και πάνω στην πλαστική σακούλα τοποθετήθηκαν πλάκες πετροβάμβακα μήκους 1m. Οι κυλινδρικοί σωλήνες είχαν κατά μήκος οπές από τις οποίες εξερχόταν μέρος του περιεχόμενου αέρα προς τις πλάκες πετροβάμβακα. Η παροχή της αεραντλίας εξασφάλιζε απόλυτη πληρότητα του εσωτερικού όγκου των περιφερειακών σωλήνων με αέρα. Οι περιφερειακοί σωλήνες χρησιμοποιούνταν ως πλαϊνά τοιχώματα για την απομάκρυνση του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος. Η θέρμανση του πειραματικού τμήματος γινόταν με το υβριδικό ηλιακό σύστημα και εφόσον δεν μπορούσαν να καλυφθούν οι απαιτήσεις θέρμανσης λειτουργούσε συμπληρωματικά το συμβατικό σύστημα με καυστήρα φυσικού αερίου.

Στο μάρτυρα οι πλάκες πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν πάνω σε πλαστική υδρορροή και οι ανάγκες θέρμανσης καλύπτονταν εξολοκλήρου από το συμβατικό σύστημα θέρμανσης με καυστήρα φυσικού αερίου. Η κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας για τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης και στα δύο τμήματα ήταν 16°C. Η απορροή του θρεπτικού διαλύματος αν οδηγηθεί στο έδαφος προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (Σιώμος, 2001). Για το λόγο αυτό και στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου το θρεπτικό διάλυμα που απέρρεε συγκεντρωνόταν σε υπόγειες δεξαμενές, χωρίς να επαναχρησιμοποιείται.

Στην υδροπονική καλλιέργεια τόσο του πειράματος, όσο και του μάρτυρα χρησιμοποιήθηκαν 105 φυτά τομάτας (υβρίδιο *Elpida* sp.), 21 σε κάθε μονή σειρά καλλιέργειας. Σε κάθε πλάκα πετροβάμβακα τοποθετήθηκαν 3 φυτά σε απόσταση 33cm μεταξύ τους. Η άρδευση των φυτών γινόταν με θρεπτικό διάλυμα μέσω σταλακτών. Σε κάθε παρασκευή θρεπτικού διαλύματος γινόταν μέτρηση του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Portable pH/mV/oC Meter HANNA Instruments HI8424

- Portable Multi- Range Conductivity/TDS Meters HANNA Instruments HI8733

Καθόλη τη διάρκεια του πειράματος προσαρμόστηκε ένα σύστημα μέτρησης και καταγραφής των ακόλουθων δεδομένων: 1) της θερμοκρασίας και της υγρασίας αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος: κοντά στις σακούλες πολυαιθυλενίου, όπου είναι τοποθετημένα τα υποστρώματα της καλλιέργειας (0.3m από το έδαφος), σε απόσταση 1m και 2m από την επιφάνεια του εδάφους, που αντιστοιχεί στην περιοχή που καταλαμβάνεται από την καλλιέργεια και σε απόσταση 3.5m από το έδαφος, κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου, 2) της θερμοκρασίας του περιεχόμενου νερού στις σακούλες PE και 3) της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης, υπολογίστηκε το έλλειμμα κορεσμού του αέρα σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος. Από την επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων, μελετήθηκε η διακύμανση της υγρασίας του εσωτερικού αέρα σε κάθε μεταχείριση, κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης ήταν:

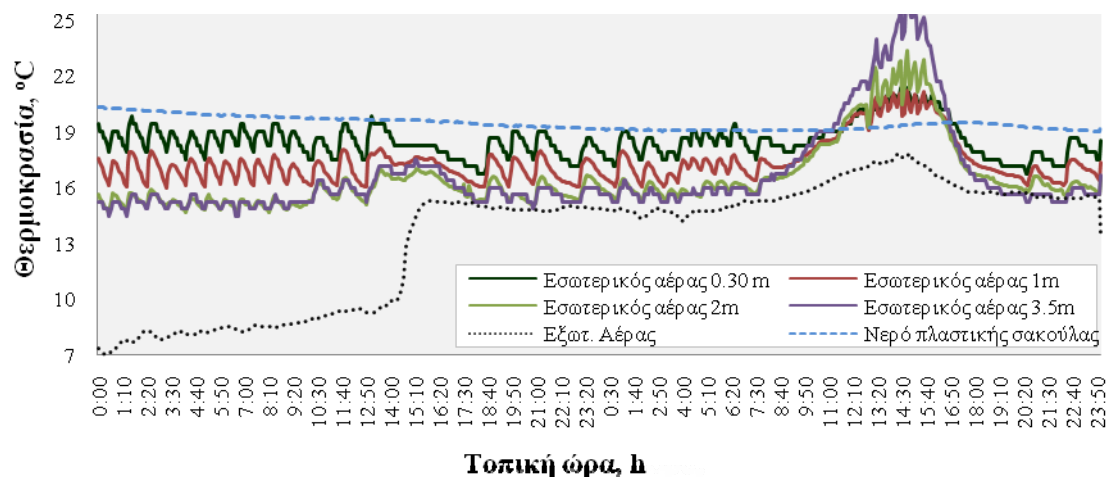
- 5 αισθητήρες θερμοκρασίας τύπου PT-100, (4 αέρα και 1 νερού)
- Ένα πυρανόμετρο τάξης A
- 4 αισθητήρες υγρασίας- θερμοκρασίας αέρα (HD 9809 T)
- 4 αισθητήρες υγρασίας- θερμοκρασίας αέρα (HOBO H8)
- 1 φορητό θερμόμετρο υπερύθρων ακτινών ακρίβειας
- Ολοκληρωμένος εξωτερικός μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος αποτελείται από ανεμόμετρο, ανεμοδείκτη, θερμόμετρο, πυρανόμετρο και υγρασιόμετρο

Η συλλογή και η επεξεργασία των μετρήσεων γινόταν σε καταγραφικό δεδομένων (Data logger CR10) το οποίο ήταν συνδεδεμένο με υπολογιστή στο Κ.Ε.Γ.Κ.. Ο υπολογιστής είχε εγκατεστημένο λογισμικό, το οποίο υποστήριζε τη λήψη και καταγραφή των δεδομένων. Οι μετρήσεις τόσο από τους αισθητήρες (PT-100, HD9809 T), όσο και από το πυρανόμετρο καταγράφονταν ανά 5 λεπτά, ενώ παράλληλα υπήρχε η δυνατότητα παρακολούθησης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες (HOBO H8) λειτουργούσαν αυτόνομα και κατέγραφαν τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου ανά 5 λεπτά. Στον ίδιο υπολογιστή κατέληγαν και οι μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό. Για τον υπολογισμό των ωρών λειτουργίας του καυστήρα φυσικού αερίου εγκαταστάθηκαν δύο ωρομετρητές στον πίνακα ελέγχου του θερμοκηπίου.

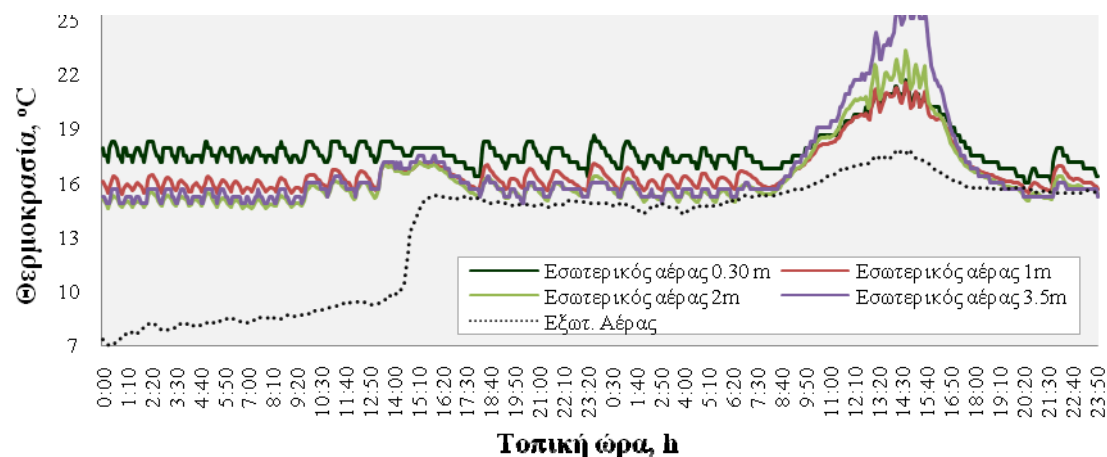
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τη διερεύνηση της υγρασίας στο εσωτερικό των δύο τμημάτων του θερμοκηπίου επιλέχτηκε ένα τυπικό διήμερο της χειμερινής καλλιεργητικής περιόδου για τη διαγραμματική παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Την πρώτη ημέρα επικρατούσε συννεφιά και τα παράθυρα παρέμειναν κλειστά, ενώ την επόμενη τα παράθυρα άνοιξαν, μεταβάλλοντας αισθητά το εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου.

Στα σχήματα 1 και 2 παρουσιάζεται η πορεία της θερμοκρασίας του αέρα στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου, σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος, στο νερό της πλαστικής σακούλας και στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 1. Διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα στο πειραματικό τμήμα του θερμοκηπίου σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος, του νερού της πλαστικής σακούλας, καθώς και του εξωτερικού αέρα, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού χειμερινού διημέρου.



Σχήμα 2. Διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα στο τμήμα μάρτυρας του θερμοκηπίου σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος και του εξωτερικού αέρα, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού χειμερινού διημέρου.

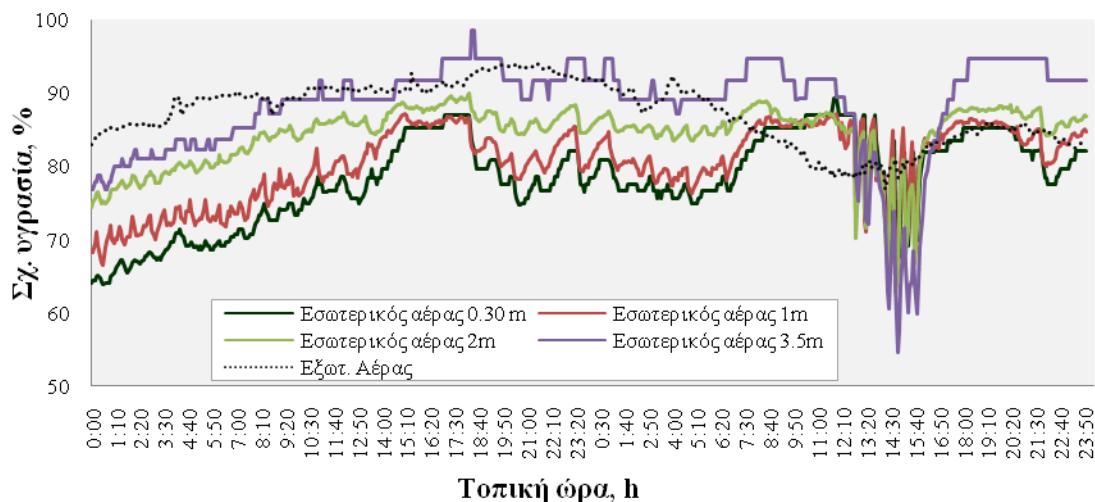
Το εύρος των θερμοκρασιών του αέρα (διαφορά ελάχιστης από τη μέγιστη θερμοκρασία) στο πειραματικό θερμοκήπιο ήταν μικρότερο εκείνων στο μάρτυρα, σε απόσταση 0.30m και 1m από το έδαφος, ενώ μετά τα δύο μέτρα σε ύψος δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά (Πιν.1). Επομένως, το σύστημα της σύνθετης σακούλας ΡΕ με νερό, συμβάλλει στην ομαλότερη διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο, ακόμη και τη χειμερινή περίοδο, σε μικρότερο όμως ποσοστό συγκριτικά με την ανοιξιάτικη περίοδο.

Πίνακας 1. Μέση, ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία αέρα σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος, καθώς και εύρος θερμοκρασίας, στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου.

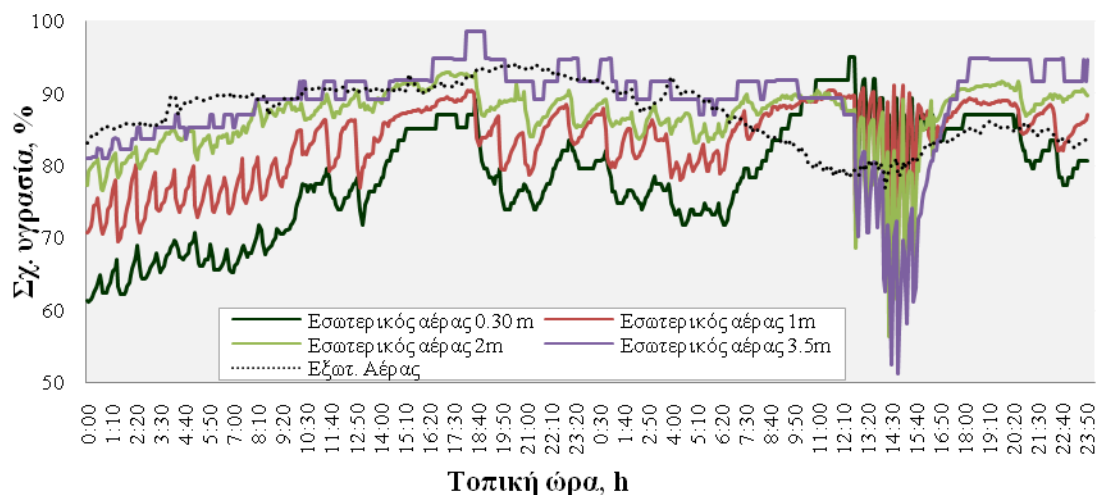
Υψος(m)	Θερμοκρασία αέρα (°C)								Εξωτ. Αέρας
	Μάρτυρας	Πείραμα	Μάρτυρας	Πείραμα	Μάρτυρας	Πείραμα	Μάρτυρας	Πείραμα	
0.30 m									
μ.ο.	17.82	18.51	16.68	17.40	16.33	16.51	16.69	16.68	13.37
ελάχιστη	16.00	16.76	15.36	15.99	14.61	14.66	14.85	14.47	6.99
μέγιστη	21.71	21.33	21.52	21.23	23.31	23.35	26.73	26.34	17.86
εύρος	5.71	4.57	6.16	5.24	8.70	8.69	11.88	11.87	10.87
1m									
μ.ο.									
ελάχιστη									
μέγιστη									
εύρος									
2m									
μ.ο.									
ελάχιστη									
μέγιστη									
εύρος									
3.5m									
μ.ο.									
ελάχιστη									
μέγιστη									
εύρος									

Στα σχήματα 3 και 4 παρουσιάζεται η πορεία της σχετικής υγρασίας του αέρα στα

δύο τμήματα του θερμοκηπίου, σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος και στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 3. Διακύμανση της σχ. υγρασίας του αέρα στο πειραματικό τμήμα του θερμοκηπίου σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος και του εξωτερικού αέρα, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού χειμερινού διημέρου.



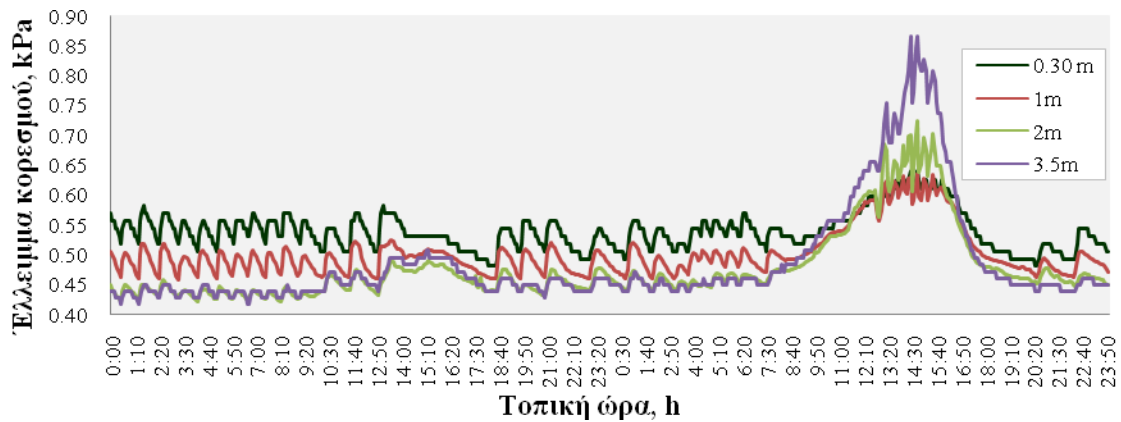
Σχήμα 4. Διακύμανση της σχ. υγρασίας του αέρα στο τμήμα μάρτυρας του θερμοκηπίου σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος και του εξωτερικού αέρα, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού χειμερινού διημέρου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το εύρος της σχ. υγρασίας (διαφορά ελάχιστης από τη μέγιστη τιμή) στο πειραματικό τμήμα ήταν μεγαλύτερο συγκριτικά με το μάρτυρα (Πιν. 2). Οι κυριότεροι λόγοι ήταν η μικρότερη διάρκεια αερισμού, η μειωμένη παροχή τεχνητής θέρμανσης και η αυξημένη διαπνοή των φυτών.

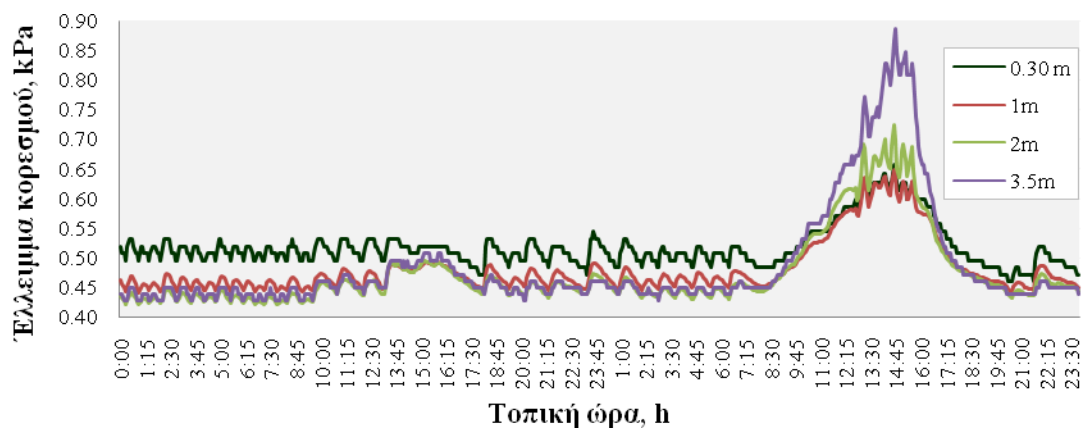
Πίνακας 2. Μέση, ελάχιστη και μέγιστη σχ. υγρασία αέρα σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος, καθώς και εύρος σχ. υγρασίας, στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου.

Σχετική Υγρασία αέρα (%)									
Υψος(m)	Μάρτυρας 0.30 m	Πείραμα	Μάρτυρας 1m	Πείραμα	Μάρτυρας 2m	Πείραμα	Μάρτυρας 3.5m	Πείραμα	Εξωτ. Αέρας
μ.ο.	78.36	78.34	80.48	83.19	84.40	86.79	88.35	88.78	87.34
ελάχιστη	63.90	61.20	66.48	64.10	62.71	56.32	54.50	51.10	76.85
μέγιστη	89.30	95.10	87.18	91.10	90.00	92.95	98.60	98.60	93.95
εύρος	25.40	33.90	20.70	27.00	27.29	36.63	44.10	47.50	17.10

Στα σχήματα 5 και 6 παρουσιάζεται η πορεία του ελλείμματος κορεσμού του αέρα στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου, σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος και στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 5. Διακύμανση του ελλείμματος κορεσμού του αέρα σε ύψος 0.3m, 1m, 2m και 3.5m, στο πειραματικό τμήμα του θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού χειμερινού διημέρου.



Σχήμα 6. Διακύμανση του ελλείμματος κορεσμού του αέρα σε ύψος 0.3m, 1m, 2m και 3.5m, στο τμήμα μάρτυρας του θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια ενός τυπικού χειμερινού διημέρου.

Αν η τιμή των 0.50kPa είναι κρίσιμη για την εμφάνιση ασθενειών (Analytis, 1977), στο πειραματικό τμήμα το έλλειμμα κορεσμού του αέρα διατηρήθηκε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κοντά σε αυτήν την τιμή, ενώ στο μάρτυρα καταγράφηκαν χαμηλότερες τιμές, ειδικά τη νύχτα. Στην περιοχή από 0.3 ως 2 m, το έλλειμμα κορεσμού ήταν κατά μέσο όρο 0.506kPa για το πειραματικό τμήμα και 0.49kPa για το μάρτυρα (Πιν.3).

Πίνακας 3. Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή, καθώς και εύρος του ελλείμματος κορεσμού του αέρα σε τέσσερα επίπεδα καθ' ύψος, στα δύο τμήματα του θερμοκηπίου.

Έλλειμμα κορεσμού αέρα (KPa)								
Ύψος(m)	Μάρτυρας 0.30 m	Πείραμα	Μάρτυρας 1m	Πείραμα	Μάρτυρας 2m	Πείραμα	Μάρτυρας 3.5m	Πείραμα
μ.ο.	0.52	0.54	0.48	0.50	0.47	0.48	0.49	0.49
Ελάχιστο	0.46	0.48	0.44	0.46	0.42	0.42	0.43	0.42
Μέγιστο	0.66	0.64	0.65	0.64	0.72	0.72	0.89	0.87
Εύρος	0.20	0.16	0.21	0.18	0.30	0.30	0.46	0.45

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή του υβριδικού ηλιακού συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας συμβάλλει στη βελτίωση του μικροκλίματος του θερμοκηπίου, ως προς τη θερμοκρασία αέρα. Όσον αφορά όμως τη σχ. υγρασία, οδηγεί σε αυξημένες μέγιστες τιμές, γιατί τα παράθυρα αερισμού παραμένουν κλειστά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με το τμήμα του μάρτυρα. Μελλοντικός στόχος θα πρέπει να είναι η αυτόματη λειτουργία των παραθύρων αερισμού με μία κρίσιμη τιμή σχ. υγρασίας. Το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να μειωθεί λίγο, αλλά σε αυτήν την περίπτωση δεν θα είναι αναγκαία η εγκατάσταση κάποιου συστήματος αφύγρανσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Analytis, S., 1977. *Über die Relation zwischen biologischer Entwicklung und Temperatur bei phytopathogenen Pilzen. [On the relation between biological development and temperature of some plant pathogenic fungi.]*. Phytopathologische Zeitschrift, 90: 64-76.
- Grafiadellis, M., 1990. *The use of solar energy for heating greenhouses*. Acta Hort, 263: 83-96.
- Grafiadellis, M. and Traka-Mavrona, E., 1999. *Heating greenhouses with solar energy - new trends and developments*. In: Choukr-Allah R. (Editor), Protected cultivation in the Mediterranean region, CIHEAM. Paris, pp. 119-134.
- Hand, D.W., 1998. *Effects of atmospheric humidity on greenhouse crops*. Acta Horticulturae, 229: 143-158.
- Kittas, K., Papadakis, G., Bartzanas, Th. and Giaglaras, P., 1999. *Renewable Energy Sources and Energy Saving in Mediterranean Greenhouses*. Proc. of Energy and Agriculture towards the Third Millennium, Athens, Greece.
- Mavrogianopoulos, G. and Kyritsis, S., 1993. *Analysis and performance of a greenhouse with water filled passive solar sleeves*. Agricultural and Forest Meteorology, 65: 47-61.
- Nikita-Martzopoulou, C., 2002. *Agricultural Aspects of Geothermal Heating in Greenhouses*. Proc. of the International Course on Geothermal Energy for District Heating, Agricultural and Agro- Industrial Uses, Thessaloniki, Greece.
- Ντίνας, Γ., Κούγιας, Π., Νικήτα -Μαρτζοπούλου, Χ., 2007. *Έλεγχος περιβάλλοντος σε θερμοκήπια με ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας συνδυασμένο με υδρορροή υδροπονίας*. Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Λάρισα, σελ 372-379.
- Santamouris, M., Balaras, C.A., Daskalaki, E. and Vallindras, M., 1994. *Passive solar agricultural greenhouses: A worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes*. Solar Energy, 53(5): 411-426.
- Σιώμος, Α., 2001. *Καλλιέργεια λαχανικών στο θερμοκήπιο*. Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 52 σελ.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Κ. Κίττας^{1*}, Ν. Κατσούλας¹, Θ. Μπαρτζάνας², Χ. Λύκας¹ και Μ. Τσετσελίδου¹

¹Εργ. Γεωργικών Κατ. & Ε. Π., Τμ Γεωπονίας Φυτ. Παραγωγής & Α. Π.,

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Οδός Φυτόκου, 38446, Ν. Ιωνία Μαγνησίας

²Κέντρο Έρευνας, Τεχν. & Ανάπτ. Θεσσαλίας, Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Διαχείρισης

Αγροοικοσυστημάτων, Τεχν. Πάρκο Θεσσαλίας, 1^η Βιομ. Περιοχή, 38500, Βόλος

E-mail: ckittas@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αναπτύχθηκε και μελετήθηκε, σε πραγματικές συνθήκες, ένα παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης στο οποίο οι σωλήνες θέρμανσης χρησιμοποιήθηκαν ως βάση στήριξης του υποστρώματος υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας και κανάλι στράγγισης του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος της υδροπονικής καλλιέργειας. Παράλληλα, στο σύστημα προστέθηκαν διάτρητοι σωλήνες οι οποίοι δίνουν τη δυνατότητα διοχέτευσης αέρα, του οποίου η θερμοκρασία, σχετική υγρασία και συγκέντρωση σε CO₂ μπορεί να ελεγχθεί. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χρήσης του βελτιωμένου αυτού υβριδικού συστήματος σε πειράματα που έγιναν στα θερμοκήπια του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα του 2007.

Λέξεις κλειδιά: εξοικονόμηση ενέργειας, υδροπονική καλλιέργεια, διάτρητος σωλήνας.

STUDY OF A PASSIVE SOLAR HEATING GREENHOUSE CROP GROW GUTTER

C. Kittas^{1*}, N. Katsoulas¹, Th. Bartzanas², Ch. Lykas¹ and M. Tsetselidou¹

¹Laboratory of Agricultural Constructions and Environmental Control, Department of Agriculture Crop Production and Rural Environment, University of Thessaly

Fytokou Street, N. Ionia, GR-38446, Volos, Greece

²Centre for Res. & Techn. Thessaly, Inst. of Technology & Management of Agr.

Ecosystems, Technology Park of Thessaly, 1st Ind Area, 38500, Volos, Greece

*E-mail: ckittas@uth.gr

ABSTRACT

Water-filled transparent polyethylene tubes have been used as a passive solar system in greenhouses in Greece. In this work, the performance of a passive solar heating system used to serve as a crop grow gutter is studied. The gutter consisted of a water-filled polyethylene tube with a diameter combined with two perforated tubes to serve as gutter-channel for drained nutrient solution collection. The experiments were performed during autumn and winter of 2007 in two greenhouses, located at the University of Thessaly near Volos, Greece, cultivated with a tomato crop.

Key words: energy saving, hydroponic crops, perforated tube, water-filled tube.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έρευνα για την αναζήτηση και βελτιστοποίηση μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας στο θερμοκήπιο είχε ενταθεί από το 1973-1974 μετά την ενεργειακή κρίση. Μία από τις μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας που είχε προταθεί οδήγησε στην ανάπτυξη και χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης τα οποία μπορούν να ικανοποιήσουν το 30% των ετήσιων απαιτήσεων σε θέρμανση στο θερμοκήπιο και να επιτύχουν θερμοκρασίες 3-10°C υψηλότερες από την ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία (Santamouris et al., 1994). Διάφανοι σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE) γεμάτοι με νερό έχουν χρησιμοποιηθεί ως παθητικά ηλιακά συστήματα (Zabeltitz, 1988; Esquira et al., 1989; Grafiadellis, 1990). Ωστόσο, αυτό το είδος των παθητικών ηλιακών συστημάτων, δεν έχει εισαχθεί στα υψηλής τεχνολογίας σημερινά θερμοκήπια και εξακολουθεί να βρίσκεται υπό βελτίωση (Kenisarin και Mahkamov, 2006). Επιπλέον, τα παθητικά ηλιακή συστήματα έχουν σχεδιαστεί για καλλιέργειες στο έδαφος, οι οποίες σήμερα, αντικαθίστανται από υδροπονικές καλλιέργειες. Κατά συνέπεια, στο νέο σχεδιασμό του συστήματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η νέα καλλιεργητική τεχνική της υδροπονίας.

Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας θερμοκηπίου, ένα άλλο σημαντικό σημείο που χρειάζεται επίσης ιδιαίτερη προσοχή είναι η ανάγκη για μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων και των μυκητοκτόνων σε θερμοκήπια. Ένα εργαλείο για τη μείωση των συντελεστών αυτών στο περιβάλλον του θερμοκηπίου είναι ο βέλτιστος έλεγχος του κλίματος και η ομοιογένεια συνθηκών στον αέρα του θερμοκηπίου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται αναμικτήρες και διάτρητοι σωλήνες. Κατά συνέπεια, ο συνδυασμός του παθητικού ηλιακού συστήματος με ένα σύστημα διάτρητου σωλήνα θα εξοικονομήσουμε ενέργεια και θα δημιουργούσε ένα πιο ομοιογενές κλίμα στο θερμοκήπιο που θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση της χρήσης μυκητοκτόνων. Επιπλέον, η ανάπτυξη ενός συνδυασμένου συστήματος παθητικής ηλιακής θέρμανσης το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως υδρορροή για τις υδροπονικές καλλιέργειες, θα οδηγήσει σε μείωση του κόστους της επένδυσης για την εγκατάσταση των υδροπονικών καλλιεργειών.

Καθ' όσων γνωρίζουν οι συγγραφείς, δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση του συνδυασμού των παραπάνω συστημάτων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Κατά συνέπεια, ο στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η πειραματική διερεύνηση της επίδρασης της χρήσης ενός νέου υβριδικού συστήματος παθητικής θέρμανσης του θερμοκηπίου και στήριξης της υδροπονικής καλλιέργειας στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, την κατανάλωση ενέργειας και στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

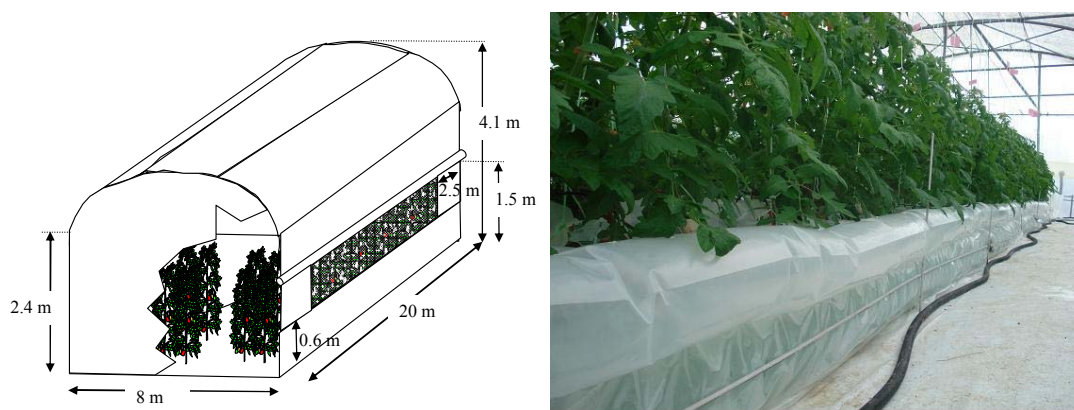
2.1. ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Τα πειράματα έγιναν κατά τη χειμερινή περίοδο 2007-08, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, σε δύο όμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια έκτασης 160 m² το καθένα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θερμοκηπίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 1α. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό. Ένα θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας και η υδροπονική καλλιέργεια γινόταν σε σάκους πετροβάμβακα οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι σε ειδικά διαμορφωμένα μεταλλικά κανάλια για τη συλλογή του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος, 40 cm πάνω από το έδαφος. Στο δεύτερο θερμοκήπιο η καλλιέργεια γινόταν σε σάκους πετροβάμβακα οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι σε σάκους πολυαιθυλενίου διαμέτρου 45 cm οι οποίοι ήταν γεμάτοι με νερό. Στην κορυφή του κάθε διάφανου σάκου πολυαιθυλενίου, δεξιά και αριστερά των σάκων του

πετροβάμβακα υπήρχαν στεγανά στερεωμένοι διάτρητοι σωλήνες διαμέτρου 20 cm μέσα στους οποίους διοχετεύονταν αέρας προερχόμενος από το εσωτερικό ή εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου. Οι δύο διάτρητοι σωλήνες δημιουργούσαν ένα κανάλι για τη συλλογή του απορρέοντος θρεπτικού διαλύματος της υδροπονικής καλλιέργειας (Σχήμα 1β).

Η θέρμανση των θερμοκηπίων γινόταν με αερόθερμα και επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης, με τη θερμοκρασία του αέρα να διατηρείται στους 16°C κατά τη διάρκεια της νύχτας και τους 19°C κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο αερισμός των θερμοκηπίων γινόταν με τη βοήθεια παραθύρων τοποθετημένων στα πλάγια του θερμοκηπίου τα οποία άνοιγαν αυτόματα όταν η θερμοκρασία του αέρα ξεπερνούσε τους 23°C.

Στο θερμοκήπιο εγκαταστάθηκε τον Οκτώβριο του 2007, υδροπονική καλλιέργεια τομάτας (cv. Belladonna). Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε τέσσερις διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0.33 m επί της γραμμής και 0.80 m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, με πυκνότητα 2.1 φυτά/m². Η άρδευση και λίπανση της καλλιέργειας γινόταν αυτόματα με σύστημα ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το κλάδεμα και η διαμόρφωση της καλλιέργειας γινόταν σύμφωνα με την τεχνική που ακολουθείται από τους παραγωγούς.



Σχήμα 1. (α) Σχηματική παράσταση ενός εκ των δύο πειραματικών θερμοκηπίων. (β) Φωτογραφία του εγκατεστημένου υβριδικού συστήματος.

Η συνολική ποσότητα του νερού που αποθηκεύονταν στο παθητικό ηλιακό σύστημα στο θερμοκήπιο ήταν 21.7 m³. Συνεπώς, η δυναμικότητα του συστήματος σε αποθήκευση ενέργειας ήταν περίπου 91 MJ ανά °C μεταβολής θερμοκρασίας του νερού των σωλήνων.

2.2. ΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (model DL-3000, Delta-T devices, Cambridge, U.K.) κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγράφονταν:

- Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (model H08-032-08, HOBO instruments, Bourne, MA, U.S.A.) και η ολική ηλιακή ακτινοβολία (model CM-6, Kipp and Zonen, Delft, the Netherlands) και η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου.
- Μέσα στα θερμοκήπια: η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (model H08-032-08, HOBO instruments, Bourne, MA, U.S.A.), η ολική ηλιακή ακτινοβολία (model CM-6, Kipp and Zonen, Delft, the Netherlands), η θερμοκρασία του καλύμματος του θερμοκηπίου (thermistors), η διαπνοή των φυτών (διάταξη λυσιμέτρου) και η ενέργεια που απέδιδε το σύστημα θέρμανσης. Παράλληλα, στο θερμο-

κήπιο στο οποίο ήταν εγκατεστημένο το παθητικό ηλιακό σύστημα καταγραφόταν η θερμοκρασία της επιφάνειας των σωλήνων του παθητικού ηλιακού συστήματος και η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα σε τρία σημεία κατά μήκος του θερμοκηπίου (2.5 m, 8.5 m και 14.5 m κατά μήκος του 17 m σωλήνα. Ο σωλήνας απείχε 1.5 m από την κάθε πλευρά του θερμοκηπίου) καθώς και η καθαρή ακτινοβολία σε απόσταση 0.5 m πάνω από το επίπεδο των παθητικών ηλιακών σωλήνων.

Επιπλέον, εκτός των κλιματικών μετρήσεων γινόταν και μετρήσεις παραμέτρων της καλλιέργειας (βιολογικές μετρήσεις) στις οποίες γινόταν καταγραφή του ρυθμού ανάπτυξης και παραγωγής της καλλιέργειας (ύψος φυτών, αριθμός κόμβων φυλλική επιφάνεια, αριθμός ανθέων και ταξιανθιών, αριθμός καρπών, βάρος καρπών).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ

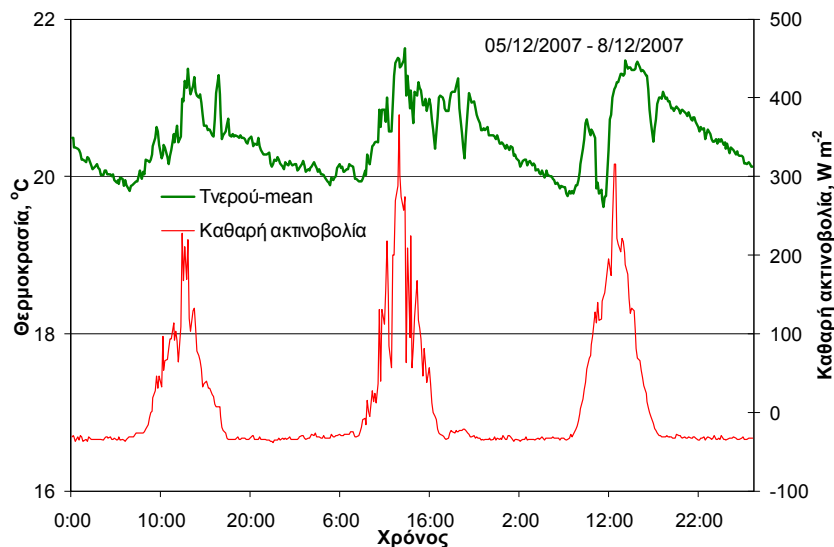
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις θερμοκρασίας του νερού των σωλήνων του παθητικού ηλιακού συστήματος κατά τη διάρκεια διαφόρων ημερών κατά την περίοδο των μετρήσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταφύτευση της καλλιέργειας έγινε στις αρχές Οκτωβρίου και ότι από το τέλος Νοεμβρίου και μετά η καλλιέργεια τομάτας είχε μέσο ύψος μεγαλύτερο από 0.5 m. Το γεγονός αυτό συνέβαλε στη σκίαση των σωλήνων και σε συνδυασμό με τα χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας στη μειωμένη αποθήκευση ενέργειας στο σύστημα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών της μέσης τιμής της θερμοκρασίας του αέρα στο θερμοκήπιο, της θερμοκρασίας των σωλήνων νερού του παθητικού ηλιακού συστήματος και της καθαρής ακτινοβολίας πάνω από τους σωλήνες. Φαίνεται ότι η θερμοκρασία του νερού των σωλήνων του παθητικού ηλιακού συστήματος μεταβάλλονταν κατά 2°C περίπου μεταξύ ημέρας και νύχτας. Παράλληλα, φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η τιμή της καθαρής ακτινοβολίας πάνω από τους σωλήνες, τόσο μεγαλύτερη ήταν και η διαφορά θερμοκρασίας του νερού μεταξύ ημέρας και νύχτας και συνεπώς, τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια που αποθηκεύονταν στο παθητικό ηλιακό σύστημα. Λαμβάνοντας υπόψη τον όγκο του νερού και μία μέση διαφορά θερμοκρασίας νερού ημέρας-νύχτας 1.3°C, υπολογίστηκε ότι η ενέργεια που αποθηκευόταν και αποδιδόταν στο σύστημα παθητικής ηλιακής θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου ήταν περίπου 120 MJ. Θεωρώντας ότι το 70% τις ενέργειας αυτής αποδιδόταν στον αέρα, η ενέργεια αυτή αντιστοιχούσε σε περίπου 2 lit πετρελαίου.

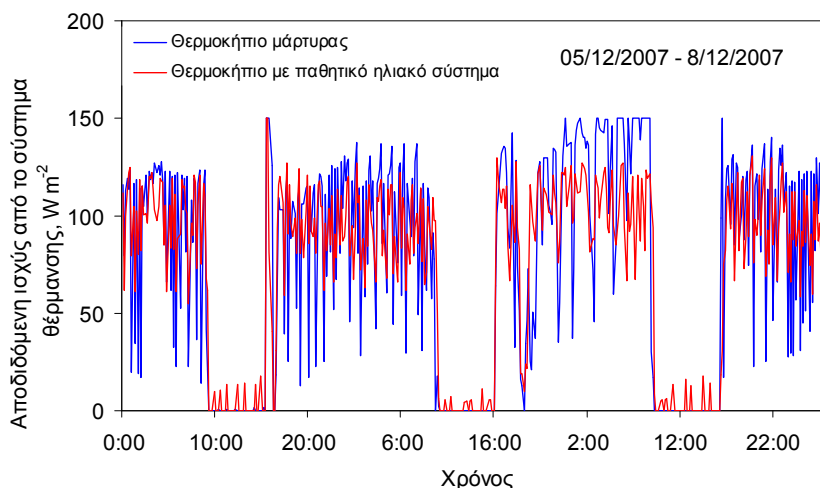
Αν υποθέσουμε ότι το σύστημα θέρμανσης θα έπρεπε να λειτουργήσει για 6 ώρες ανά 24ωρο προκειμένου να διατηρήσει μία διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού εξωτερικού αέρα περίπου 10°C και ότι ο ολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου έχει τιμή περίπου $7 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (επιφάνεια καλύμματος θερμοκηπίου = 300 m²), τότε, η απαιτούμενη ενέργεια για τη θέρμανση θα ήταν περίπου 450 MJ. Συνεπώς, η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τη χρήση του παθητικού ηλιακού συστήματος ανέρχεται περίπου στο 18%.

Οι παραπάνω υπολογισμοί συμφωνούν με τις μετρήσεις της απαραίτητης ενέργειας που αποδιδόταν από το σύστημα επιδαπέδιας θέρμανσης του θερμοκηπίου που χρησιμοποιούνταν προκειμένου να επιτευχθεί στα δύο θερμοκήπια θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας περίπου 16°C. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της αποδιδόμενης ισχύος από το σύστημα θέρμανσης για τη θέρμανση των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια διαφόρων ημερών της χειμερινής περιόδου των μετρήσεων. Φαίνεται ότι η απαραίτητη ισχύς προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη

θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν μικρότερη στην περίπτωση του θερμοκηπίου με το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης. Η μέση τιμή της εξοικονόμησης ενέργειας που υπολογίστηκε με αυτόν τον τρόπο ήταν περίπου 15%.



Σχήμα 2. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό των σωλήνων και της καθαρής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου πάνω από την επιφάνεια των σωλήνων κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων.

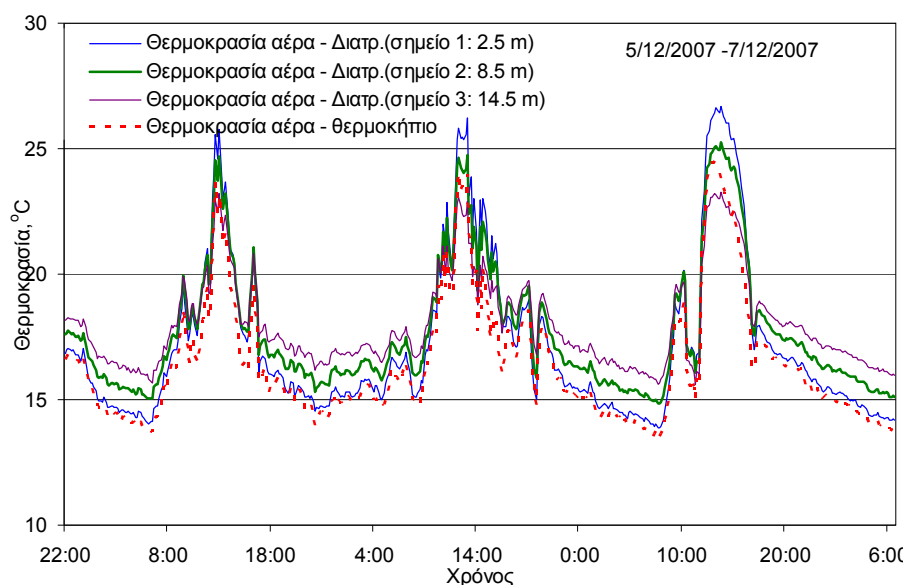


Σχήμα 3. Πορεία των τιμών της αποδιδόμενης ισχύος από το σύστημα θέρμανσης για τη θέρμανση των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων.

Η πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα σε τρία σημεία στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα (2.5 m, 8.5 m και 14.5 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα) κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Φαίνεται ότι, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο αέρας θερμαινόταν κατά την κίνησή του μέσα στον διάτρητο σωλήνα, λόγω της άμεσης επαφής του αεραγωγού με τον σωλήνα αποθήκευσης του νερού του παθητικού ηλιακού συστήματος, και έτσι ο αέρας εξερχόταν του αεραγωγού στο αντίθετο άκρο κατά μέσο όρο κατά 1°C θερμότερος. Παράλληλα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, η μέση θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου ήταν μικρότερη αυτής του αέρα των αεραγωγών και συνεπώς, το μικροπεριβάλλον που δημιουργούνταν κοντά στην κόμη των φυτών, λόγω του αέρα των αεραγωγών, ήταν θερμότερο από το περιβάλλον του θερμοκηπίου.

Η πορεία των τιμών της διαπνοής των φυτών ήταν παρόμοια και στα δύο θερμο-

κήπια (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται) και συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το σύστημα των διάτρητων σωλήνων δεν επηρέασε σημαντικά την ταχύτητα του ανέμου στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια δεν επηρέασε σημαντικά την αεροδυναμική αγωγιμότητα και τη διαπνοή της καλλιέργειας.



Σχήμα 4. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου και του αέρα σε τρία σημεία στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα κατά τη χειμερινή περίοδο.

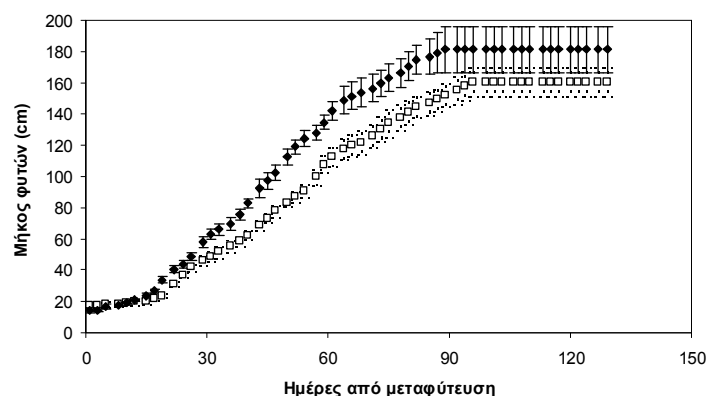
3.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών τομάτας στο θερμοκήπιο με παθητική θέρμανση και με επιδαπέδια θέρμανση για την περίοδο από 10/10/2007 έως 20/2/2008. Φαίνεται ότι τα φυτά που ήταν εγκατεστημένα στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα είχαν μικρότερο ύψος, κάτι που οφείλονταν στο μικρότερο μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, καθώς ο αριθμός των κόμβων των φυτών ήταν παρόμοιος και στις δύο περιπτώσεις (τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται). Η διαφοροποίηση αυτή ήταν εμφανής 30 ημέρες μετά την μεταφύτευση των φυτών. Στο τέλος της πειραματικής περιόδου τα φυτά που ήταν εγκατεστημένα στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης είχαν 10% μικρότερο ύψος από αυτά του μάρτυρα. Δεν παρουσιάστηκαν διαφορές στην ταχύτητα ανάπτυξης των φυτών, αφού δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στη ταχύτητα έκπτυξης των φύλλων και στη δημιουργία κόμβων στα φυτά των δύο μεταχειρίσεων.

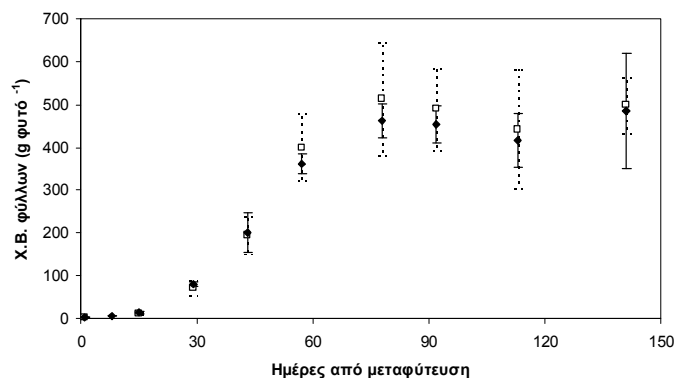
Η παραγόμενη από τα φυτά βιομάζα (φύλλα και καρποί) καθώς και η φυλλική επιφάνεια των φυτών δεν επηρεάστηκαν από την εφαρμογή του παθητικού συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου, όπως φαίνεται από το Σχήμα 6 και το Σχήμα 7. Η ανάπτυξη παρόμοιας φυλλικής επιφάνειας από τα φυτά των δύο μεταχειρίσεων οδήγησε στη απορρόφηση και διαπνοή παρόμοιας ποσότητας νερού από την καλλιέργεια. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή φυτικών μερών (φύλλα και βλαστούς) με τα ίδια χλωρά και ξηρά βάρη, εφόσον το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνταν η καλλιέργεια είχε την ίδια σύνθεση. Η ανάπτυξη παρόμοιας φυλλικής επιφάνειας οδήγησε σε παρόμοια φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών και στις δύο μεταχειρίσεις και τελικά στην παραγωγή της ίδιας ποσότητας καρπών.

Η συνολική ποσότητα εμπορεύσιμων καρπών ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (Σχήμα 7). Τα φυτά ωστόσο που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης παρήγαγαν συνολικά λιγότερους αλλά μεγαλύτερους καρπούς από τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με την επιδαπέδια θέρμανση

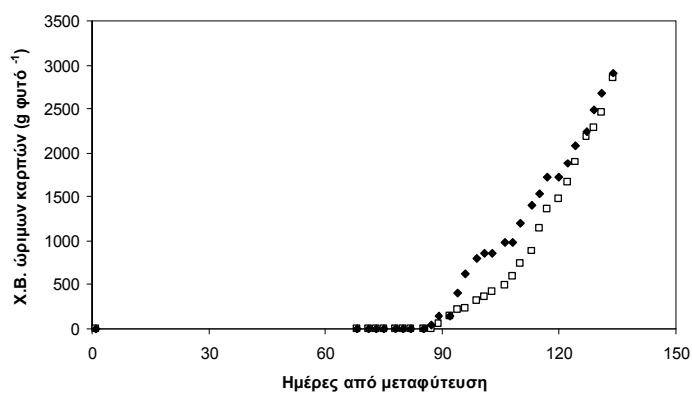
(τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται).



Σχήμα 5. Εξέλιξη του μήκους (cm) των φυτών κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου στο θερμοκήπιο με συμβατικό (•) ή με παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης (□).



Σχήμα 6. Εξέλιξη του χλωρού βάρους των φύλλων (g ανά φυτό) κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου σε θερμοκήπιο με συμβατικό (•) ή με παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης (□).



Σχήμα 7. Εξέλιξη του χλωρού βάρους των ώριμων καρπών (g ανά φυτό) κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου σε θερμοκήπιο με συμβατικό (•) ή με παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης (□).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων παρουσιάστηκε η επίδραση του νέου υβριδικού συστήματος στη διαμόρφωση του κλίματος του θερμοκηπίου, στην ανάπτυξη της καλλιέργειας και στις εισροές ενέργειας στο θερμοκήπιο.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι:

- Το νέο υβριδικό σύστημα παθητικής θέρμανσης του θερμοκηπίου και στήριξης της υδροπονικής καλλιέργειας οδήγησε σε βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων της καλλιέργειας αφού βελτίωσε το μέσο βάρος των καρπών των φυτών, χωρίς να όμως να επηρεάσει τη συνολική παραγωγή της καλλιέργειας.
- Μείωσε κατά 15% περίπου την κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση του θερμοκηπίου ενώ παράλληλα βελτίωσε σημαντικά το μικροκλίμα κοντά στο επίπεδο των φυτών.
- Μείωσε στο ελάχιστο το κόστος αρχικής εγκατάστασης της υδροπονικής καλλιέργειας.

Ευχαριστίες

Η εργασία έγινε στο πλαίσιο του έργου ΠΑΒΕΤ 2005: «Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση υβριδικού συστήματος θέρμανσης θερμοκηπίων και στήριξης υδροπονικών καλλιεργειών φιλικό προς το περιβάλλον», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την εταιρεία Ι. Μπάτσης – Γεωθερμική Α.Ε. και τη Γ.Γ.Ε.Τ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Esquira, I., Segal I., Antler A., 1989. *Water sleeves for passive solar heating of greenhouses*. 'In C. von. Zabeltitz (ed.). Passive solar heating of greenhouses with water filled water polyethylene tubes. FAO-Regional Office for Europe, 39-44.
- Grafiadellis, M., 1990. *The use of solar energy for heating greenhouse*. Acta Hort. 263: 83-96.
- Kenisarin, M., Mahkamov, K., 2006. *Solar energy storage using phase change materials*. Ren. & Sust. En. Rev., 11(9): 1913-1965.
- Santamouris, M., Balaras, C.A., Daskalaki, E., Vallindras M., 1994. *Passive solar agricultural greenhouses: A worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes*. Solar En., 53(5): 411-426.
- Von Zabeltitz, C., 1988. *Solar energy: Alternative energy sources for greenhouse heating*. In: Von Zabeltitz, C., (ed), Energy conservation and renewable energies for greenhouse heating, FAO, 122-128.

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΣΥΝΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΕΦΑΠΑΞ ΠΛΗΡΩΣΗΣ (BATCH DIGESTERS) ΣΤΗ ΜΕΣΟΦΙΛΗ ΖΩΝΗ

Π. Κούγιας*, Α. Βέργος, Θ. Κωτσόπουλος και Γ. Μαρτζόπουλος
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής,
Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη
*E-mail: pkougias@agro.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκε η ενεργειακή απόδοση της αναερόβιας συναποικοδόμησης του μίγματος λυμάτων ελιάς και χοίρων στη μεσόφιλη ζώνη. Εξετάστηκαν τέσσερις διαφορετικές αναλογίες λυμάτων χοίρων/ελιάς: α) 100/0 (αντιδραστήρες A1, A2), β) 80/20 (αντιδραστήρες B1, B2), γ) 60/40 (αντιδραστήρες C1, C2), δ) 30/70 (αντιδραστήρες D1, D2) διατηρώντας σταθερή τη συνολική ποσότητα των πτητικών στερεών σε κάθε αναλογία. Κάθε μεταχείριση είχε δύο επαναλήψεις. Κατά τη διάρκεια του πειράματος παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου όσο αυξανόταν η περιεχόμενη ποσότητα λυμάτων ελιάς, ενώ διαπιστώθηκε ραγδαία μείωση του παραγόμενου βιοαερίου στους αντιδραστήρες D1 και D2, κάτι που ερμηνεύεται από την απώλεια σταθερότητας της διαδικασίας, όταν η ποσότητα των λυμάτων ελιάς αυξηθεί πάνω από ένα κρίσιμο όριο.

Λέξεις κλειδιά: αναερόβια συναποικοδόμηση, λύματα ελιάς, λύματα χοίρων, βιοαέριο.

ANAEROBIC CODIGESTION OF SWINE MANURE WITH OLIVE MILL WASTEWATER IN BATCH DIGESTERS IN MESOPHILIC AREA

P. Kougias*, A. Vergos, T.A. Kotsopoulos and G.G. Martzopoulos
Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering,
Faculty of Agriculture, Aristotle University, Thessaloniki 54124, Greece
*E-mail: pkougias@agro.auth.gr

ABSTRACT

In the present study, the energy efficiency of the anaerobic codigestion of swine manure (SM) with olive mill wastewater (OMW), under mesophilic conditions was investigated. Four SM/OMW ratios were applied in each experimental run, namely 100/0 (A), 80/20 (B), 60/40 (C), 30/70 (D) in terms of volatile solids (VS). The results of the experiment showed that the degradation of OMW was successfully during the codigestion with SM. A significant increase of the biogas quantity was observed, as the ratio of OMW was increased in each treatment. Also, a rapid reduction in the biogas production was noticed in the reactors D1 and D2, which is explained by the process stability loss as the ratio of OMW rises above a critical threshold.

Key words: anaerobic codigestion, olive mill wastewater, swine manure, biogas.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ελαιοτριβεία παράγουν μεγάλες ποσότητες υγρών και στερεών αποβλήτων. Στις Μεσογειακές χώρες, η ποσότητα των αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία υπολογίζεται σε 30εκ. m³ ετησίως (Fiestas et al., 1996) και η περιεκτικότητά τους σε COD είναι περίπου 100-120kg/ton ελιάς, το οποίο είναι ίσο με 45-55kg BOD/ton ελιάς (Angelidaki et al., 2002) και έτσι η διάθεσή τους χωρίς επεξεργασία προκαλεί δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ο μεγάλος όγκος αποβλήτων των ελαιοτριβείων και το υψηλό ρυπαντικό τους φορτίο απαιτούν μία αποτελεσματική μέθοδο επεξεργασίας πριν τη διάθεση τους στον τελικό αποδέκτη.

Η μέθοδος επεξεργασίας που προτείνεται είναι η αναερόβια επεξεργασία, η οποία πλεονεκτεί έναντι των άλλων μεθόδων, διότι παράλληλα με τη μείωση του οργανικού φορτίου γίνεται και ανάκτηση ενέργειας (CH₄). Ωστόσο, η αναερόβια επεξεργασία των λυμάτων ελαιοτριβείων χαρακτηρίζεται δύσκολη, καθώς η οργανική ουσία που περιέχεται στα λύματα απαντάται κυρίως με τη μορφή φαινολών, λιπιδίων και μακρομορίων λιπαρών οξέων. Αυτές οι ουσίες προκαλούν αστάθεια στη βιολογική αποικοδόμηση, δρουν ανασταλτικά στη μεθανογένεση και στη μείωση του COD (Boari et al., 1984) και επιμηκύνουν το συνολικό χρόνο επεξεργασίας. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος πολλοί ερευνητές μελέτησαν την εφαρμογή της συναποικοδόμησης λυμάτων ελιάς με λύματα είτε φυτικής (Boubaker and Ridha, 2007; Fountoulakis et al., 2008) είτε ζωικής προέλευσης (Angelidaki and Ahring, 1997; Gelegenis et al., 2007; Martinez-Garcia et al., 2007).

Με την εφαρμογή της συναποικοδόμησης λυμάτων ελιάς με λύματα χοίρων μπορεί να προκύψει βελτιστοποίηση της διαδικασίας (Marques, 2001; Angelidaki et al., 2002). Αυτό οφείλεται αφενός στην υψηλή ρυθμιστική ικανότητα και αφετέρου στην υψηλή περιεκτικότητά σε άζωτο των λυμάτων των χοίρων καθώς και στο ότι τα λύματα της ελιάς περιέχουν υψηλή ποσότητα άνθρακα και συνεπώς η συναποικοδόμηση βελτιώνει το λόγο C/N. Επιπλέον στα λύματα των χοίρων η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι σε υψηλά επίπεδα, ενώ στα λύματα της ελιάς η περιεκτικότητα σε αμμωνία απαντάται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Η τοξικότητα της αμμωνίας επηρεάζει αρνητικά την αναερόβια αποικοδόμηση και για το λόγο αυτό έχουν προταθεί τρόποι επίλυσης του προβλήματος (Kotsopoulos et al., 2008).

Στην παρούσα έρευνα αξιολογήθηκε η ενεργειακή απόδοση της αναερόβιας συναποικοδόμησης του μίγματος λυμάτων ελιάς και χοίρων σε αντιδραστήρες εφάπαξ πλήρωσης (batch digesters) στη μεσόφιλη ζώνη (35°C).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ

Τα λύματα χοίρων συλλέχθηκαν από χοιροστάσιο του Δήμου Βασιλικών, ενώ τα λύματα ελιάς από ελαιοτριβείο του Δήμου Νέας Μηχανιώνας Θεσσαλονίκης. Μετά τη συλλογή τους, τα λύματα διαλύθηκαν με απεσταγμένο νερό και αποθηκεύτηκαν σε ψυκτικό θάλαμο στους 4°C. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα.

Πίνακας 1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά λυμάτων χοιροστασίου και ελαιοτριβείου μετά τη διάλυσή τους με απεσταγμένο νερό.

Παράμετροι	Λύματα χοιροστασίου	Λύματα ελαιοτριβείου
pH	7.38	5.50
Ολικά Στερεά (TS), g/l	16.31	12.47
Πτητικά Στερεά (VS), g/l	11.97	12.10
COD, g/l	13	31
Ολικό Άζωτο (TKN), mg/l	1389	388
Οργανικό Άζωτο, mg/l	782	220
Αμμωνιακό Άζωτο (NH ₃ -N), mg/l	607	168
Πρωτεΐνες, (%)	29.93	14.37

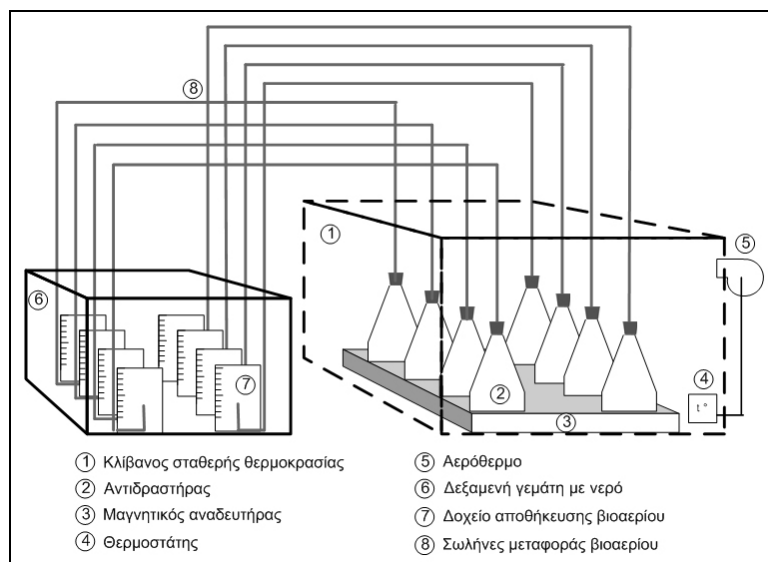
2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Κατά τη διάρκεια του πειράματος μετρήθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι σύμφωνα με τα Standard methods (APHA, 2005): ολικά (TS) και πτητικά (VS) στερεά, pH, χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD), ολικό άζωτο (TKN), οργανικό άζωτο, αμμωνία και πρωτεΐνες. Επιπλέον, γινόταν καθημερινή καταμέτρηση της παραγόμενης ποσότητας του βιοαερίου και της ποιοτικής σύνθεσής του. Η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου μετρήθηκε ογκομετρικά με τη μέθοδο της απομάκρυνσης του νερού. Η ποσότητα του παραγόμενου μεθανίου προσδιορίστηκε ογκομετρικά με τη χρήση ενός διαχωριστή αερίου που περιείχε διάλυμα NaOH (3% κ.ο.) (Alvarez et al., 2006). Καθημερινά, δείγμα από το παραγόμενο βιοαέριο διοχετευόταν στην είσοδο του διαχωριστή αερίου και μετά την απορρόφηση του CO₂ από το NaOH συλλεγόταν από την έξοδο η ποσότητα του μεθανίου που περιεχόταν στο δείγμα.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS (έκδοση 15). Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) στα αποτελέσματα των μετρήσεων βασίστηκαν στην ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα (one-way ANOVA).

2.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 8 αντιδραστήρες εφάπαξ πλήρωσης (batch digesters) λειτουργικού όγκου 900ml ο καθένας. Οι αντιδραστήρες τοποθετήθηκαν σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 35°C (μεσόφιλη ζώνη). Η θερμοκρασία μέσα στον κλίβανο διατηρούταν σταθερή με τη χρήση ενός εμβαπτιζόμενου θερμοστάτη σε νερό. Οι αντιδραστήρες αναδεύονταν συνεχώς με μαγνητικούς αναδευτήρες. Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η αναερόβια συναποικοδόμηση τεσσάρων διαφορετικών αναλογιών λυμάτων χοίρων/ελιάς: α) 100/0 (αντιδραστήρες A1, A2), β) 80/20 (αντιδραστήρες B1, B2), γ) 60/40 (αντιδραστήρες C1, C2), δ) 30/70 (αντιδραστήρες D1, D2) διατηρώντας σταθερή τη συνολική ποσότητα των πτητικών στερεών σε κάθε αναλογία. Κάθε μεταχείριση είχε δύο επαναλήψεις. Το μόλυσμα που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από αναερόβιο αντιδραστήρα που λειτουργούσε στη μεσόφιλη ζώνη με λύματα χοίρων και ελιάς σε αναλογία 50/50 κατ' όγκο. Η συλλογή του παραγόμενου βιοαερίου γινόταν σε πλήρως διαβαθμισμένες δεξαμενές και η μέτρησή του γινόταν καθημερινά. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη.



Σχήμα 1. Η απεικόνιση της πειραματικής διάταξης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αρχικών μιγμάτων λυμάτων χοιροστασίου και ελαιοτριβείου με το μόλυσμα που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων κάθε μεταχείρισης.

Παράμετροι	A	B	C	D
pH	7.43 ± 0.01	7.20 ± 0.02	6.99 ± 0.02	6.72 ± 0.03
Ολικά Στερεά (TS), g/l	16.29 ± 0.10	16.48 ± 0.12	16.21 ± 0.08	14.20 ± 0.09
Πτητικά Στερεά (VS), g/l	12.00 ± 0.05	12.29 ± 0.07	12.46 ± 0.01	11.93 ± 0.02
COD, g/l	13.02 ± 0.19	14.97 ± 0.13	16.50 ± 0.19	20.87 ± 0.16
Ολικό Άζωτο (TKN), mg/l	1366 ± 7	1316 ± 20	1141 ± 21	777 ± 30
Οργανικό Άζωτο, mg/l	759 ± 2	756 ± 10	721 ± 7	544 ± 20
Αμμωνιακό Άζωτο (NH ₃ -N), mg/l	607 ± 5	560 ± 10	420 ± 14	233 ± 15
Πρωτεΐνες, (%)	29.12 ± 0.39	28.68 ± 0.56	27.81 ± 0.18	23.93 ± 0.31

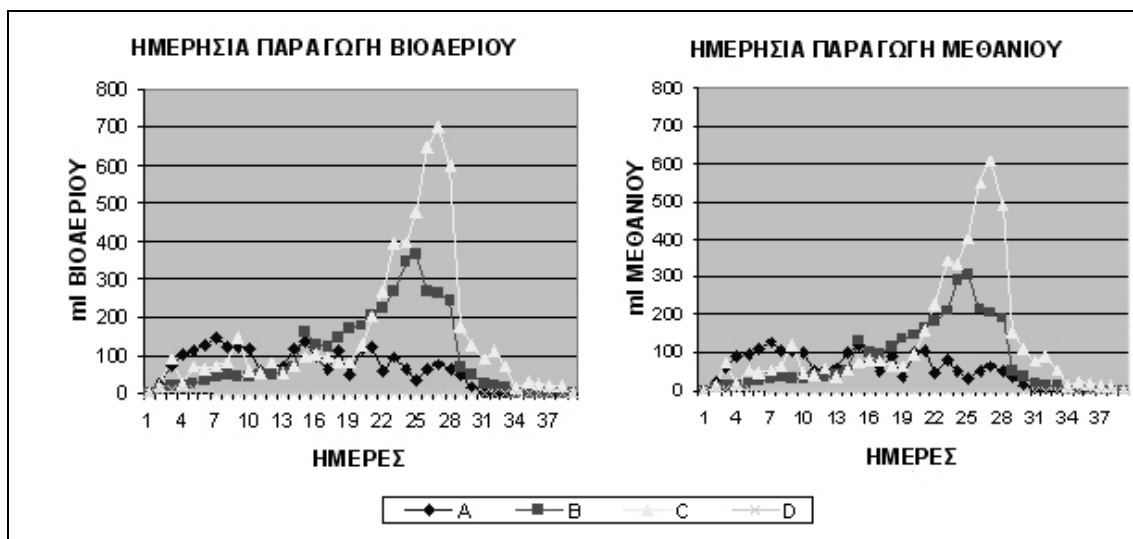
Οι τιμές που παρατίθενται είναι ο μέσος όρος των δύο επαναλήψεων κάθε μεταχείρισης.

(±) Εύρος τιμών.

Αναλογία λυμάτων χοίρων / ελιάς: A:100/0, B:80/20, C: 60/40, D:30/70.

Τα λύματα της ελιάς που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος έχουν όξινο pH σε αντίθεση με τα λύματα των χοίρων των οποίων η τιμή του pH είναι στην ουδέτερη ζώνη (πίνακας 1). Για να πραγματοποιηθεί η μεθανογένεση απαιτείται ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών pH που κυμαίνεται μεταξύ 6-8 (Sorensen, 1996). Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2, η ρυθμιστική ικανότητα των λυμάτων χοίρων έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση του pH των μιγμάτων μεταξύ των τιμών 6.72 έως 7.43. Επίσης παρατηρείται αύξηση των τιμών COD και ταυτόχρονη μείωση των τιμών του ολικού και του αμμωνιακού αζώτου, όσο αυξάνεται το ποσοστό των λυμάτων ελιάς στις μεταχειρίσεις.

Η καταγραφή της ημερήσιας παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου και μεθανίου στις μεταχειρίσεις παρουσιάζεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Ημερήσια παραγωγή βιοαερίου και μεθανίου των μεταχειρίσεων. Οι τιμές είναι ο μέσος όρος των δύο επαναλήψεων κάθε μεταχείρισης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η παραγωγή του βιοαερίου ξεκίνησε ταυτόχρονα σε όλους τους αντιδραστήρες. Οι αναλογίες 80/20 (αντιδραστήρες B1, B2) και 60/40 (αντιδραστήρες C1, C2) εμφάνισαν σταδιακή αύξηση της ημερήσιας ποσότητας βιοαερίου και η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται την 25^η και 27^η ημέρα αντίστοιχα. Ακόμη, είναι εμφανές ότι στους αντιδραστήρες, όπου η αναλογία χοίρων/ελιάς ήταν 30/70 (αντιδραστήρες D1, D2) η παραγωγή βιοαερίου ήταν ελάχιστη. Η συνολική διάρκεια της αναερόβιας αποικοδόμησης ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση C (39 ημέρες), ενώ ελαφρώς μικρότερη ήταν η διάρκεια στη μεταχείριση B (33 ημέρες). Τέλος, στην A μεταχείριση η παραγωγή βιοαερίου σταμάτησε στις 30 ημέρες.

Στον πίνακα 3 παρατίθεται η συνολική ποσότητα παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου.

Πίνακας 3. Συνολική ποσότητα παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου.

Παράμετροι	A	B	C	D
Βιοαέριο, ml	2420 ± 10	3730 ± 20	5810 ± 50	50 ± 0
Μεθάνιο, ml	2086 ± 14	3019 ± 11	4840 ± 46	27 ± 2
Ποσοστό μεθανίου, (%)	86.06 ± 0.28	80.13 ± 0.11	81.27 ± 0.14	54 ± 3

Οι τιμές που παρατίθενται είναι ο μέσος όρος των δύο επαναλήψεων κάθε μεταχείρισης.

(±) Εύρος τιμών.

Αναλογία λυμάτων χοίρων / ελιάς: A:100/0, B:80/20, C: 60/40, D30/70.

Η συνολική ποσότητα παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου των μεταχειρίσεων παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Η προσθήκη λυμάτων ελιάς στα μίγματα συνέβαλε στην αύξηση της παραγόμενης ποσότητας μεθανίου. Στους αντιδραστήρες B1, B2 η μέση συνολική παραγωγή βιοαερίου ήταν 3730ml και η μέση συνολική παραγωγή μεθανίου ανήλθε σε 3019ml. Αντίστοιχα στους αντιδραστήρες C1, C2 η μέση συνολική παραγωγή βιοαερίου ήταν 5810ml και η μέση συνολική παραγωγή μεθανίου ανήλθε σε 4840ml. Επιπλέον, παρουσιάστηκε ραγδαία μείωση στην παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου και μεθανίου στην μεταχείριση D και ερμηνεύεται από την απώλεια σταθερότητας της διαδικασίας, όταν η ποσότητα των λυμάτων ελιάς αυξηθεί πάνω από ένα κρίσιμο όριο.

Στον πίνακα 4 παρατίθενται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων μετά το πέρας της αναερόβιας αποικοδόμησης.

Πίνακας 4. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των μεταχειρίσεων.

Παράμετροι	A	B	C	D
pH	7.69 ± 0.02	7.42 ± 0.03	7.19 ± 0.04	6.83 ± 0.03
Ολικά Στερεά (TS), g/l	10.81 ± 0.13	10.71 ± 0.11	8.62 ± 0.06	13.79 ± 0.05
Πτητικά Στερεά (VS), g/l	7.96 ± 0.05	7.99 ± 0.03	6.62 ± 0.02	11.59 ± 0.05
COD, g/l	8.75 ± 0.10	9.97 ± 0.12	9.65 ± 0.09	20.67 ± 0.06
Αμωνιακό Άζωτο (NH ₃ -N), mg/l	653 ± 10	607 ± 12	560 ± 8	243 ± 3

Οι τιμές που παρατίθενται είναι ο μέσος όρος των δύο επαναλήψεων κάθε μεταχείρισης.

(±) Εύρος τιμών.

Αναλογία λυμάτων χοίρων / ελιάς: A:100/0, B:80/20, C: 60/40, D30/70.

Όπως προκύπτει, η μείωση της τιμής του COD μετά το πέρας της αναερόβιας ζύμωσης στις μεταχειρίσεις A, B, C, D ανέρχεται σε 32.82%, 33.39%, 41.52% και 0.96% αντίστοιχα. Η ποσοστιαία μείωση των πτητικών στερεών ήταν 33.59%, 34.98%, 46.83% και 2.86% για τις μεταχειρίσεις A, B, C, D αντίστοιχα.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας στη μεταχείριση C επιτεύχθηκε σε μεγαλύτερο βαθμό.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αποικοδόμηση των λυμάτων ελιάς επιτεύχθηκε με την ανάμειξή τους με λύματα χοίρων. Αν και η τιμή του pH των λυμάτων ελιάς ήταν χαμηλή, δεν απαιτήθηκε η χρήση χημικών, καθώς η ρυθμιστική ικανότητα των λυμάτων χοίρων διατήρησε το pH των μιγμάτων εντός του εύρους μεθανογένεσης.

Επίσης, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου όσο αυξανόταν η περιεχόμενη ποσότητα λυμάτων ελιάς, ενώ διαπιστώθηκε ραγδαία μείωση του παραγόμενου βιοαερίου στους αντιδραστήρες D1 και D2, κάτι που ερμηνεύεται από την απώλεια σταθερότητας της διαδικασίας, όταν η ποσότητα των λυμάτων ελιάς αυξηθεί πάνω από ένα κρίσιμο όριο.

Από τις αναλογίες που εξετάστηκαν αυτή που παρέχει την μεγαλύτερη ανάκτηση ενεργειακού προϊόντος και το μεγαλύτερο βαθμό αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας είναι η μεταχείριση C, στην οποία προστέθηκαν λύματα χοίρων/ελιάς σε αναλογία 60/40.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alvarez, J.A., Ruiz, I., Gomez, M., Presas, J., Soto, M., 2006. *Start-up alternatives and performance of an UASB pilot plant treating diluted municipal wastewater at low temperature*. *Bioresource Technology*, 97(14): 1640-1649.
- Angelidaki, I., Ahring, B.K., 1997. *Codigestion of olive oil mill wastewaters with manure household waste or sewage sludge*. *Biodegradation* 8(4):221-226.
- Angelidaki, I., Ahring, B.K., Deng, H., Schmidt, J.E., 2002. *Anaerobic digestion of olive oil mill effluents together with swine manure in UASB reactors*. *Water Science and Technology*, 45(10):213-218.
- APHA (American Public Health Association), 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, Washington, DC, USA.
- Boari, G., Brunetty, A., Passino, R., Rozzi, A., 1984. *Anaerobic digestion of olive mill wastewaters*. *Agricultural Wastes*, 10:161-175.
- Boubaker, F., Cheikh Ridha, B., 2007. *Anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a tubular digester at mesophilic temperature*. *Bioresource Technology*, 98(4):769-774.

- Fiestas, J.A., Lutwin, B., Ernst, K., Klemens, G., Kachouri, M., 1996. *Mediterranean experiences on the treatment and the elimination of olive mill wastewater*. GTZ Edition, Tunisia.
- Fountoulakis, M.S., Drakopoulou, S., Terzakis, S., Georgaki, E., Manios, T., 2008. *Potential for methane production from typical Mediterranean agro-industrial by-products*. Biomass and Bioenergy, 32(2):155-161.
- Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Christopoulou, N., Goumenaki, M., 2007. *Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure*. Applied Energy, 84(6):646-663.
- Kotsopoulos, T.A., Karamanlis, X., Dotas, D., Martzopoulos, G.G., 2008. *The impact of different natural zeolite concentrations on the methane production in thermophilic anaerobic digestion of pig waste*. Biosystems Engineering, 99(1): 105-111.
- Marques, I.P., 2001. *Anaerobic digestion treatment of olive mill wastewater for effluent re-use in irrigation*. Desalination, 137(1-3):233-239.
- Martinez-Garcia, G., Johnson, A.C., Bachmann, R.T., Williams, C.J., Burgoyne, A., Edyvean, R.G.J., 2007. *Two-stage biological treatment of olive mill wastewater with whey as co-substrate*. International Biodeterioration & Biodegradation, 59(4): 273-282.
- Sorensen, A.H., 1996. *Microbial characterization of methanogenic reactors*. Ph.D. Thesis. Copenhagen, Denmark.

